

2025 年【科學探究競賽-這樣教我就懂】

□國中組 ■普高組 □技高組 成果報告格式

題目名稱：費力而靈活的手手-動物前臂二頭肌施力與力矩作用機制與原理探討

一、摘要

動物二頭肌與橈骨連結點距離愈近所需施力愈大，但移動距離就愈大(位移大)，相對也愈靈活。當前臂隨著橈骨與肱骨夾角愈小，所需施力則愈小。鳥類的二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端位置較哺乳類距離遠，且鳥類前臂肱骨與橈骨夾角較哺乳類小。推測鳥類前臂演化成較寬，二頭肌連接橈骨往前，肱骨與橈骨夾角小，讓鳥類收翅休息時較為省力。

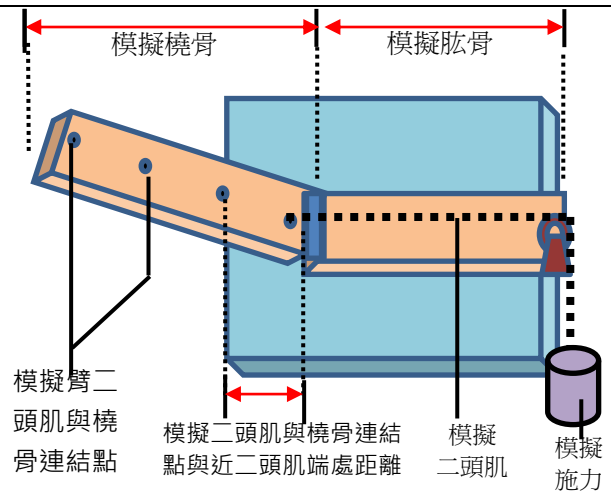
二、探究題目與動機

在上學期自主學習的動物標本製作過程中我們發現拉扯動物前肢肌肉時帶動肢臂動作的現象，引發想了解動物肌肉骨骼運動的興趣，但查閱文獻時卻發現人體手臂(二頭肌與三頭肌)在施力時呈現費力的狀態。咦！腦中突然冒出個疑問？為什麼過長久演化我們卻演化出費力的施力動作方式？省力的不是更好嗎？每一種生物的手臂都是類似的費力施力模式嗎？為什麼呢？因此決定來探究動物上臂二頭肌與橈骨連結位置(距離)與近二頭肌端連結位置長度與全橈骨長度的比例關係和差異，進而了解動物上臂二頭肌與橈骨連結位置差異(改變)是否造成施力大小的改變，進而推論出「為何肌肉要這樣生長？」。

三、探究目的與假設

(一)探究目的

- 一、了解不同動物上臂二頭肌與橈骨連結位置(距離)與近二頭肌端連結位置長度與全橈骨長度的比例關係及其異同
- 二、了解動物上臂二頭肌與橈骨連結位置差異(改變)是否造成施力大小的改變
- 三、比較並探討不同動物上臂二頭肌與橈骨連結位置(距離)與近二頭肌端連結位置長度與全橈骨長度的比例異同與運動方式是否有差異。



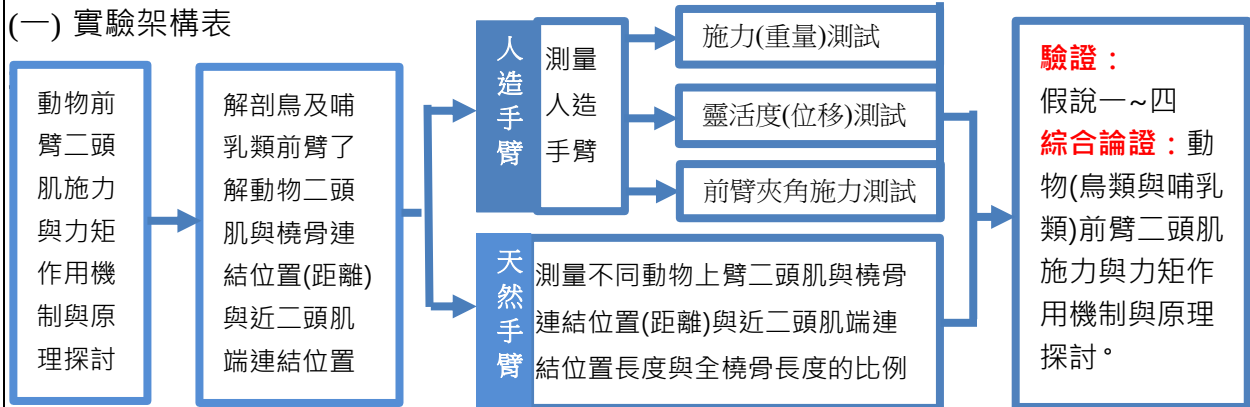
圖一、自製人造手臂構造繪圖及說明。

(二)變因與假設

(天然動物前臂)實驗一		(自製模擬手臂)實驗二		(自製模擬手臂)實驗三		(自製模擬手臂)實驗四	
操縱變因	應變變因	操縱變因	應變變因	操縱變因	應變變因	操縱變因	應變變因
不同動物(鳥類與哺乳類)橈骨與二頭肌連結處距離。	測量不同動物橈骨與二頭肌連結處距離及橈骨全長(計算比值)	改變模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離	驅動模擬手臂所需施力重量(g)。	改變模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離	模擬手臂末端移動距離(cm)。	改變模擬臂橈骨與肱骨夾角(度)	驅動模擬手臂所需施力重量(g)
假說： 鳥類橈骨與二頭肌連結處距離長/橈骨全長比值大於哺乳類。		假說： 模擬臂二頭肌橈骨連結點距離近二頭肌端處愈近時模擬手臂所需施力(g)愈大。		假說： 模擬二頭肌橈骨連結點距離近二頭肌端處愈近時驅動模擬手臂移動距離愈大。		假說： 模擬橈骨與肱骨夾角(度)愈大，驅動模擬手臂施力重量(g)愈大。	

四、探究方法與驗證步驟

(一) 實驗架構表



(二) 使用材料與器具

模擬手臂：直尺*1 支、電鋸*1 把、木棍*1 根、砂磨機、洋眼釘*4 個、螺絲*8 個、滑輪*1 個、蝴蝶片、棉線*1 捆、寶特瓶*1 個、塑膠杯*1 個、美工刀*1 把、螺絲起子*1 把、秤台*1、剪刀*2 把、打洞器、沙子、油土、水桶*1 個、廢棄書桌*1、瓦楞紙、膠帶、鉛筆

肌肉研究(為三個人的用具)：解剖刀*3、手套 3 雙、鑷子*3、解剖剪刀*3、尺*3、雞翅*3、大頭針。

(三) 天然動物前臂實驗步驟。

1.【實驗一，天然動物前臂】解剖及測量天然動物前臂(雞、鴿子、兔及大白鼠)

(1)實驗用的天然動物前臂均購置於合法肉品供應攤商及寵物餌料商。

(2)分別將動物前臂至於解剖盤上固定，以手術刀及手術剪剪去動物外皮，找出各動物的肱骨、橈骨、二頭肌、二頭肌連結於橈骨上的位置(陳等，2023)並拍照記錄。

(3)測量記錄：分別以直尺測量紀錄橈骨長度、二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處長度及手臂伸直時肱骨與橈骨所夾角度。

(4)計算二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處長度/橈骨全長比值並記錄並記錄。

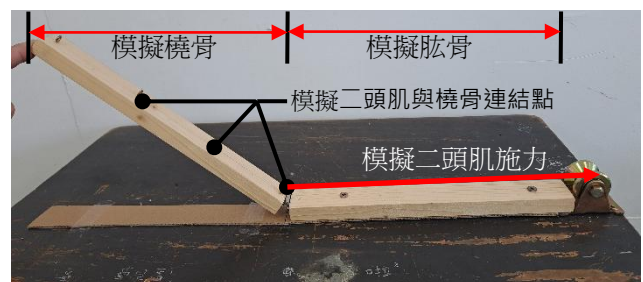


圖二、(a)將雞翅固定於石蠟盤上。(b)以手術刀剪去外皮。(c)以直尺測量記錄(d)兔子前肢測量記錄(e)以量角器紀錄動物前臂伸直時肱骨與橈骨所夾角度。

(四) 模擬手臂(實驗裝置)製作(以人的手臂比例模擬製作)與人造手臂測試實驗。

1.以人的手臂比例(查閱文獻)模擬製作的模擬手臂製作如圖三及圖一繪圖說明。

2.自製模擬手臂測試實驗：



圖三、自製人造手臂構造及說明。

1. 【實驗二，施力(重量)測試】

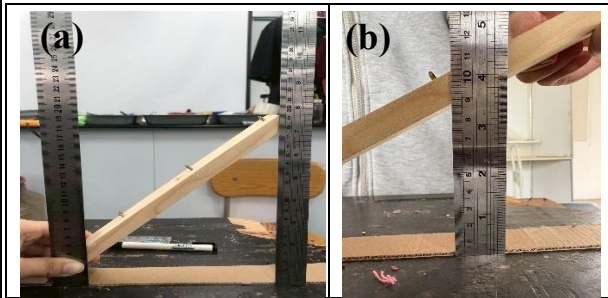
- (1) 改變模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離(靠近二頭肌端橈骨與二頭肌結合點：1cm・8cm・16cm・24cm 處)，分別測量驅動模擬手臂所需施力重量(g)。
- (2) 將棉線剪成合適長度綁上塑膠桶，一頭固定在模擬手臂上臂的釘子上，一頭纏繞在滑輪上容器從桌邊垂下。
- (3)將棉線分別綁在不同位置，在容器中添加砂石，模擬手臂抬起即停止增加並秤重。
- (4)每個距離測量 3 次並記錄於紀錄表中。



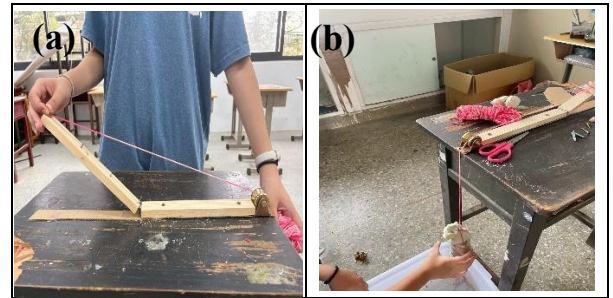
圖四、(a)模擬真人手臂自製人造手臂。(b)模擬手臂測試與實驗。(c)模擬手臂二頭肌測試實驗添加砂石模擬施力(d) 模擬手臂抬起即停止增加並秤重。

2. 【實驗三，靈活度(位移)測試】

- (1) 改變模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離(靠近二頭肌端橈骨與二頭肌結合點：4cm・8cm・16cm・24cm 處)，每個連結點位置分別移動 5cm 時，測量模擬橈骨末端分別移動的距離(cm)。
- (2)每個距離測量 3 次並記錄於紀錄表中。



圖五、(a) 改變模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離。(b) 測量模擬橈骨末端分別移動的距離(cm)。



圖六、(a)改變模擬臂橈骨與肱骨夾角(度)。(b)測量驅動模擬手臂所需施力重量(g)

3. 【實驗四，前臂夾角施力測試】

- (1) 改變模擬臂橈骨與肱骨夾角(度) (110°・130°及180°處)，每個角度位置分別測量驅動模擬手臂所需施力重量(g)。
- (2)將棉線分別綁在不同位置，在容器中添加砂石。
- (3)模擬手臂抬起及停止增加並秤重。
- (4)每個角度角度測量 3 次並記錄於紀錄表中。

(五)實驗結果

1. 實驗一・天然動物前臂

我們從解剖鳥類(鴿子和雞) 和哺乳類(兔子和大白鼠)實驗結果中發現：

(1)二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處長度/橈骨全長比值結果：鳥類的比值(鴿子 0.146 ± 0.018 ・雞： 0.181 ± 0.007)均明顯高於哺乳類(兔子： 0.084 ± 0.007 ・大白鼠： 0.102 ± 0.005)(圖七)，結果顯示實驗中的二種鳥類的二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端位置比實驗中的二種哺乳類距離橈骨近二頭肌端遠一些。

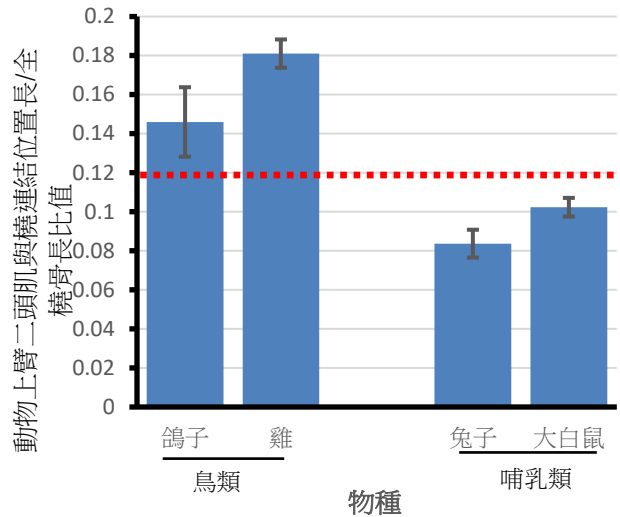
(2)前臂肱骨與橈骨伸至最大角度：哺乳類的角度(兔子： $167.5\pm0.5^\circ$)・大白鼠： $163.5\pm0.8^\circ$)均明顯高於鳥類(鴿子 $112.5\pm0.5^\circ$ ・雞： $101.3\pm4.8^\circ$)(圖八)，結果顯示鳥類前臂伸度均較實驗中的二種哺乳類小。

2. 實驗二・施力(重量)測試

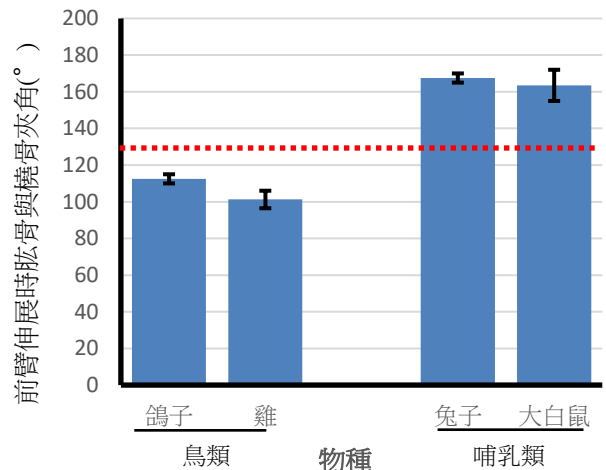
從改變模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離測量驅動模擬手臂所需施力重量的結果中(圖九)：模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離愈近所需施力 24cm 處所需施力為 $432.13\pm7.52(g)$ ，而 18cm、8cm 及 1cm 分別為 511.4 ± 2.24 、 $626.42\pm6.34(g)$ 及 $1351.34\pm11.96(g)$ 。可以明顯看出隨著模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離愈近所需施力就愈大(費力)。

3. 實驗三・靈活度(位移)測試

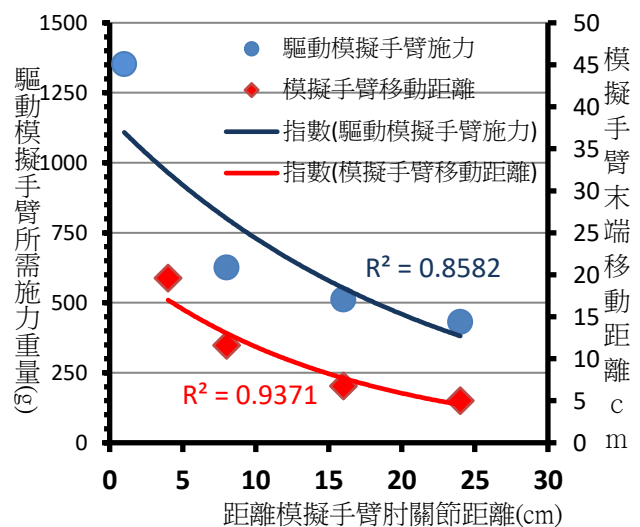
從改變模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離處，每個連結點位置分別移動 5cm 時，測量模擬橈骨末端移動距離的實驗結果(圖九)中可以看出靠近二頭肌端



圖七、實驗中的二種鳥類的二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端位置比實驗中的二種哺乳類距離橈骨近二頭肌端遠一些。



圖八、鳥類前臂伸至最大時的角度均較實驗中的二種哺乳類小。

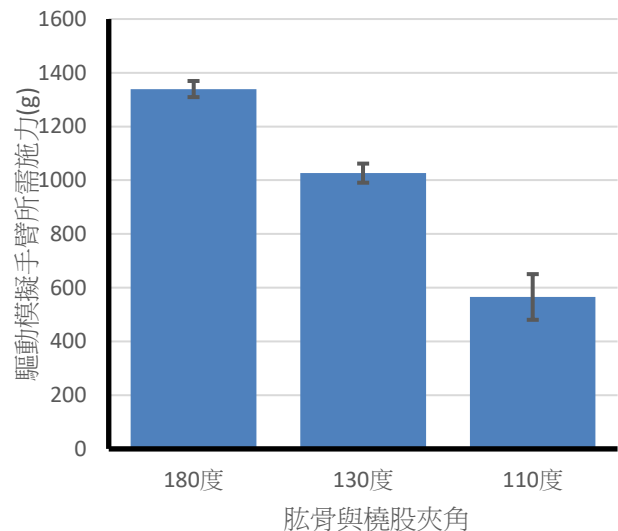


圖九、模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離愈近所需施力就愈大，且模擬橈骨末端移動距離也愈大。

25cm 移動 5cm 時，模擬橈骨末端移動距離分別為 19.63cm、11.60cm、6.77cm 及 5.00cm。可以明顯看出隨著模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離愈近，模擬橈骨末端移動距離就愈大(位移大)。

4. 實驗四・前臂夾角施力測試

改變模擬臂橈骨與肱骨夾角測量驅動模擬手臂所需施力重量的結果(圖十)中可以看出 180°、130° 及 110° 處所需施力分別為： $1351.344 \pm 11.96(g)$ 、 $1026.33 \pm 35.01(g)$ 及 $565.48 \pm 84.96(g)$ ，顯示隨著橈骨與肱骨



圖十、橈骨與肱骨夾角愈小，所需施力就愈小(省力)。

(六)論證

針對實驗假說與實驗結果相互驗證，並加以驗證說明：

假說一	假說二	假說三	假說四
鳥類橈骨與二頭肌連結處距離長/橈骨全長比值大於哺乳類。鳥類前臂伸度較哺乳類小。	模擬臂二頭肌橈骨連結點距離近二頭肌端處愈近時模擬手臂所需施力(g)愈大。	模擬二頭肌橈骨連結點距離近二頭肌端處愈近時驅動模擬手臂移動距離愈大。	模橈骨與肱骨夾角(度)愈大，驅動模擬手臂施力重量(g)愈大。
結果	結果	結果	結果
1.顯示鳥類的二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端位置比實驗中的二種哺乳類距離橈骨近二頭肌端遠一些。 2.鳥類肱骨橈骨夾角較中哺乳類小。	隨著模擬手臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離愈近所需施力就愈大(愈費力)。	隨著模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離愈近，模擬橈骨末端移動距離就愈大(位移大)。	改變模擬臂橈骨與肱骨夾角測量驅動模擬手臂所需施力重量的結果中可以看出隨著橈骨與肱骨夾角愈小，所需施力就愈小(省力)。
假說與結果相符	假說與結果相符	假說與結果相符	假說與結果相符

論 證

- 1.從實驗一結果顯示鳥類前臂肱骨與橈骨夾角均較實驗中的哺乳類小。查閱相關文獻(安，2001；陶，1994)及實際繪圖(圖十一(a))比較均有相同結果。而鳥類的二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端位置比實驗中的二種哺乳類距離橈骨近二頭肌端遠(相對比值較大)則沒有太多說明，但從文獻中(安，2001)人體模型手臂測量比較也有相同結果。
- 2.實驗二及實驗三結果顯示著模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離愈近所需

施力就愈大(費力)，但模擬臂二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離愈近，模擬橈骨末端移動距離就愈大(位移大)。我們從文獻(謝，2021)中描述的人類身體中的三種槓桿構造中就有說明到人類前臂施力屬於第三類槓桿(圖十一(b))：費力但可增加位移相符合。

3.實驗四結果發現模擬臂橈骨與肱骨夾角測量驅動模擬手臂所需施力重量的結果中可以看出隨著橈骨與肱骨夾角愈小，所需施力就愈小(省力)。從查閱相關物理力學(林等，2024)的作用可發現肱骨和橈骨夾角愈小時的分力就愈小(圖十一(c))，與實驗假說結果相符合。

4.從此次實驗結果發現有趣的現象：鳥類的前臂演化成較寬，二頭肌連接橈骨稍往前，讓鳥類收翅休息(鳥類大多數時間是收翅的狀態)時可以較為省力？且肱骨與橈骨較小的夾角也讓其在休息收翅時更加省力。

5.最早的鳥類起源自近鳥類的蜥臀類獸腳亞目恐龍演化支(國立自然科學博物館，2025)，從這類恐龍的前肢(大多短小)也可看出其並非費力而增加位移的構造，未來可針對更多種鳥類及古生物化石研究比對，更深入探討了解動物前肢力矩作用機制與原理。



圖十一(a)比較人體與鳥類前臂實際繪圖。(b)人類前臂施力屬於第三類槓桿說明(謝，2021)。(c) 模擬肱骨和橈骨所夾角度造成的的分力狀況。

五、結論與生活應用

- 1.動物二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端處距離愈近所需施力就愈大(費力)，但橈骨末端移動距離就愈大(位移大)，相對也愈靈活。
- 2.動物前臂隨著橈骨與肱骨夾角愈小，所需施力就愈小(愈省力)。
3. 鳥類的二頭肌與橈骨連結點距離近二頭肌端位置比實驗中的二種哺乳類距離橈骨近二頭肌端遠(相對比值較大)，且鳥類前臂肱骨與橈骨夾角均較實驗中的哺乳類小。
- 4.我們推測鳥類的前臂演化成較寬，二頭肌連接橈骨稍往前，讓鳥類收翅休息(鳥類大多數時間是收翅的狀態)時可以較為省力且肱骨與橈骨夾角小也讓其在休息收翅時更加省力。
- 5.生活應用：費力而增加位移(靈活度)的原理構造可應用在掃把、剪刀、鑷子、筷子、釣魚竿、火鉗、筆等常見的生活用品中。

參考資料

1. 安德魯·貝爾，2021，人體解剖全書第三版，楓葉社文化。
2. 陶錫珍，1994，脊椎動物比較解剖學實驗，歐亞書局。
3. 陳俊宏、丁宗蘇、蘇夢淮、吳雅嵐、沈家玉、房樹生、張淳瑋、劉玉山、蔡任圃、魏宏仁，2023，選修生物 III 動物體的構造與功能，龍騰文化。
4. 林秀豪、鄭呈因、張銘傑、徐國誠、張智詠，2023，選修物理 I (全)力學一，龍騰文化。
5. 謝宗佑，2021，一起健身中心，<https://www.togethergym.com/>
6. 國立台灣科學教育館，2023，人體奧妙常設展-從我到我們:透明瑪莉與 1:1 真人實模型，<https://www.ntsec.gov.tw/article/detail.aspx?a=5106>
7. 國立自然科學博物館，2025，常設展-恐龍時代，<https://www.nmns.edu.tw/ch/exhibitions/galleries/life-science-hall/the-age-of-dinosaurs/>