

中華民國第 64 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(一)科

團隊合作獎

082818

不彎腰，來「抬槓」－ 雙槓桿可抬升重物省力
手推車的研究

學校名稱：臺中市私立明道普霖斯頓國民小學

作者： 小五 陳品伊 小五 李旻叡 小四 陳亮妘 小四 劉宥霆	指導老師： 王懋勳 劉原旭
---	-------------------------

關鍵詞：槓桿原理、背部施力數據化、雙槓桿結構推
車

不彎腰，來「抬槓」－ 雙槓桿可抬升重物省力手推車的研究

摘要

本研究提出一種雙槓桿省力抬升重物之手推車設計，達到不用彎腰、省力抬升、自由移動三重目的。同時也探討重物被人體槓桿放大的情形、宣導正確搬重物姿勢。

我們自製關節頂點定位器、骨骼長度測量器、穩定施力測量器，用來製作人體模型並模擬、測量搬重物時的各種姿勢。研究發現：任何徒手搬運重物的姿勢，身體槓桿都會把重物重量放大，甚至放大到 15 倍！

為了能省力在室內搬重物，並突破市售電動升降推車只能垂直升降的缺點，我們在第二類槓桿的雙輪推車上裝了電動型第三類槓桿來抬升重物，利用縮小模型進行實驗，找出最佳組裝結構。

結果顯示，我們的創新推車可抬升重物 96 公分、省力 75.4%，能靈活自由移動。而且成本只花三千五，成功達成目標！

壹、研究動機

開學時我們發現，老師都忙著搬書發書。雖然有推車幫忙搬運，但還是要彎腰把堆車上很重的書搬到窗台上，結果老師有時會跟我們說腰扭到了！查詢資料發現彎腰搬重物對腰部肌肉傷害很大，但是卻沒有明確的數據說明。所以我們想用縮小模型與小五、小六學過的力的作用、槓桿原理進行【彎腰搬重物時背部、腰部的肌肉施力大小】的實驗，用實驗數據告訴大家【重物會被人體槓桿放大多少倍】。也想證明不同骨骼長度、物體離身體不同遠近、膝蓋是否彎曲會不會造成影響。

另外該如何幫助人們不用彎腰輕鬆抬起重物放到高處，還能兼具移動的功能？發現在原本兩輪手推車單槓桿的結構上，增加一組可以抬升重物的槓桿，設計出雙槓桿的結構，讓大家的腰減少受傷的可能。

★ 與課程相關單元：【力與運動】、【簡單機械-槓桿、滑輪】、【奇妙的電路】

貳、研究目的

【研究一】設計【模擬彎腰搬重物的方法】及【測量工具】

一、制定測量人體骨骼長度的標準流程及設計測量工具：

【關節頂點定位器】、【骨骼長度測量器】

二、制定【測量彎腰搬重物時背部肌肉施力大小】的方法

三、設計【穩定施力測量器】

【研究二】搬重物時模擬不同條件對背部肌肉施力的影響

一、搬重物時「不同彎腰角度」對上背、中背、下背肌肉施力的影響

二、搬重物時「不同骨骼長度比例」對上背、中背、下背肌肉施力的影響

三、搬重物時「物體與人遠、中、近不同距離」對上背、中背、下背肌肉施力的影響

四、搬不同遠近重物時，「膝蓋彎曲角度」對上背肌肉施力的影響

五、總結各項實驗結果，減少搬重物造成背部肌肉受傷的原則

【研究三】第一代雙槓桿可抬升重物省力手推車的設計：第二類省力槓桿+第一類省力槓桿

【研究四】第二代雙槓桿可抬升重物省力手推車的設計：第二類省力槓桿+第三類省時槓桿

一、設計想法：第二類省力槓桿 + 第三類省時槓桿

二、重物抬升到不同高度時，使用者的施力情形

- 三、 抬升重物時，「第三類省時槓桿」不同的支撐位置，是否影響使用者施力情形
- 四、 固定「第三類省時槓桿」支撐位置，改變重物與前輪（支點）的距離，是否影響使用者施力情形
- 五、 總結實驗結果，決定電動推桿的裝設位置

【研究五】 實際打造【第二代雙槓桿可抬升重物省力手推車】與使用情形




參、 研究設備及器材

製作工具	電鑽、螺絲起子、線鋸機、熱熔槍、直角尺
關節頂點定位器	木條、螺絲釘、蝶形螺帽
骨骼長度測量器	木條、螺絲釘、蝶形螺帽、尺規、水平儀
穩定施力測量器	木板、木條、螺絲釘、蝶形螺帽、滾輪、電線(當作拉繩)、接線器
人體骨架縮小模型	木條、螺絲釘、蝶形螺帽、塑膠盒、1元(模擬搬運重物)、水平儀
雙槓桿可抬升重物 省力手推車	木條、螺絲釘、蝶形螺帽、金屬棍、輪子、雙向開關、電動推桿、24V 鋰電池、直角鐵(前叉)、門軸鉸鍊、單向卡榫(綁鞋帶用)

肆、 研究過程與方法

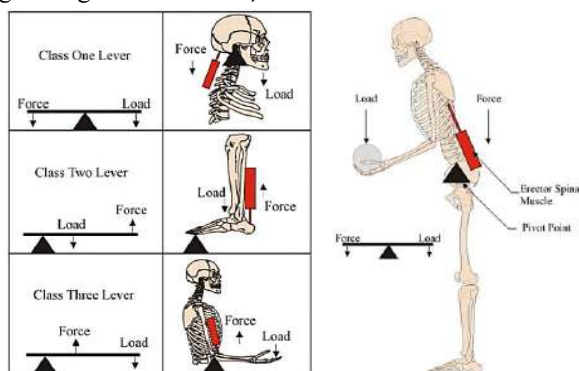
一、關於彎腰的理論與調查：

1. 彎腰時肌肉的運作 (文字引用自安健維康物理治療所、圖片引自張嘉哲骨科醫師)：

		 <p>(3). 背部豎脊肌群在脊椎旁邊，在彎腰時控制軀幹抗衡地心引力，在維持姿勢上扮演重要角色。 豎脊肌群較細長，較不適合使用於大量出力的工作。</p>
(1). 向下彎腰：腹部肌肉收縮、背部肌肉放鬆。	(2). 軀幹向上抬起：腹部肌肉放鬆、背部肌肉收縮。	

2. 身體的槓桿原理 (圖片引自 BodyBasics : Washington Ergonomics 1994)：

- (1). 我們的身體使用關節來實現運動
關節：兩個或更多骨頭之間的連接處。
韌帶：將關節的骨頭固定在一起。
肌肉：提供移動關節的動力。
肌腱：連接肌肉與骨骼。



- (2). 如右圖所示，身體運動的方式和槓桿的運作很相似。
- (3). 支撐脊椎的肌肉和韌帶很複雜，但這些結構可被當成第一類槓桿(支點在中間)。

3. 搬重物的正確方式與錯誤方式 (引用自 照護線上 報導)：

- (1). 其實上網搜尋“正確搬重物姿勢”，會出現很多像右圖的姿勢，並說明搬重物時不要彎腰、要蹲下的建議。



(圖片引自「照護線上」報導)

(2). 但是我們真的很想知道錯誤的姿勢會因為“人體槓桿”把重物的重量放大幾倍？不同彎腰角度、不同物體距離、手腳的姿勢是否造成影響？可能人們會因為知道錯誤姿勢造成重物重量的放大倍率，才了解彎腰搬重物真的很危險！

(3). 知道彎腰搬重物很危險是第一步驟，最重要的是我們想研究如何改造手推車，讓它可以：**直接拿起重物→移動到正確位置→推車能直接抬起重物放到定位。**

重點是過程中不用彎腰搬動重物！

4. 搬重物姿勢的調查：

(1). 我們把 6 公升水瓶放地上，請不知情的 280 位同學和 20 位老師，進行【搬起重物實驗】，記錄他們是彎腰還是蹲下搬重物。

(2). 結果發現有 **244 位同學和 14 位老師彎腰搬重物，彎腰比例高達 86%！**可見**正確搬重物姿勢需要用科學數據來大量宣傳。**



(本照片由第 1 指導教師拍攝)

二、關於兩輪手推車的省力原理：

(圖片引自蝦皮購物商品簡介)

	<ol style="list-style-type: none"> 較長的手把增加施力臂，達到省力效果。 把輪胎當支點，握住把手往下壓，推車會以輪胎當圓心往下旋轉，讓重物離地。
	<ol style="list-style-type: none"> 推車傾斜後，手往上撐住鐵桶重量推行前進。 根據槓桿原理：$\text{抗力} \times \text{抗力臂} = \text{施力} \times \text{施力臂}$，手握在槓桿的最尾端，所以施力臂 > 抗力臂，紅色箭頭施力 < 藍色箭頭鐵桶造成的重量，達到省力的結果。

雖然兩輪手推車可以較省力的移動重物，但是一開始或是到達定位時，還是要把重物從推車搬上搬下。一不注意很容易就會彎腰搬重物，可能會造成腰、背傷害。

所以我們想設計一種手推車，同時達到：①不用彎腰搬到車上、②省力撐住重物推行前進、③不用彎腰把重物抬到定位



(圖片引自蝦皮購物商品簡介)

三、歷屆研究槓桿、省力、減少傷害的作品探討

作品名稱	研究大綱	優點	缺點
全國 53 屆 鄒族獵人的 槓桿原理	<ul style="list-style-type: none"> ● 解析「石板陷阱」所利用的科學原理 ● 探討「石板陷阱」架設、掉落的因素。 ● 改良傳統石板陷阱。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 能清楚解釋石板陷阱所隱含的物理原理。 ● 數據呈現清楚 ● 理論圖示清楚 	<ul style="list-style-type: none"> ● 用人手觸發陷阱可能造成誤差。 ● 部分實驗使用刻度為 10g 的彈簧秤，可能造成誤差。
全國 55 屆 智慧開關- 以水量變化操作 槓桿擺動之應用	<ul style="list-style-type: none"> ● 利用土壤乾、濕重量不同，設計槓桿工具控制水的開關。 ● 探討槓桿機關最佳配重。 ● 一代一代改進缺失。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 實驗詳盡，有考慮到各種情況。 ● 找出每代機關的缺點加以改進，使自動澆水器能如期順利運作。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 實驗結果呈現表格數據和圖表選一個呈現就可以了。 ● 報告最後只有測試成功，沒有說明是否有實際運作一段時間。

作品名稱	研究大綱	優點	缺點
全國 56 屆 護脊行不行！ 搖一搖就知道	<ul style="list-style-type: none"> ● 自製檢測脊椎側彎的工具。 ● 探討脊椎側彎的關鍵因素，研究改良出護脊書包。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 主題具實用與應用價值 ● 實驗紀錄詳實、豐富，資料整理恰當。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 製作能符合人體骨骼、肌肉結構的模型並不實際，也非必要性。 ● 可考慮簡易設計，測量受力大小、平衡性即可
全國 58 屆 氣動式軟型 人工肌肉機器手 ~自製復健輔具	<ul style="list-style-type: none"> ● 自製可攜式加熱軟性復健手套系統 ● 探討不同材料模擬手指、利用充氣方式模擬手指彎曲。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 實驗題材創新，挑戰性高。 ● 實驗紀錄完整。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 若能拆解成幾個基本動作，並達成特定目標更有意義，收穫更大。 ● 應該要實測成品是否能達成某些基本動作。
全國 58 屆 走進「複式槓桿 的巧妙世界」 創新「0」元 施力工具	<ul style="list-style-type: none"> ● 利用槓桿原理研發出巧妙施力工具。 ● 此工具可以輕鬆打開上排窗戶月牙鎖。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 槓桿力學圖示、解釋清楚。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 較多實驗在證明槓桿科學原理的說明。 ● 對於成品的實際測試數據、分析、設計尺寸理由較無說明。

四、本研究特色

<p>我們的作品</p> <p>不彎腰來「抬槓」</p> <p>-</p> <p>雙槓桿可抬升重物 省力手推車</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 自製測量工具： 【關節頂點定位器】、 【骨骼長度測量器】、 【穩定施力測量器】 ● 設計搬重物變因： 【彎腰角度】、【重物遠近】 【身形比例】、【膝蓋角度】 ● 搬重物不同變因優劣分析、建議姿勢 ● 分析推車上加裝【第一類省力槓桿】-結果不可行 ● 分析推車上加裝【第三類省時槓桿】-可行，並加裝電動推桿，同時達成省力與省時(抬升距離夠高) ● 用實驗分析電動推桿裝設位置與耐重 ● 實際打造第二代【雙槓桿可抬升重物省力手推車】 ● 實際使用、分析優缺點並進行改進 	<ul style="list-style-type: none"> ● 自製測量工具，並且用實驗證明這些測量工具有可信度。 ● 設計測量標準流程，盡可能準確測量骨長。 ● 將真實的骨骼長、推車、窗台高，尺寸縮小成 40%的模型，模擬真實狀況進行實驗。 ● 用【拉繩施力法】模擬複雜的肌肉收縮，用槓桿原理分析、比較不同情況下，搬重物時背部施力。 ● 用真實數據呈現不良姿勢搬重物的結果： 站著彎腰搬重物：重物重量放大 2.8 倍 重物離自己較遠：重物重量放大 14.5 倍 手往前伸直搬重物：重物重量放大 15 倍 下背(腰)容易受傷：承受力量是上背的 4.1 倍 ● 用等比例縮小模擬實驗找出「電動推桿裝設位置」，不是隨意裝上去就好！ ● 打造第二代【雙槓桿可抬升重物省力手推車】 可省力 59.7% ~ 75.4% 可抬升重物最高到 96 公分 ● 與市面上「電動升降手推車」的差異 市面上的產品只能垂直升降，還是要有人把重物搬上、搬下推車，承擔重物全部的重量！ <p>目標達成</p> <p>我們的【雙槓桿可抬升重物省力手推車】可以省力 75.4%，把重物同時移動、抬升到定位！</p>
---	--	--



東西怎麼上車？

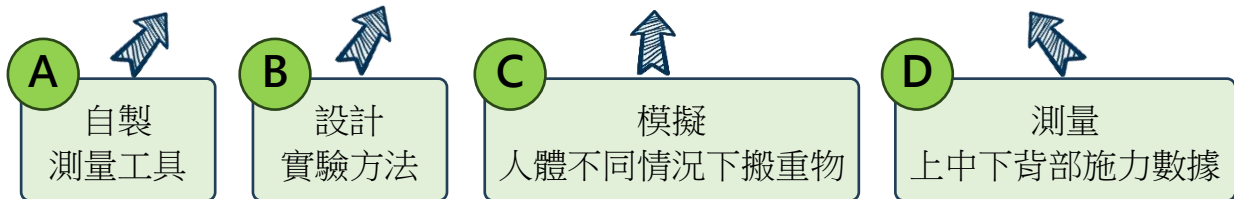
(圖片引自蝦皮購物商品簡介)

五、研究架構



因為彎腰搬重物易受傷 所以設計創新推車

- ★ 模擬搬重物實驗讓我們可用數據讓民眾知道錯誤姿勢搬重物有多嚴重和其原因
- ★ 任何徒手搬運重物的姿勢，身體槓桿都會把重物重量放大，甚至放大到 15 倍！
- ★ 市面上的升降手推車只能垂直升降，還是要有人先把重物搬上手推車
- ★ 改造兩輪手推車目標：可直接抬升重物 + 推車移動功能 + 省力



對應說明

1. 選擇加裝【第三類槓桿】的原因 P.20
 - 為了讓抬升重物時的移動距離較長。
 - 為了不讓使用者費力，加裝電動推桿。
 2. 重物抬升不同高度實驗
 - 施力與重物抬升高度沒有明顯的關係。
 3. 抬升重物時不同支撐位置實驗
 - 重物維持相同高度，就算改變不同支撐位置，使用者施力都相同。
 4. 改變重物與前輪的距離實驗
 - 重物離前輪越遠，使用者施力越大。
- 總結：電動推桿裝設位置不會影響使用者的施力、裝設位置要考慮：①抬升高度 ②承受力量
5. 可抬升重物 96 公分、省力 75.4%，能靈活自由移動。而且成本只花三千五，突破市售電動升降推車只能垂直升降的缺點。
 6. 改裝「按鈕式開關」、新增「重物十字快速捆帶」、前叉加裝「門軸絞鍊和固定放鬆裝置」

- A. 自製測量工具
 - 關節頂點定位器：定位出骨骼連接處。
 - 骨骼長度測量器：公平測量出骨骼長度。
 - 穩定施力測量器：本研究關鍵器材，固定電子吊秤而不是用手拿，增加穩定度。
 - 自製器材都有用實驗證明可信度
- B. 設計實驗方法
 - 拉繩施力法：用拉繩模擬複雜的肌肉收縮，量測施力。
 - 本研究用真實尺寸等比例縮小成 40% 的模型進行實驗，才能最接近真實狀況。
- C. 模擬人體不同情況下搬重物
 - 彎腰角度、骨骼長度比例、物體與人距離、膝蓋彎曲角度(發現大、小腿傾斜角度不同)
- D. 測量上中下背部施力數據
 - 站著彎腰搬重物：承受力量是重物 2.8 倍
 - 重物離自己較遠：承受力量是重物 14.5 倍
 - 手往前伸直搬重物：承受力量是重物 15 倍
 - 下背容易受傷：承受力量是上背的 4.1 倍

伍、研究結果與討論

【研究一】設計【模擬彎腰搬重物的方法】及【測量工具】

一、制定測量人體骨骼長度的標準流程及設計測量工具

1. 各部位骨骼長度定義

- (1). 查詢資料發現背部脊椎是一節節連接起來的，而且有一定的彎曲度。我們有想過要不要買脊椎模型進行實驗，但討論後覺得一節節的構造變因太多不可行。
- (2). 而且過去關於人體構造的科展，評審建議：**簡易設計，測量受力大小、設定基本動作**。所以我們決定不製作擬真肌肉，捨去複雜脊椎構造，**使用木條當作骨骼、螺絲釘當作關節**，來製作人體彎腰動作模型。
- (3). 我們觀察彎腰的情形和以後想要測試的動作，來決定【可轉動節點的位置】和【要測量的骨骼長度】。

(圖片引自佳緯物理治療師網頁)

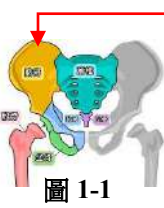


圖 1-1

- ① 腳底 ↔ 腳踝骨
- ② 腳踝骨 ↔ 膝蓋彎曲頂點處
- ③ 膝蓋彎曲頂點處 ↔ 髌骨外側
髌骨外側：腰部突出硬骨處
- ④ 髌骨外側 ↔ 肩膀上部最凸處
- ⑤ 肩膀上部最凸處 ↔ 手肘彎曲頂點處
- ⑥ 手肘彎曲頂點處 ↔ 手握拳中指突出骨

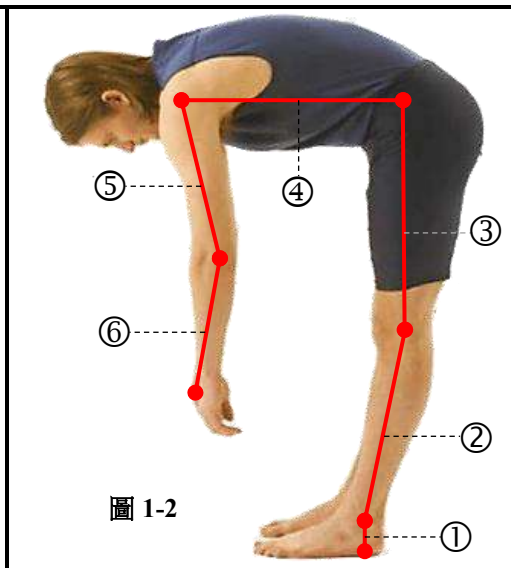


圖 1-2

(圖片引自每日頭條「瑜珈拉伸」報導)

- (4). 我們也有詢問執業的專業復健科羅醫師，這樣的定義是否可行。醫師說：**雖然有部分測量長度與真正骨骼長度不同**，但是**以彎腰的姿勢來看，這些節點的設置是可行的**。

2. 【骨骼長度測量器】的設計

(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)



圖 1-3



圖 1-4

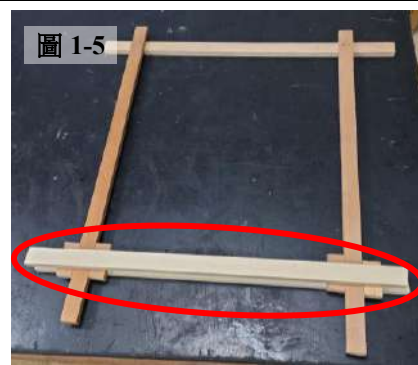


圖 1-5

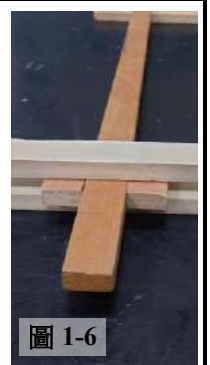


圖 1-6

一開始我們用皮尺測量節點的距離，但是發現**肉的弧度會影響測量**，所以我們想學游標尺的設計，用兩端硬的物體對準節點，測量其間的距離。

用木條釘出骨架，做出可以活動的軌道。圖中紅色圈圈的橫桿是可以上下移動的。

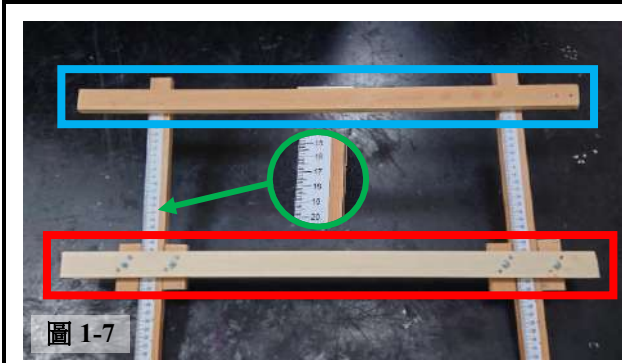


圖 1-7

- 兩邊都貼上尺的刻度，用來測量長度。
- 測量時要注意橫桿兩邊對齊的刻度要相同，確保可移動橫桿(紅框)和上面橫木條(藍圈)是平行的，測量才會準確。

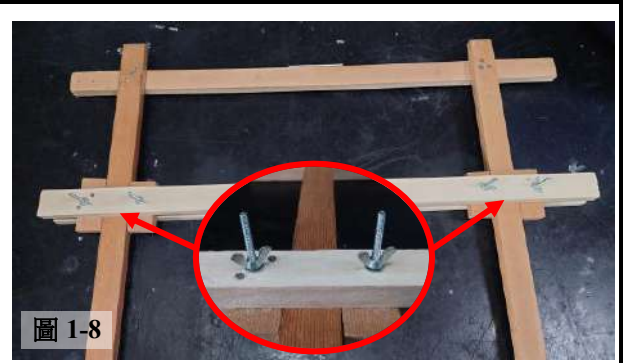


圖 1-8

- 可移動橫桿要裝上螺絲釘和蝶型螺帽。
- 螺帽放鬆時，橫桿才能順利移動，夾住我們要測長度的位置。
- 測量好後可以鎖緊固定、紀錄數據。

3. 【關節頂點定位器】的設計



圖 1-9

我們要測量的端點大部分都是關節的位置。但是有些地方關節突起不明顯，不好判斷。

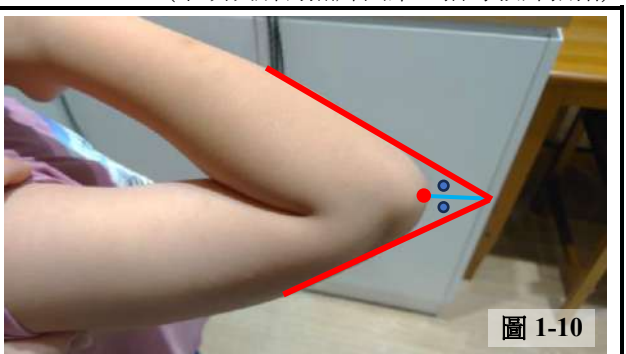


圖 1-10

所以我們決定用以下判斷標準：關節彎曲時，兩邊骨骼做延長線形成一個夾角，夾角中間的位置就是我們測量的端點(紅點)。



圖 1-11

我們把兩支木條中間用螺絲和螺帽連結，方便轉緊固定或放鬆。中間貼上大量角器，並在木條尾端加上指針，方便測量打開的角度。

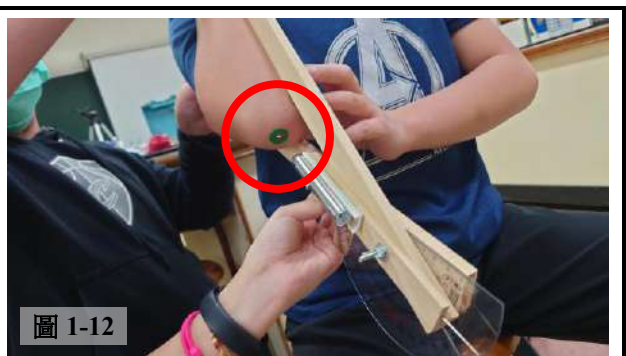


圖 1-12

中間再加上有雷射筆的指標。木條兩端緊貼要測量的部位後，判讀角度，再把雷射指標指向 1/2 角度的地方，用貼紙完成端點定位。

【確認工具準確性】 為了確認雷射指標指向正確，進行以下測試：

- (1) 把折疊尺打開 20° 後，將兩端點頂在紙上，記錄下 A、B 兩端點。
- (2) 把雷射指標指向 10° 的位置，在紙上紀錄雷射光點位置 C 點。
- (3) 測量 AC、CB 的距離，如果 $AC = CB$ ，代表雷射指標是準確的。
- (4) 重複步驟(1)~(3)，把角度換成 40°、60°、80°。測量結果都是 $AC = CB$ ，證明了【關節頂點定位器】的準確性。(只有 80° 左右距離誤差 0.13%)

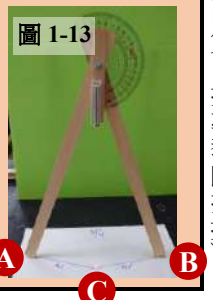


圖 1-13

4. 測量標準流程（①~⑥編號，對應 P.6 圖 1-2 的測量位置編號）

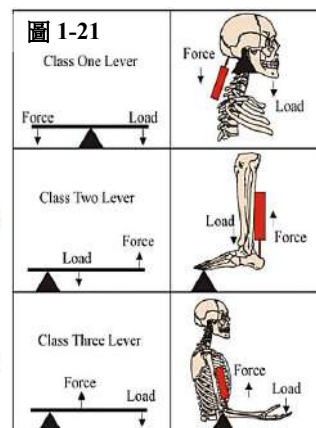
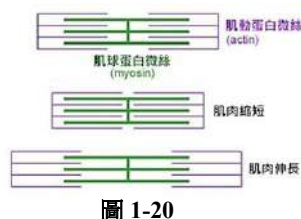
(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

 <p>圖 1-14</p>	 <p>圖 1-15</p>	 <p>圖 1-16</p>
<p>①用鐵尺測量腳底~腳踝骨的距離。 選擇使用直角尺，才能確定量到的是腳底到腳踝骨的垂直距離。</p>	<p>②用【關節頂點定位器】找到膝蓋頂點，用【骨骼長度測量器】測量腳底~膝蓋頂點距離，再減去項目①的距離。小腿緊貼測量器旁邊木條，避免腿歪斜測不準。</p>	<p>③請受測者找到髖骨位置(腰部突出的骨頭)，貼上定位貼紙。用【骨骼長度測量器】測量膝蓋頂點~髌骨外側距離。請受測者站直，確認測量器水平，避免歪斜測不準</p>
 <p>圖 1-17</p>	 <p>圖 1-18</p>	 <p>圖 1-19</p>
<p>④用【骨骼長度測量器】測量髌骨外側~肩膀上部最凸處。請受測者站直、手自然下垂。確認測量器水平，避免歪斜測不準。</p>	<p>⑤用【關節頂點定位器】找到手肘頂點，用【骨骼長度測量器】測量肩膀上部最凸處~手肘頂點距離。上臂要緊貼測量器旁邊木條，避免手歪斜測不準。</p>	<p>⑥用【骨骼長度測量器】測量手肘頂點~手握拳中指突出骨距離。下臂要緊貼測量器旁邊木條，避免手歪斜測不準。</p>

二、制定【測量彎腰搬重物時背部肌肉施力大小】的方法

1. 我們從期刊《臺中學院體育 4 期》查到：肌電圖是運動生物力學研究方法中的測量方法，將電極貼在皮膚上或刺入肌肉中，收集肌肉活動時的生物電訊號。

2. 從 BodyBasic 文獻中查到：軀幹從彎腰到伸直，是利用背部肌肉互相收縮產生運動。以骨盆附近當支點、支點左側是重物向下施力、支點右側是背部肌肉產生的施力，所以可判斷為第一類槓桿。

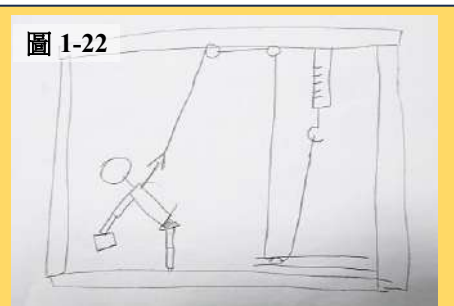


(圖片引自期刊 BodyBasics)

3. 討論後發現很難模擬這兩點：創造交錯構造模擬肌肉收縮、用肌電圖測量力量。

4. 決定用右圖【拉繩施力法】模擬背部肌肉施力：

- (1). 用木板木條釘出一個有地板、天花板的支架。
- (2). 左方用木條根據測量的數據做出人體模型，用螺絲釘跟螺帽當成關節，模擬不同姿勢。
- (3). 在人體模型背部的木條上釘圓鈎，用繩子拉動模擬肌肉收縮施力。



(本圖由作者親自製作)

重大決定

- (4). 用滑輪構造把繩子掛到支架右方的電子吊秤，秤出人體模型搬起重物時維持姿勢需要多少力。
5. 雖然這樣的模擬方式會讓【彎腰搬起東西的過程】變成第三類槓桿的模式，但是我們的主要目的是能夠比較出【不同姿勢、不同條件下彎腰搬起東西的力量差異】，雖然不是最真實的情況，但是能讓我們公平地收集數據、進行比較。

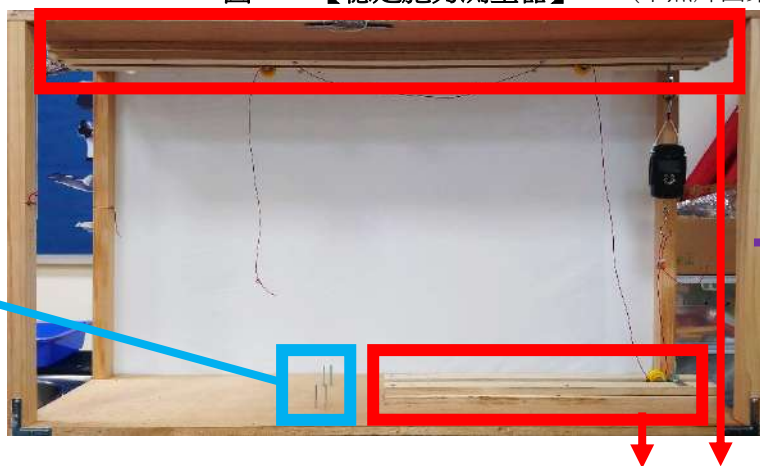
三、設計【穩定施力測量器】

1. 設計目的有兩個：①符合上面「第二點」討論的測量方式、②用手拿彈簧秤會晃來晃去不易判斷刻度。

圖 1-23 【穩定施力測量器】 (本照片由第 1 指導教師拍攝)

2. 各部位功能：

人體模型鎖定裝置：因為我們會替換不同大小模型，這樣方便我們固定、拆卸。



水平固定：天花板和地板用四根柱子固定，並用水平儀確認水平。

滑軌裝置：可移動滑輪、電子吊秤的位置，調整繩子施力角度，保持實驗條件相同。



圖 1-24



圖 1-25



圖 1-26

3. 驗證【穩定施力測量器】的準確度

(本照片由第 1 指導教師拍攝)

我們想用「槓桿實驗器」進行測試，如果【穩定施力測量器】測量出來的力和用槓桿原理（ $\text{抗力} \times \text{抗力臂} = \text{施力} \times \text{施力臂}$ ）算出來的數字相同，就代表我們製作的測量器是準確的。

(本照片由第 1 指導教師拍攝)

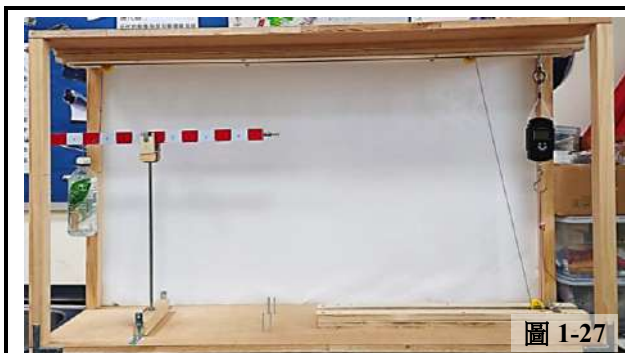


圖 1-27

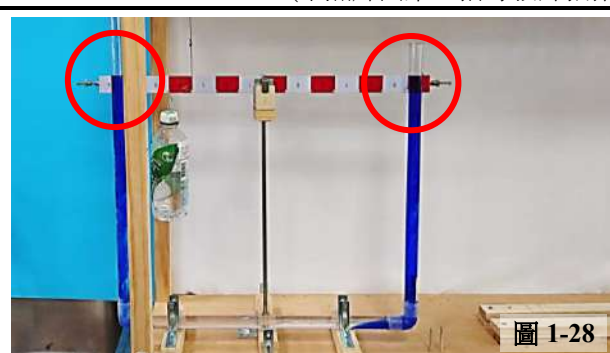
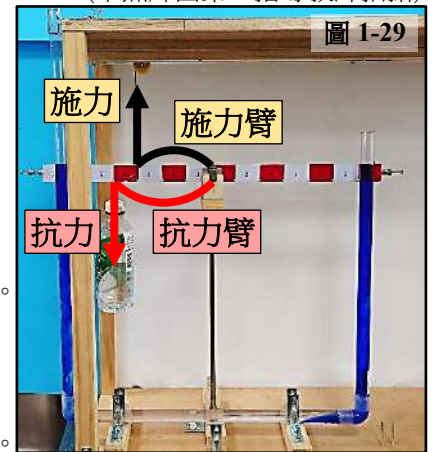


圖 1-28

我們把槓桿實驗器暫時固定在未來要放模型人的地方，用拉繩綁住、透過滑輪連到電子吊秤當作施力，進行測量。

為了測量準確，我們利用連通管測量槓桿兩端，來確定槓桿在實驗中有達到水平。

(本照片由第 1 指導教師拍攝)



(1). 測試流程 (圖 1-29) :

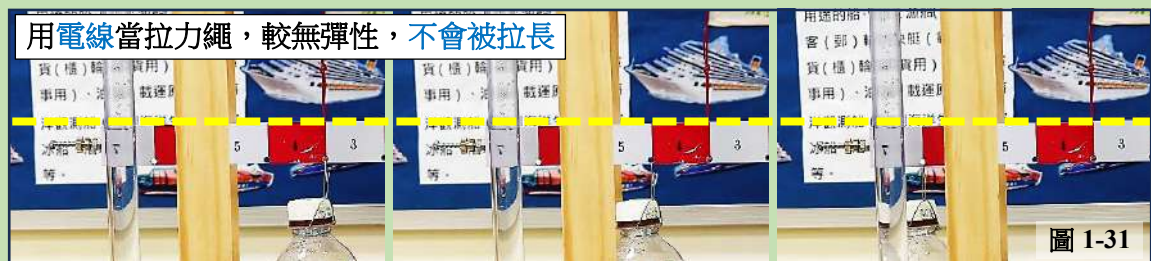
- A. 用電子吊秤秤出 600g 的重物(掛勾+寶特瓶+水)。
- B. 繩子綁在槓桿實驗器第 3 個洞(施力臂固定為 3)，再把繩子藉由滑輪勾到電子吊秤上。**注意繩子要和槓桿保持垂直，才能符合槓桿原理的計算公式。**
- C. 重物分別掛在槓桿實驗器 1~6 個洞上，分別用電子吊秤秤出要維持槓桿平衡所需要的力。**注意槓桿要維持水平，槓桿兩端要對齊聯通管內的水面。**
- D. 比較「用槓桿原理算出的數字」和「實際測量的數字」，確認我們的【穩定施力測量器】測量是否準確。

【發現問題】

(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)



電子吊秤的原理是內部感應器偵測到力的變化後，螢幕顯示數字，**長度不會改變**，而不是像彈簧秤彈簧被拉長造成指標移動。但是把重物往後移(抗力臂變長)卻發現，槓桿往下垂，代表**棉繩有彈性被我們拉長了(圖 1-30)**，這可能會影響實驗結果！我們試過塑膠繩(也有彈性)、鐵絲(太硬形狀固定)，**最後使用電線(外面塑膠、裡面細銅絲)當作拉力繩，施力後沒有明顯變長(圖 1-31)**，但還是要隨時注意水平！



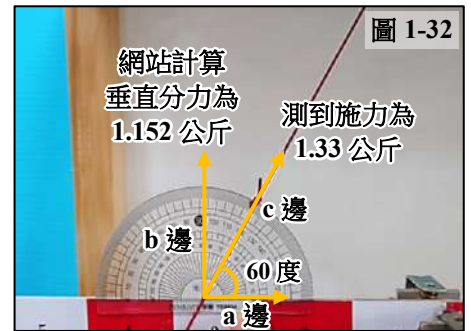
(2). 測試結果：(每格抗力臂做 5 次取平均)

抗力臂 (格)	抗力 (公斤)	施力臂 (格)	施力計算值 (公斤)	施力測量值 (公斤)	計算值與測量值 誤差百分比
1	0.600	3	0.200	0.195	2.500%
2	0.600	3	0.400	0.395	1.250%
3	0.600	3	0.600	0.595	0.833%
4	0.600	3	0.800	0.795	0.625%
5	0.600	3	1.000	0.995	0.500%
6	0.600	3	1.200	1.195	0.417%

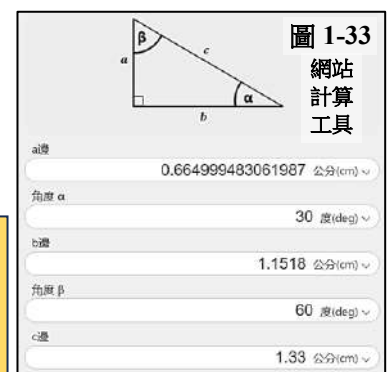
【測試結果討論】

- A. 「施力測量值」都比「施力計算值」小，推測原因是滑輪的摩擦力。
 - B. 雖然「施力測量值」有誤差存在，**誤差百分比在 0.417%~2.500%之間**，但是**每格抗力臂做 5 次實驗，5 次數據都相同，代表可信度很高。**
- (3). 繩子施力角度的決定：

- A. 實驗中發現，**施力繩和槓桿角度不同，就算抗力、抗力臂相同，測到的力也會不同。**
- B. 以右圖為例，施力繩和槓桿夾角 60 度，施力臂=3、抗力臂=6。**測到的施力為 1.33 公斤，比原先測到垂直的施力 1.195 公斤還要大。**
- C. 從圖 1-32 分力的概念來看，往右上方斜的力就是同時往上又往右施力。用網站三角函數的換算工具，結果往上垂直分力(1.152kg)和原本施力繩與槓桿垂直時測到的力(1.195kg)相近，**誤差只有 3.6%，而且 5 次實驗數據都相同，代表信度很高。**



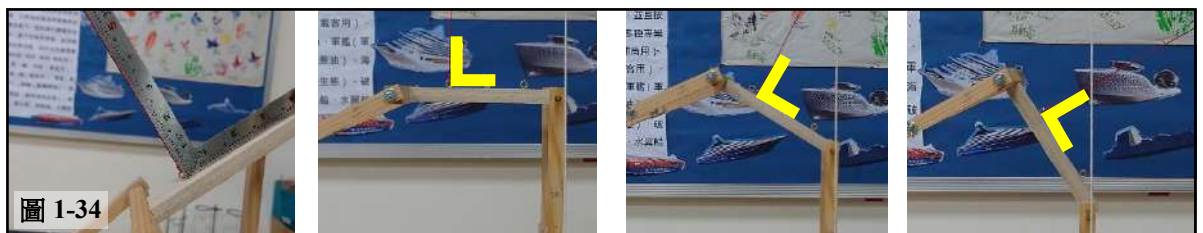
(本照片由第 1 指導教師拍攝)



(本圖引自工具程式網頁)

重大決定

- D. 所以我們決定，之後**測量「繩子拉動模擬肌肉收縮施力」時，繩子和背部木條的角度永遠維持 90 度**，避免出現向支點施力的分力。



(本照片由第 1 指導教師拍攝)

【研究二】搬重物時模擬不同條件對背部肌肉施力的影響

一、搬重物時「不同彎腰角度」對上背、中背、下背肌肉施力的影響

1. 實驗方法 - 【拉繩施力法】：

(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

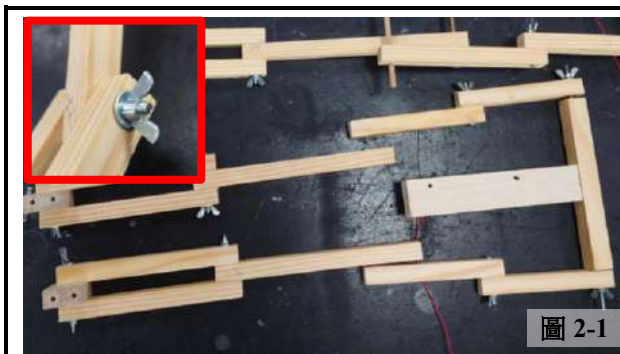


圖 2-1

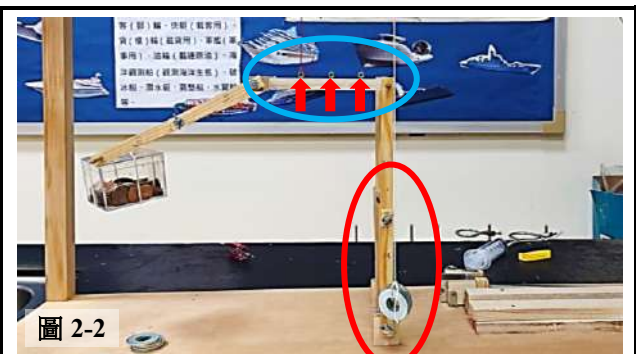
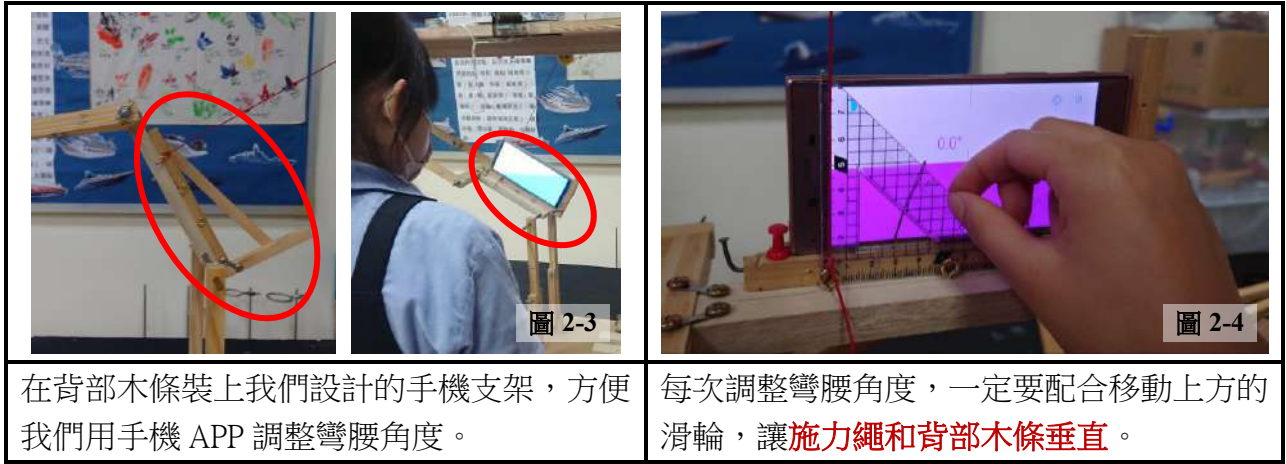


圖 2-2

把【研究一】P.8 測量到的骨骼數據，縮小成 40% 的長度，然後頭尾各加 1 公分(用來鎖螺絲)，當作切木條的長度。

紅圈：把人體模型鎖在預留的鎖定裝置，並且用鉛垂線確定腳是垂直水平面的。
藍圈：在背部木條平均鎖上 3 個掛勾，當成上背、中背、下背的肌肉施力點。

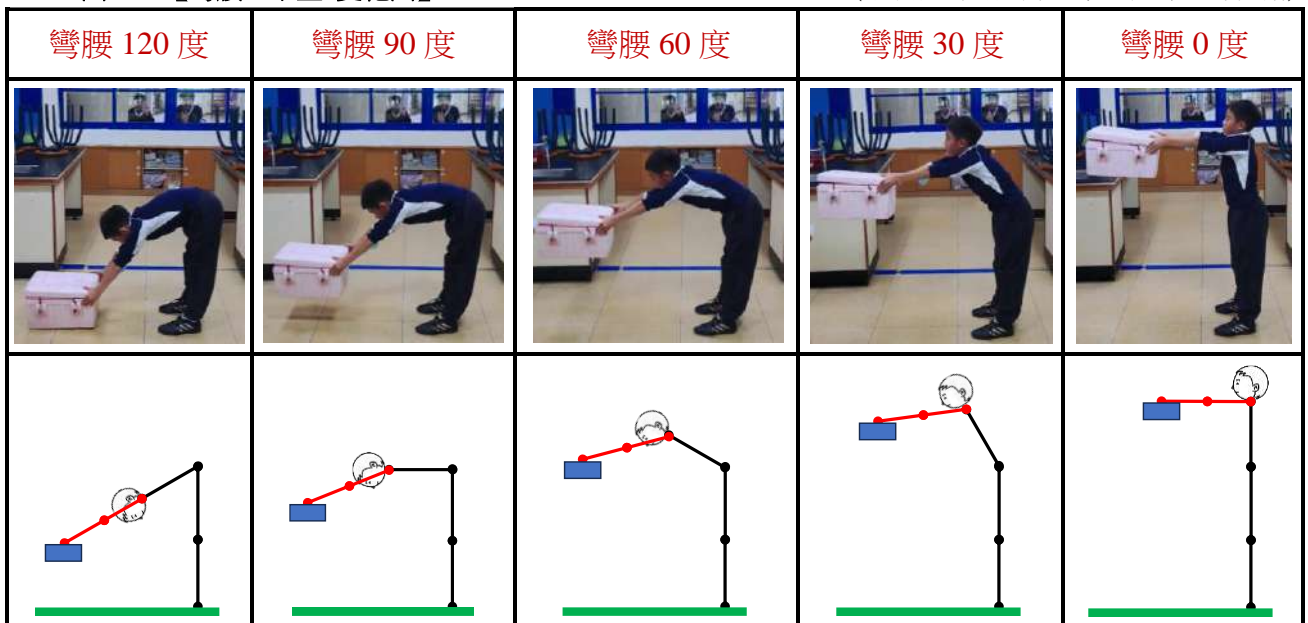


2. 不同彎腰角度的設定：

- (1). 我們先錄影同學腳站直、彎腰搬東西的畫面，取出彎腰 4 個角度當作測量點(因為彎腰 0 度不是背部肌肉的拉力，而是往下壓的力量，所以彎腰 0 度不測量)

圖 2-5 【彎腰→站直 變化圖】

(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)



(本圖由作者親自製作)

- (2). **手和身體的角度是隨著身體一直變化的**：一開始手和身體夾角 180 度、最後站直時手和身體夾角 90 度，我們**把手的角度變化平均分配**給中間 3 個彎腰情形。

【發現問題】

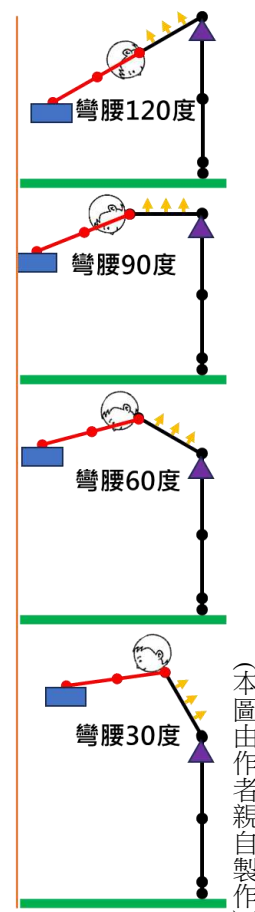
我們在進行重複測量取平均時，發現明明條件相同，為何有幾次測量結果差距很大，我們覺得很不合理。最後找到原因：**重物盒內部的重物沒有固定，會前後亂跑，對於槓桿來說，會影響抗力臂長短**，難怪測出來的數據有誤差！

改進方式：把重物盒改小一點，重物用膠帶固定並塞滿，讓它們不會移動！

(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)



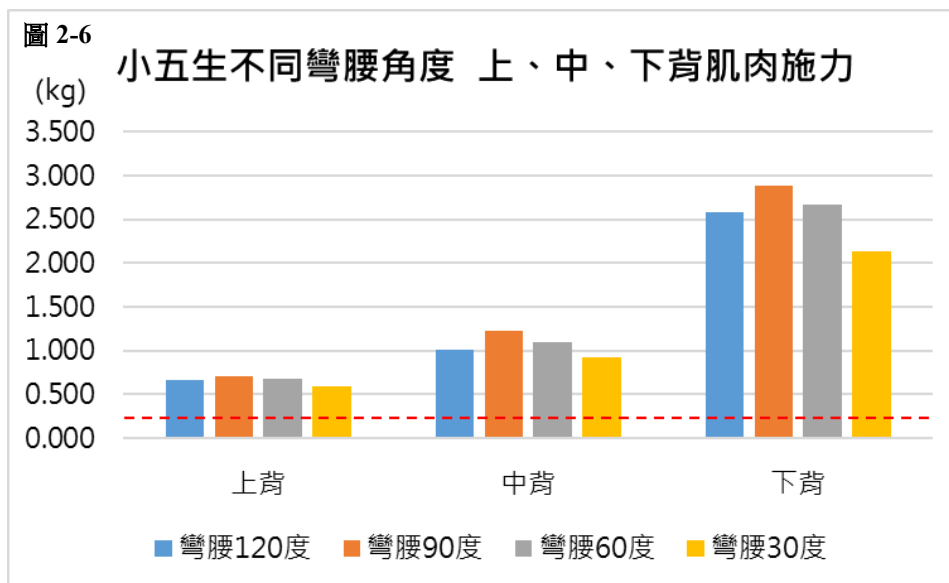
圖 2-7
小五生彎腰模擬圖



(本圖由作者親自製作)

3. 實驗結果 (重物 0.2 公斤, 距離人偶 22.6 公分) :

*** 因為實驗過程需要調整多處角度, 所以實驗方式為「不同彎腰角度輪流重複測三次」, 而不是「同一個彎腰角度直接測三次」***



4. 實驗討論 :

(本圖由作者親自製作)

- 右方圖 2-7「小五生彎腰模擬圖」中, 紫色三角形當作支點, 藍色物品是抗力點, 三個橘色箭頭分別是上、中、下背施力點。
- 小五生模型各背部最大施力和原重物的倍數比較: **下背為 14.5 倍**、中背為 6.2 倍、上背為 3.5 倍。
- 從圖 2-6、2-7 中可以發現, 背部肌肉施力: **【下背 > 中背 > 上背】**。因為**下背當施力點時, 施力臂最短**; 上背當施力點時, 施力臂最長。
- 詢問復健科醫生後表示, 他的**病人中搬重物受傷部位以腰部(下背)居多**, 與我們的實驗結果符合。
- 從圖 2-6 中可以發現上、中、下背部, 不同彎腰角度肌肉施力大小比較結果都相同: **【彎腰 90 度 > 彎腰 60 度 > 彎腰 120 度 > 彎腰 30 度】**。
- 因為從圖 2-7 中可以發現: **彎腰 90 度時抗力臂最長所以最費力**; 彎腰 60 度第二; 彎腰 120 度第三; **彎腰 30 度時抗力臂最短所以費力最小**。
- 但是以上各種情況背部的所有施力, 全部都大於原重物 0.2 公斤。

二、搬重物時「不同骨骼長度比例」對上背、中背、下背肌肉施力的影響

1. 實驗方法 :

- 測量老師的各部位骨骼長度, 製作縮小 40% 的木條人體模型。
- 用【拉繩施力法】測量彎腰 120 度、90 度、60 度、30 度的背部肌肉拉力。
- 從右圖 2-8 可以發現, 小五學生和老師的木條長度有明顯的差異, 老師的木條長度較長。



圖 2-8

(本照片由第 1 指導教師拍攝)

2. 實驗結果（重物 0.2 公斤，距離人偶 27.6 公分）：

（本項次所有圖由作者親自製作）

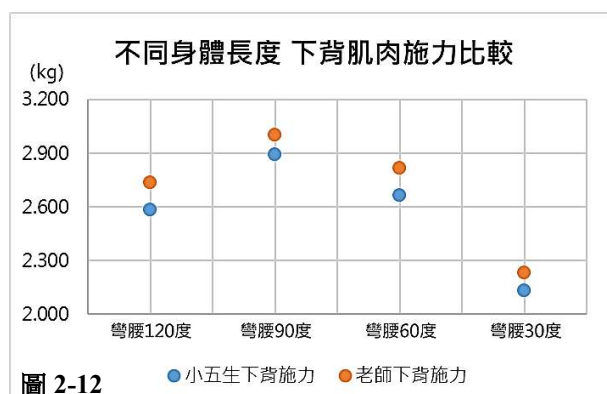
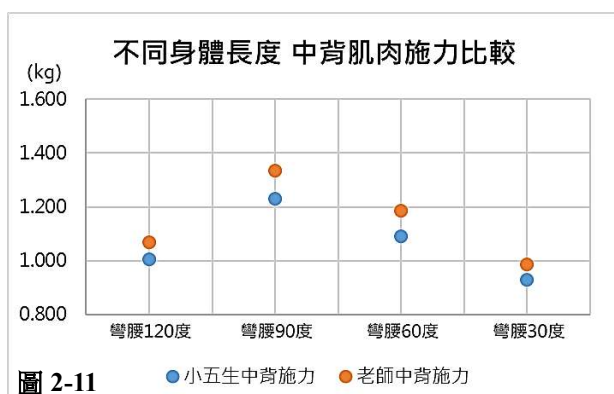
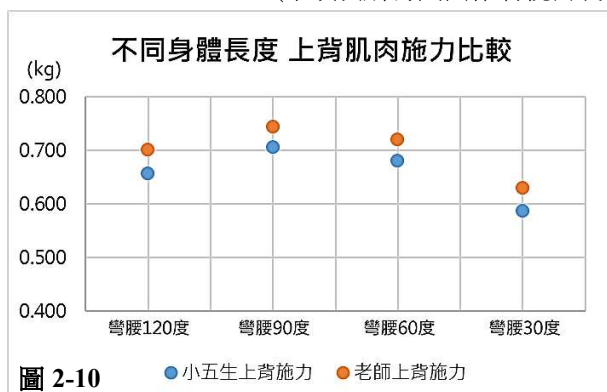
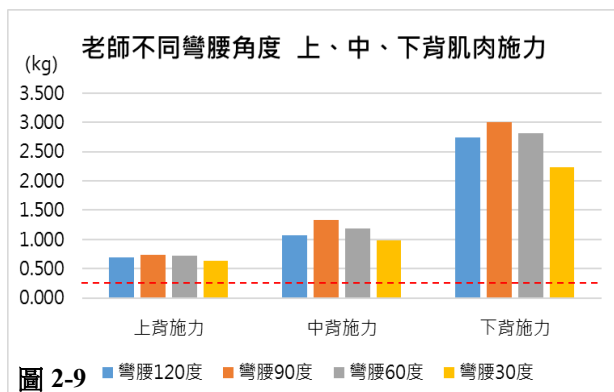


圖 2-13

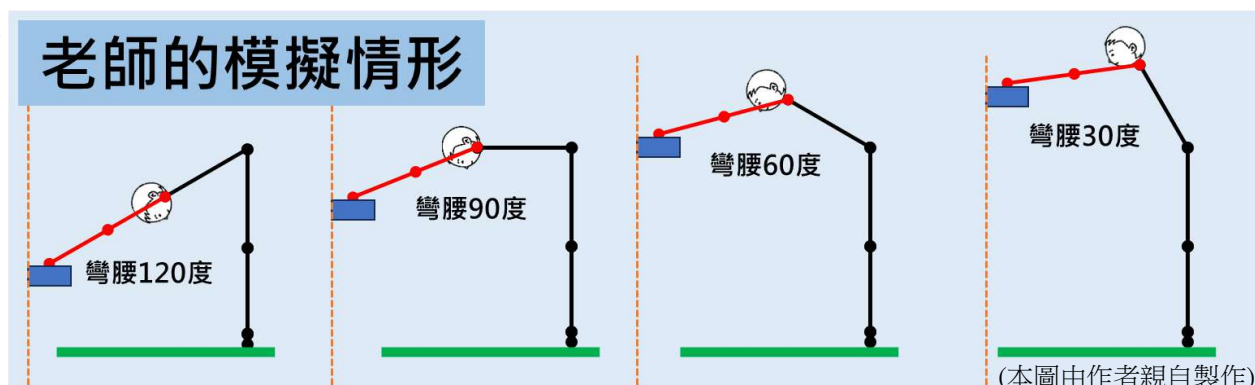
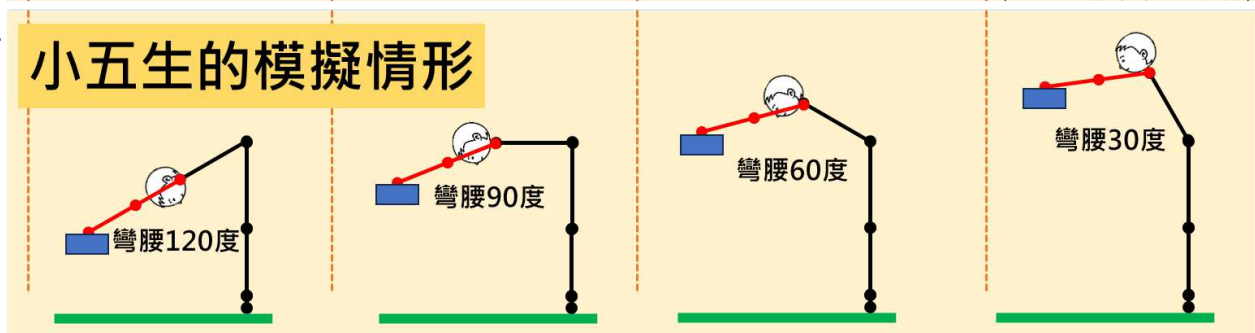


圖 2-14



3. 實驗討論：

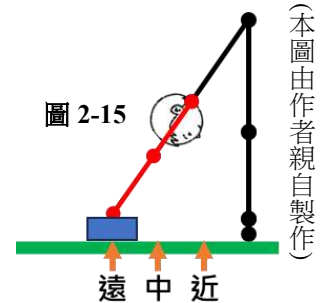
- 老師模型各背部最大施力和原重物的倍數比較：**下背為 15 倍**、中背為 6.7 倍、上背為 3.7 倍。
- 從圖 2-9 可以發現，背部肌肉施力：**【下背 > 中背 > 上背】**。因為**下背當施力點時，施力臂最短**；上背當施力點時，施力臂最長。

- (3). 上、中、下背部，不同彎腰角度肌肉施力大小比較結果都相同：【彎腰 90 度 > 彎腰 60 度 > 彎腰 120 度 > 彎腰 30 度】，因為**彎腰 90 度時抗力臂最長最費力**。
- (4). 從圖 2-10、2-11、2-12「不同身體長度 上、中、下背肌肉施力比較」可以發現，老師的每個數據都比小五生的還要大。
- (5). 從圖 2-13、2-14「老師和小五生的模擬情形」可以發現，因為**老師的身體長度較長**，所以**抗力臂都比較大**，所以 0.2 公斤**重物被槓桿原理放大的效果更大**。
- (6). 從圖 2-10、2-11、2-12 可以發現，**小五生和老師的**「不同彎腰角度肌肉施力大小」數據走向非常相似，**只是因為身長不同導致抗力臂長度不同而有倍率的不同**，所以之後的實驗都用小五生的模型進行實驗。

三、搬重物時「物體與人遠、中、近不同距離」對上背、中背、下背肌肉施力的影響

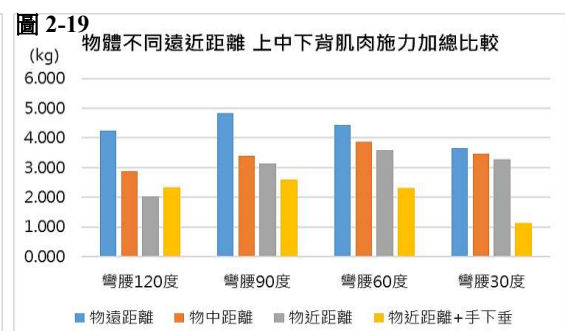
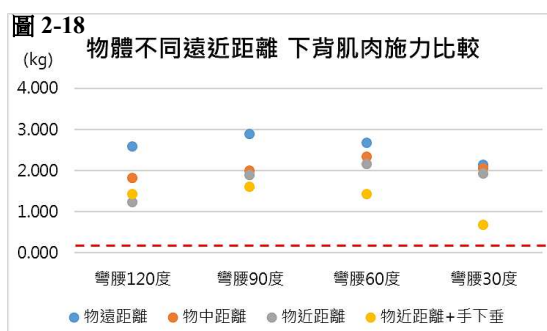
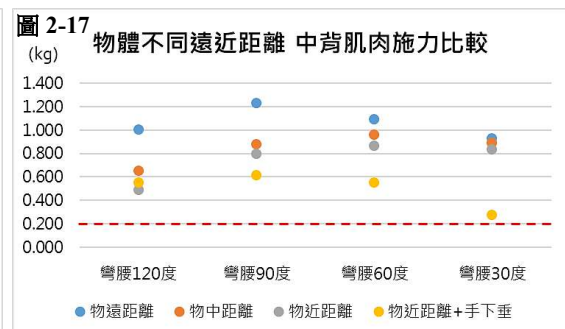
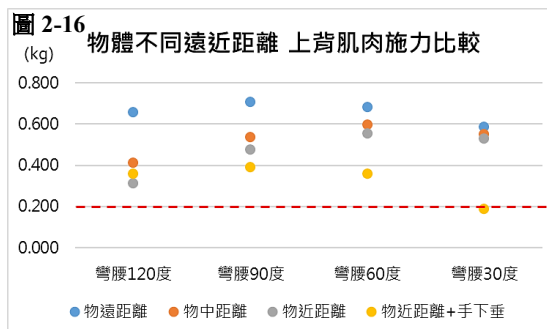
1. 實驗方法：

- (1). 如圖 2-15，以小五生模型手和背夾角 180 度時，彎腰可碰到地面的地方和腳中間的距離，當作「物體遠距離」。
- (2). 把第(1)點中「物體遠距離」平均三等份，分別當成「物體中距離」、「物體近距離」。
- (3). **手和身體的角度是隨著身體一直變化的**：先測量一開始手和身體夾角、最後站直時手和身體夾角 90 度，我們**把手的角度變化平均分配**給中間 3 個彎腰情形。
- (4). 另外我們也想到，如果**手不要保持往前伸，而是自然下垂**，推測會因為抗力臂減少而減輕背部施力，所以要**多做一項「物體近距離+全程手自然下垂」**。
- (5). 用【拉繩施力法】測量物體放置遠、中、近距離時，彎腰 120 度、90 度、60 度、30 度的背部肌肉拉力。



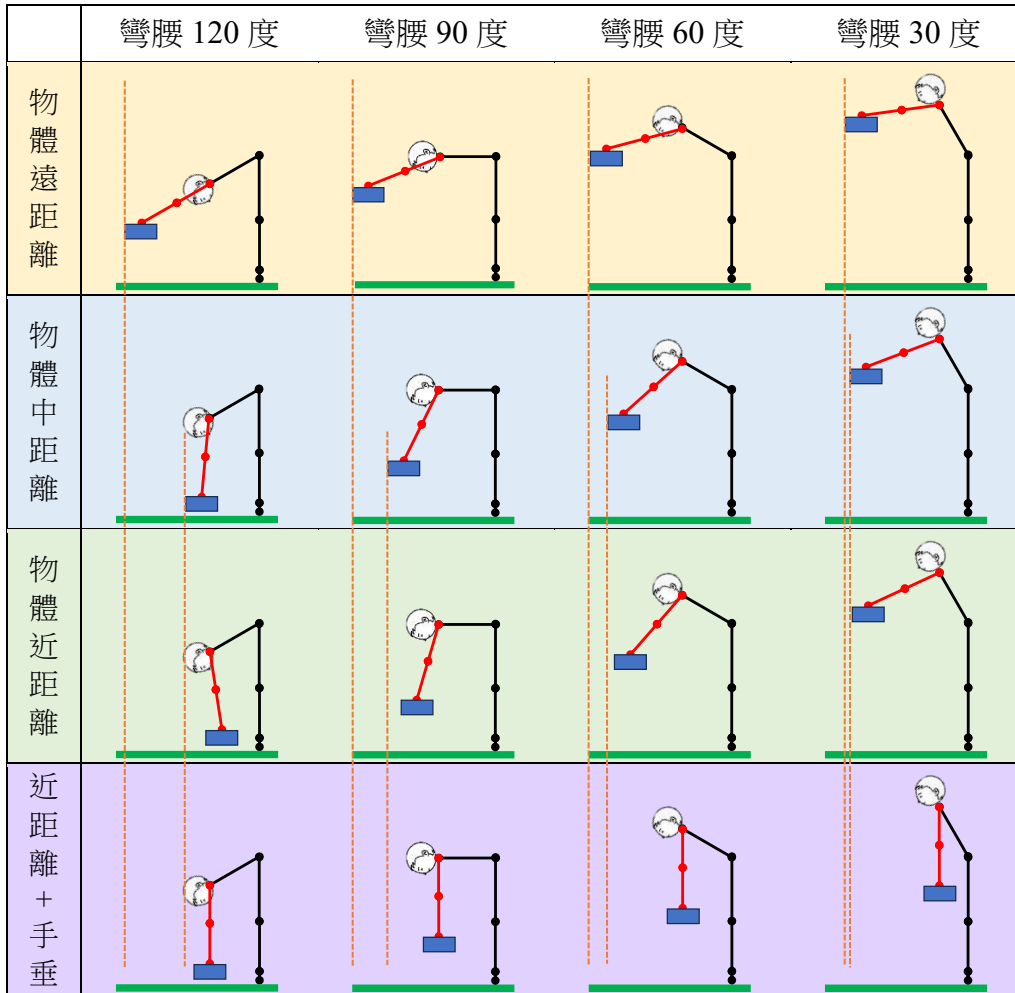
(本圖由作者親自製作)

2. 實驗結果 (重物 0.2 公斤，物遠距離 22.6 公分、物中距離 15.1 公分、物近距離 7.5 公分)：



(本項次所有圖由作者親自製作)

圖 2-20 【物體不同距離與不同彎腰角度模擬圖】

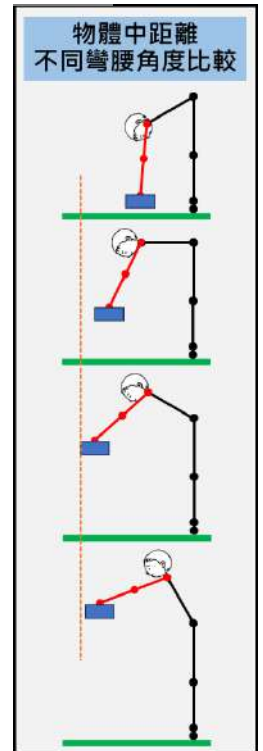


(本項次所有圖由作者親自製作)

3. 實驗討論：

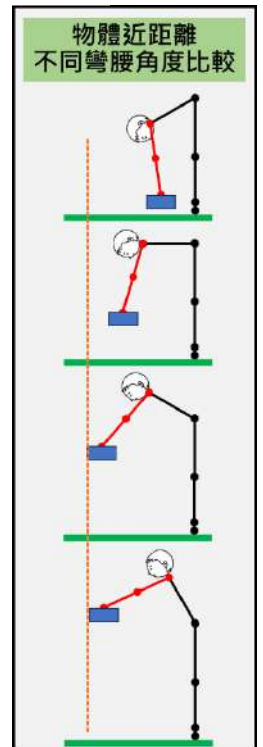
- 從圖 2-16、2-17、2-18 可以發現，在相同物體遠近與彎腰角度條件下，背部肌肉施力大小比較都是：**【下背 > 中背 > 上背】**。
- 不同物體遠近的情況下，各背部最大施力和原重物的倍數比較：
 - 物體遠距離：**下背為 14.5 倍**、中背為 6.2 倍、上背為 3.5 倍。
 - 物體中距離：**下背為 11.6 倍**、中背為 4.8 倍、上背為 3.0 倍。
 - 物體近距離：**下背為 10.8 倍**、中背為 4.3 倍、上背為 2.8 倍。
 - 物體近距離+手垂：**下背為 8.0 倍**、中背為 3.1 倍、上背為 2.0 倍。
- 不同彎腰角度的情況下，物體不同遠近背部施力大小比較
 - 彎腰 120 度時：**【遠距離 > 中距離 > 近距離+手垂 > 近距離】**
 - 彎腰 90 度時：**【遠距離 > 中距離 > 近距離 > 近距離+手垂】**
 - 彎腰 60 度時：**【遠距離 > 中距離 > 近距離 > 近距離+手垂】**
 - 彎腰 30 度時：**【遠距離 > 中距離 > 近距離 > 近距離+手垂】**
- 不同物體遠近距離的情況下，彎腰不同角度背部施力大小比較
 - 物體遠距離時：**【彎腰 90 度 > 彎腰 60 度 > 彎腰 120 度 > 彎腰 30 度】**
 - 物體中距離時：**【彎腰 60 度 > 彎腰 30 度 > 彎腰 90 度 > 彎腰 120 度】**
 - 物體近距離時：**【彎腰 60 度 > 彎腰 30 度 > 彎腰 90 度 > 彎腰 120 度】**

圖 2-21



(本圖由作者親自製作)

圖 2-22



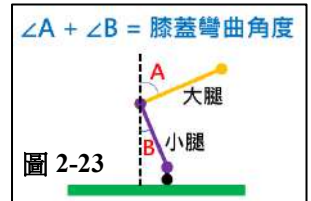
(本圖由作者親自製作)

- (5). 從圖 2-20 可以發現，拿取遠距離物品時，手臂需要伸長，導致抗力臂都比較大，所以 0.2 公斤重物被槓桿原理放大的效果更大。
- (6). 拿取近距離物品時手臂不用伸這麼長，而且如果全程手自然下垂，重物會比較靠近身體，導致抗力臂都比較小，所以 0.2 公斤重物被槓桿原理放大的效果較小。

四、搬不同遠近重物時，「膝蓋彎曲角度」對上背肌肉施力的影響

1. 實驗方法：

- (1). 從之前實驗發現，彎腰搬重物會因為槓桿原理放大背部肌肉對重物的施力。如果用蹲下(膝蓋彎曲)減少腰部彎腰角度，是否能減少背部肌肉對重物的施力。
- (2). 以小五生模型進行實驗，重物分別放置遠、近距離。
- (3). 如右圖 2-23，膝蓋彎曲角度的定義是：和原本站直時比較，大腿、小腿傾斜角度相加就是膝蓋彎曲角度。
- (4). 因為全蹲時膝蓋彎曲角度大約為 160 度，所以我們取 150 度為最大膝蓋彎曲角度，這樣物體才能被搬離地面。另外再取膝蓋彎曲 30 度、90 度進行測量比較。
- (5). 已經有 3 種變因進行比較，分別是「不同彎腰角度」、「不同重物位置」、「不同膝蓋彎曲角度」，所以我們這次實驗只用上背的位置進行實驗。
- (6). 因為從以前實驗可以發現，上、中、下背的實驗結果大小比較結果都相同，而且上、中、下背不同位置只是改變固定距離的施力臂長度，可以用上背的實驗結果推測中、下背的結果。



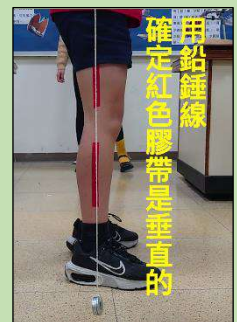
(本圖由作者親自製作)

【發現問題】蹲下時「大腿」和「小腿」的傾斜角度分配

從「蹲下搬重物」的影片中發現，膝蓋的夾角是由大腿和小腿組成，而且兩者傾斜的角度不是平均分配的！我們用以下步驟找到正確角度：

- ①在大、小腿上貼紅膠帶，用鉛錘線確定線是垂直的。
- ②擷取影片中的畫面放到 Power Point 軟體中，再用裡面「直線旋轉角度」的功能，看膝蓋彎曲時大腿、小腿分別傾斜幾度。
- ③模型就按照這樣的角進行膝蓋彎曲 30 度、90 度、150 度模擬。

以下是觀察結果：



(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

2. 實驗結果

圖 2-24 【物體遠距離時，膝蓋不同彎曲角度與不同彎腰角度模擬圖】

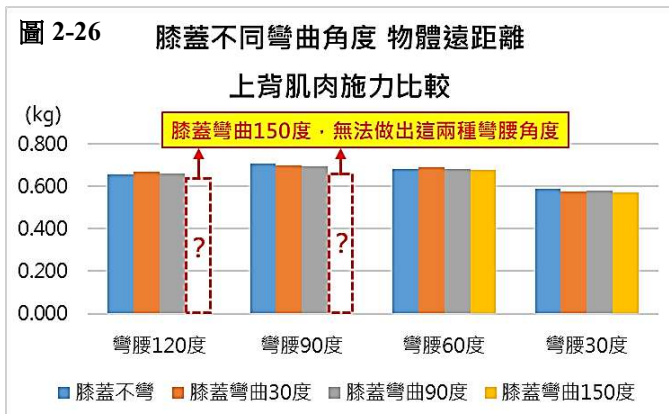
物體 遠距離	彎腰 120 度	彎腰 90 度	彎腰 60 度	彎腰 30 度
膝蓋 彎曲 30 度				
膝蓋 彎曲 90 度				
膝蓋 彎曲 150 度	X 不合理	X 不合理		

(本項次所有圖由作者親自製作)

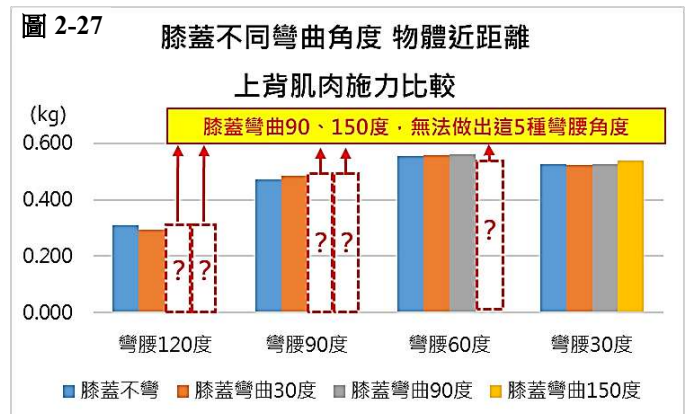
圖 2-25 【物體近距離時，膝蓋不同彎曲角度與不同彎腰角度模擬圖】

物體 近距離	彎腰 120 度	彎腰 90 度	彎腰 60 度	彎腰 30 度
膝蓋 彎曲 30 度				
膝蓋 彎曲 90 度	X 不合理	X 不合理		
膝蓋 彎曲 150 度	X 不合理	X 不合理	X 不合理	

(本項次所有圖由作者親自製作)



(本圖由作者親自製作)



(本圖由作者親自製作)

3. 實驗討論：

- 從圖 2-24 得知物體在遠距離膝蓋彎曲 150 度時，無法做出彎腰 120、90 度的動作。
- 從圖 2-25 得知物體在近距離膝蓋彎曲 90 度時，無法做出彎腰 120、90 度的動作；物體在近距離膝蓋彎曲 150 度時，無法做出彎腰 120、90、60 度的動作。

- (3). 從圖 2-26 可以發現，物體在遠距離、同一種彎腰角度下，「膝蓋不同彎曲角度」不會造成上背肌肉施力明顯的差距，最多只會造成 2.8% 的差距。
- (4). 從圖 2-27 可以發現，物體在近距離、同一種彎腰角度下，「膝蓋不同彎曲角度」不會造成上背肌肉施力明顯的差距，最多只會造成 4.8% 的差距。
- (5). 從圖 2-24、2-25 可以發現，如果把彎腰點當作支點，「改變膝蓋彎曲角度」並不會改變搬重物時抗力臂的距離。
- (6). 當膝蓋彎曲時，因為上半身會靠近地面，所以無法做出部分大角度彎腰的動作。
- (7). 所以實驗證明蹲下來搬重物可以保護背部肌肉的原因是：利用蹲下靠近重物，減少彎腰的情形，減少背部肌肉對重物的施力。

五、總結各項實驗結果，減少搬重物造成背部肌肉受傷的原則

1. 蹲下來拿重物：讓上半身離重物越近越好，減少彎腰角度，減少背部肌肉的施力，否則最多會讓上背承受 2.8 倍重物的重量。
2. 離重物越近越好：如果膝蓋不好不能蹲，至少要離重物近一點，減少手臂伸長，重物重量才不會被槓桿原理放大太多。否則最多會讓上背承受 3.5 倍、中背承受 6.2 倍、下背承受 14.5 倍重物的重量。
3. 手自然下垂：手往前平舉會導致重物離身體(支點)較遠，抗力臂變大，重物重量會被槓桿原理放大，大人手更長會更嚴重，所以手自然下垂搬重物，重物離身體越近越好。否則最多會讓上背承受 3.7 倍、中背承受 6.7 倍、下背承受 15 倍重物的重量。
4. 下背(腰)施力 > 上背：搬重物時下背肌肉(腰)最靠近彎腰點(支點)，施力臂較短，所以下背施力是上背施力的 4.1 倍，較容易受傷。偏偏大家搬東西都習慣直接彎腰而忘記蹲下！
5. 所以為了讓大家輕鬆、不受傷的搬運重物，我們想利用槓桿原理改造手推車，讓它可以：直接拿起重物→移動到正確位置→推車能直接抬起重物放到定位！

【研究三】第一代雙槓桿可抬升重物省力手推車的設計

一、設計想法：第二類省力槓桿 + 第一類省力槓桿

一般的雙輪手推車是第二類省力槓桿，但是它沒有抬升重物的裝置，所以我們想在上面裝設一個第一類省力槓桿（施力臂 > 抗力臂），這樣就可以把重物抬高

二、實驗方法：

1. 把網站上某款雙輪手推車的尺寸縮小 40%，製作出我們的推車模型，長：43.8 公分、寬：13 公分。再用五金行賣的滑輪當作推車模型的輪子。
2. 把學校窗台當作重物放置的目的地，所以把它原本的高度 86 公分縮小 40% 後，我們實驗模擬窗台高度為 34.4 公分。

(本圖由作者親自製作)



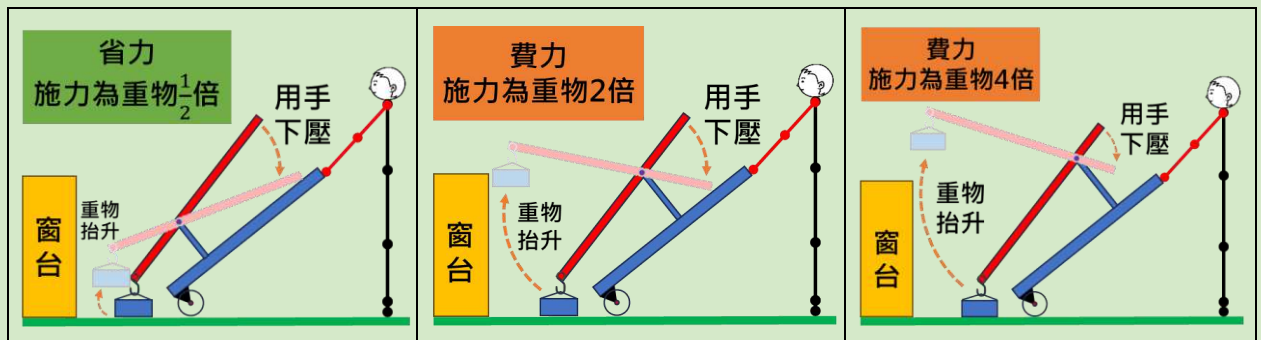
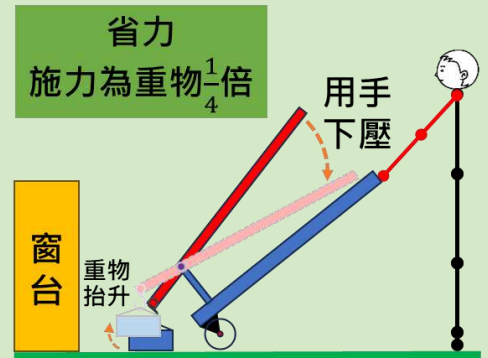
3. 最後用【穩定施力測量器】測量【雙槓桿可抬升重物省力手推車】各項施力的數值。

三、製作前討論時【發現問題】：省力與抬升高度的取捨

窗台模型高：34.4 公分。推車模型長：43.8 公分。

人體模型高：48.4 公分（肩膀~腳底）。

1. 右圖的人、車、窗台是用正確的比例畫出來的。
2. 我們假設在推車上裝第一類槓桿，「施力臂：抗力臂 = 4：1」，所以省力。
3. 但是從模擬圖發現，因為**抗力臂較短，所以重物抬升距離很短**，根本不能抬到窗台上！



4. 從上面 3 個圖可以發現，抗力臂越長，重物抬升高度就越高。一直到「施力臂：抗力臂 = 1：4」，重物**才能抬到窗台的高度**，但是卻要花 4 倍重物的力量。
5. 這就是**簡單機械-槓桿的精神**，**省力就費時(短距離)；費力就省時(長距離)**。而我們的主要目標是要**省力讓人不要搬重物受傷**，所以必須要更改設計！

【研究四】第二代雙槓桿可抬升重物省力手推車的設計

一、設計想法：第二類省力槓桿 + 第三類省時槓桿

1. 手握住的**推車底部是省力的第二類槓桿**，必須保留。
2. 為了讓**抬升重物時的移動距離較長**，推車上方的第二種槓桿必須要選擇**省時(長距離)的第三類槓桿**。
3. 為了不讓使用者費力，決定加裝電動推桿幫忙推高裝置中的「第三類省時槓桿」，達到抬升重物的功能。
4. 電動推桿裝設的位置是否會影響使用者施力？所以要**進行實驗來決定「電動推桿」要裝在什麼位置**。



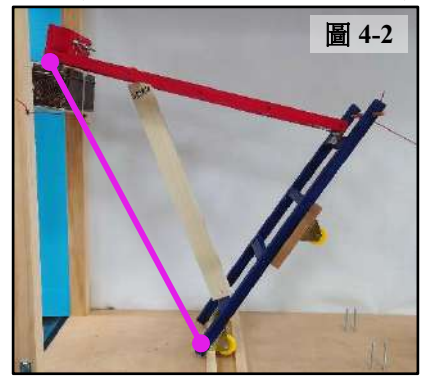
(本圖由作者親自製作)

二、重物抬升到不同高度時，使用者的施力情形：

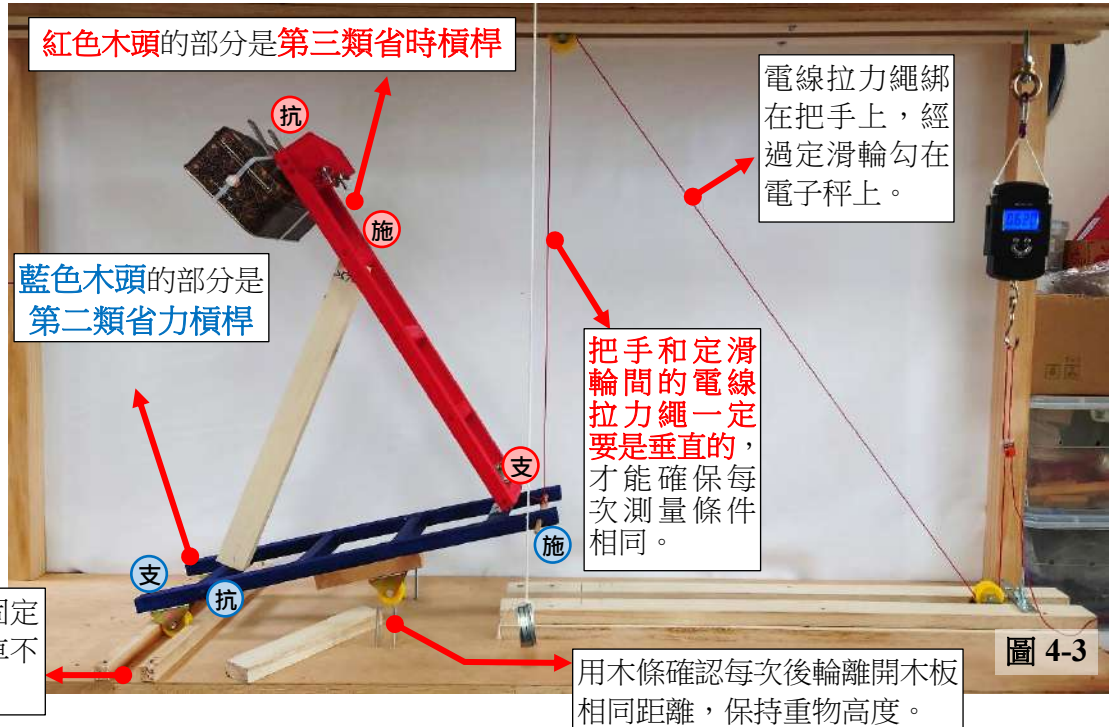
1. 實驗方法：
 - (1). 推車模型 = 原尺寸雙輪手推車 x 40%，長：43.8 公分、寬：13 公分。
 - (2). 重物重量 = 1 本課本 x 36 x 40% = 2.170 公斤。

(本照片由第1指導教師拍攝)

- (3). 用不同長度的木條撐起裝置中的「第三類省時槓桿」、抬高重物，最高撐到 47 公分（右圖 4-2 粉紅色線段的部分，讓重物底部可到「學校窗台高度 x 40%」的高度）。
- (4). 重物會被抬升 5 種不同高度，從最高點每次下降 1/5 的高度。使用【穩定施力測量器】測量將推車抬起時所需的重量。



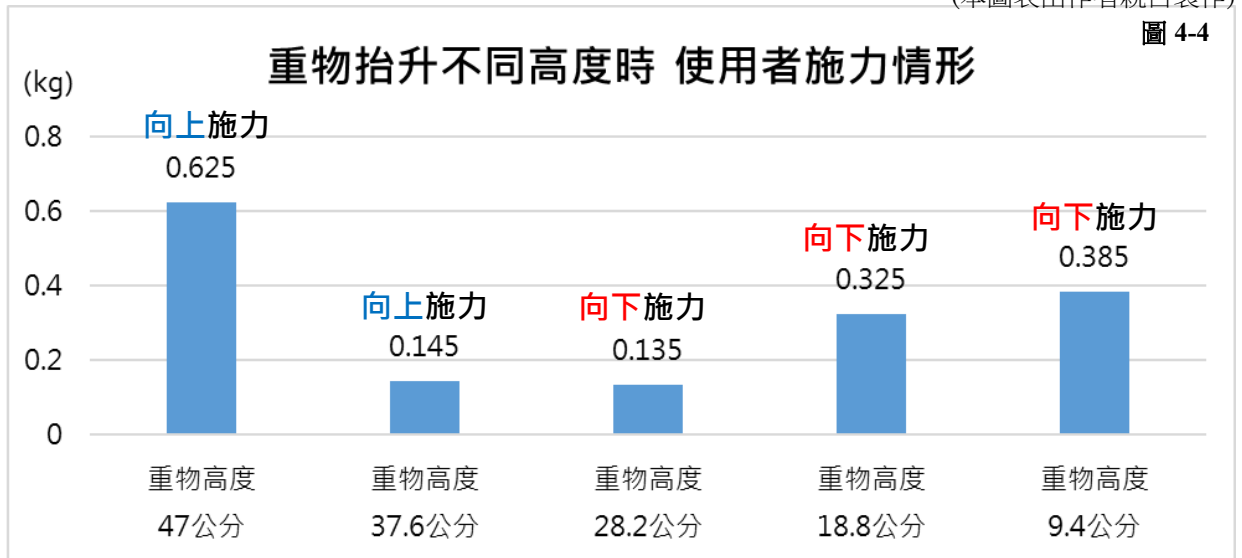
使用者施力情形
第二代雙槓桿可抬升重物手推車
使用【穩定施力測量器】測量



(本照片由第1指導教師拍攝)

2. 實驗結果：

(本圖表由作者親自製作)

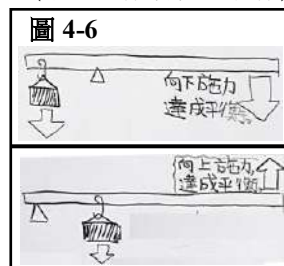


(本項次所有照片由第1指導教師拍攝)

(本圖由作者親自製作)

3. 實驗討論：

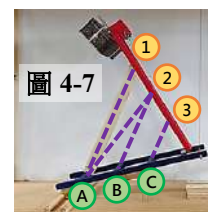
- (1). 從 P.21 圖 4-4 得知，施力大小與重物抬升高度沒有明顯的關係。
- (2). 從 P.21 圖 4-5 五種抬升高度的照片可以發現：**重物在前輪（支點，綠色三角形）右邊時，施力向上；重物在前輪（支點，綠色三角形）左邊時，施力向下**。這樣的情況符合槓桿原理(圖 4-6)。
- (3). 從 P.21 圖 4-5 得知，**重物(黃色虛線)和前輪(支點，綠色三角形)距離越遠，施力越大**。
- (4). 但是我們發現「重物最高」和「重物最低」兩者距離前輪（支點，綠色三角形）距離只相差 0.0018%，但是施力卻相差 38.4%。**我們推測向上施力時同時還要支撐整台車的重量；而向下施力時，車的重量反而可以幫助減輕施力**。
- (5). 從這個實驗我們大膽推測：**模型推車中紅色的第三類省時槓桿只是幫助抬升重物，真正決定使用者施力大小的是模型推車中藍色的第二類省力槓桿。重物離前輪（支點）越近越省力**。
- (6). 為了證明以上推測正確，我們決定**維持重物的高度，但是改變「第三類省時槓桿」的支撐位置**，看看是否會造成施力的改變。
 - A. **如果施力沒有改變，代表推測正確：決定施力的是重物離前輪（支點）的距離**。
 - B. 如果施力改變，代表：「第三類省時槓桿」不同支撐的位置，會改變兩個槓桿的抗力點與施力點（P.21 圖 4-3），影響推車中藍色第二類省力槓桿的運作。



三、抬升重物時，「第三類省時槓桿」不同的支撐位置，是否影響使用者施力情形

1. 實驗方法：

- (1). 重物一樣會被抬升 5 種不同高度，從最高點每次下降 1/5 的高度。
- (2). 重物同一種高度有 4 種支撐位置，分別是 A-1、B-2、C-3、A-2。使用【穩定施力測量器】測量將推車抬起時所需的重量。



(本照片由第 1 指導教師拍攝)

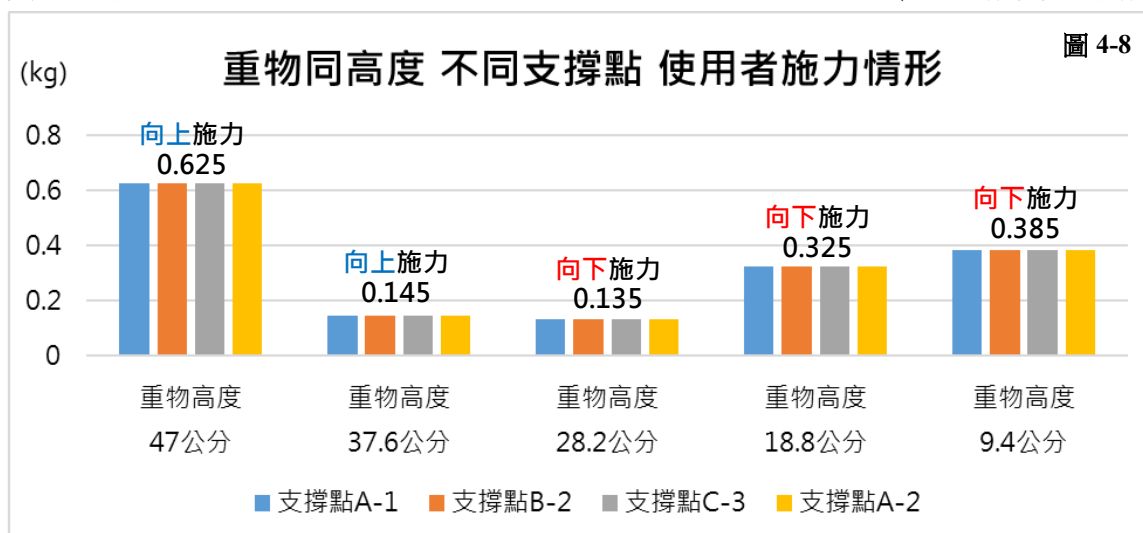
表 4-1	高 47 公分	高 37.6 公分	高 28.2 公分	高 18.8 公分	高 9.4 公分
支撐 A-1					
支撐 B-2					
支撐 C-3					
支撐 A-2					

【不同支撐位置與重物不同高度模擬情形】

(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

2. 實驗結果：

(本圖由作者親自製作)



3. 實驗討論：

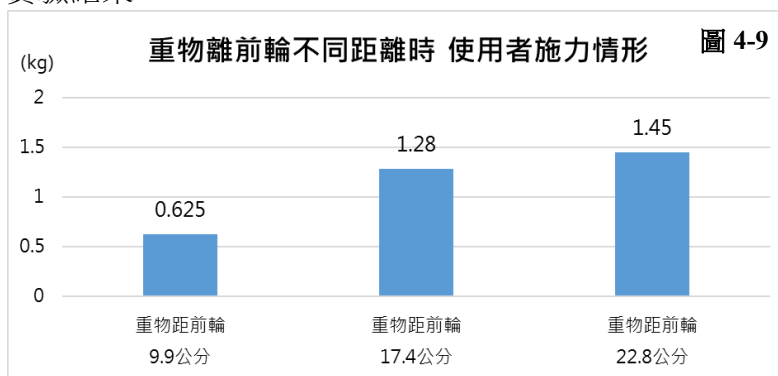
- (1). 從圖 4-8 得知，重物維持相同高度，就算改變不同支撐位置，使用者施力都相同。
- (2). 從表 4-1 和實驗結果可得知以下推論：決定施力的是重物離前輪（支點）的距離。
- (3). 為了更加確認我們的推論，我們想進行以下實驗：固定支撐點為 A-1，改變重物與前輪（支點）的距離，看看是否會改變使用者施力。

四、固定「第三類省時槓桿」支撐位置，改變重物與前輪（支點）的距離，是否影響使用者施力情形

1. 實驗方法：

- (1). 固定支撐點為 A-1，改變重物與前輪（支點）的距離。
- (2). 用【穩定施力測量器】測量將推車抬起時所需的重量。

2. 實驗結果：



(本圖由作者親自製作)

3. 實驗討論

- (1). 從圖 4-9 得知，重物離前輪（支點）越遠，使用者施力越大。
- (2). 從圖 4-10 可以觀察出重物是由下方「藍色第二類省力槓桿」在支撐。推論因為重物移動造成上方整體重心遠離前輪（支點），導致下方「藍色第二類省力槓桿」的抗力臂變長，所以施力增加。
- (3). 實驗結果符合我們的推論：決定施力的是重物離前輪（支點）的距離。

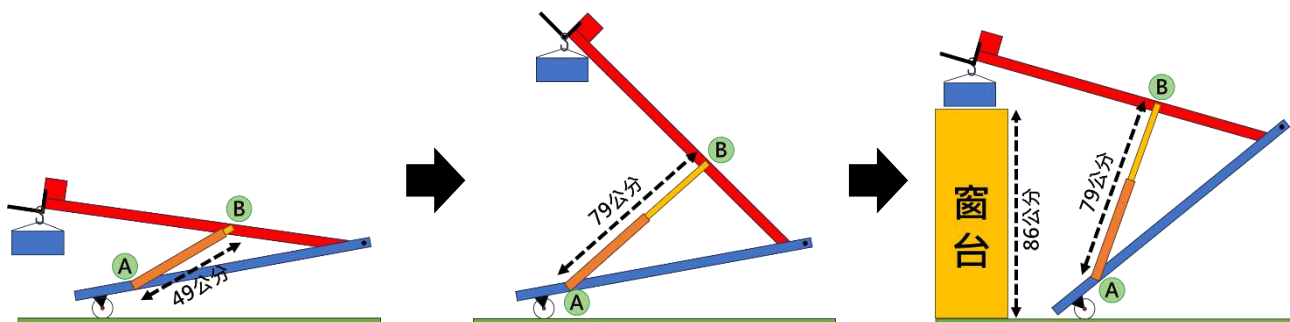
圖 4-10【固定支撐位置但改變重物與前輪的距離】



(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

五、總結實驗結果，決定電動推桿的裝設位置

1. 電動推桿裝設的位置不會影響使用者的施力。
2. 電動推桿裝設的位置 A、B 兩點決定的方式，要符合下面兩個條件：



(本圖由作者親自製作)

- (1). 當電動推桿伸到最長時，可以把重物底部抬高超過學校窗台 86 公分。
- (2). 因為 B 點裝設在「紅色第三類省時槓桿」上，是屬於費力的槓桿，代表重物的重量會被槓桿放大。所以要計算重物重量被放大後，電動推桿是不是可以承受。如果不行，B 點就要再往左側移動，遠離「紅色第三類省時槓桿」上的支點。

【研究五】實際打造【第二代雙槓桿可抬升重物省力手推車】與使用情形

一、打造原尺寸【第二代雙槓桿可抬升重物省力手推車】

(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

<p>用木條打造原尺寸推車。</p> <ul style="list-style-type: none"> ● 底部第二類槓桿框架： 長 x 寬=117 x 40 ● 上面第三類槓桿框架： 長 x 寬=127 x 33.5 	<p>要用直角尺確定直的和橫的木條保持垂直。而且鑽洞、鎖螺絲釘的時候，要用夾具固定木條，這樣框架比較不會歪掉。</p>	<p>分別在上、下框架的尾端，用電鑽鑽出直徑 20mm 的洞。</p>

<ul style="list-style-type: none"> ● 把不鏽鋼圓棍插進剛剛鑽的直徑 20mm 的洞，把上下兩個框架組合在一起。 ● 不鏽鋼圓棍就是框架升降的轉軸，也是推車的握把。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 在下框架前端裝上兩個輪子。 ● 輪子我們有特別挑「軸承滾珠構造」，才不會因為重物往下壓導致摩擦力變大無法前進。 ● 輪子材質是有彈性的厚橡膠，行進時比較安靜。 	<ul style="list-style-type: none"> ● 跟學校借用火災時緊急推開窗戶用的「電動推桿」。 ● 而且請工友叔叔教我們如何使用和接線，讓它用 1 個開關就可以控制伸長和縮短。

(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

【重要決定：電動推桿實際裝設位置】

(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

1. 判斷標準①：重物可被抬高距離要超過窗台高度 86 公分



1. 打開框架，讓**前端開口距離 130 公分**（窗台高+一網書高=86+18.1=104.1 公分）
2. 把電動推桿伸到最長，把碰到紅色木條的地方做記號。

3. 把電動推桿縮到最短，看看能不能順利碰到剛剛做記號的地方。
4. 結果可以，這就是要鎖螺絲的地方

2. 判斷標準②：計算重物重量被紅色第三類槓桿放大後，電動推桿是不是可以承受

- (1). 對「紅色第三類槓桿」來說，電動推桿鎖螺絲點是「施力點」；最前端掛重物的地方是「抗力點」。**施力臂 = 施力點↔不鏽鋼圓棍的距離 = 44 公分**
抗力臂 = 抗力點↔不鏽鋼圓棍的距離 = 127 公分

- (2). 我們使用兩支電動推桿，共有 160 公斤的推力。根據槓桿原理公式計算如下：
160 公斤 x 44 公分 = () 公斤 x 127 公分。計算結果：**() = 55.433 公斤**。
算出電動推桿可承受的重量為 55.433 公斤，遠大於一捆書 5.425 公斤的重量。
裝設位置可行！



兩支電動推桿先鎖在木條上，木條再鎖到紅色框架，才能讓**兩支電動推桿同步伸縮**。



把電線用專用連接器連接，再用電線壓條整理再木頭框架旁邊，**避免升降時壓到電線**。



把升降開關固定在不鏽鋼圓棍旁邊，握住把手推推車時，可以用大拇指控制升降。



在車底釘一個木框放電池。**木框要比電池高**，避免重物意外掉落時**壓壞電池**發生危險！



送來的書上面都有捆帶，所以我們在紅色框架前端**裝了直角鐵**，讓推車可以**插進捆帶**，把這捆書**抬起來**。



打造完成！接下來就讓學生及老師試用，請他們提出意見，進行改進。

(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

(本照片由第 1 指導教師拍攝)

二、實際使用情形與改進事項

1. 測試【雙槓桿可抬升重物省力手推車】的省力情形

- (1). 我們直接用【雙槓桿可抬升重物省力手推車】抬升重物，**利用桌子底部鈎拉住彈簧秤，測量使用者需要花多少力量，計算出省力的情形。**
- (2). 重物會被抬升 5 種不同高度，從最高點每次下降 1/5 的高度。
- (3). 沒有重物只有【雙槓桿可抬升重物省力手推車】時，需要 1.250 公斤握住推車。
- (4). 實驗結果：



(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

重物原重 11.54 公斤					
測量施力	向下 2.840	向下 4.005	向下 4.615	向下 4.645	向下 4.165
省力百分比	75.4%	65.3%	60.0%	59.7%	63.9%

- (5). 我們設計的【雙槓桿可抬升重物省力手推車】不僅可以**抬升重物最高 96 公分**，也可以**省力 59.7% ~ 75.4%**，達成我們的設計目的，成功！
- (6). 接下來就是請老師和同學實際使用，給我們優缺點建議。

2. 使用者實際使用時**發現問題**

(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

<p>【問題 1】</p>		
<p>一開始就有老師發現：箱子太低時，白色直角鐵角度太斜，插不進捆帶，無法抬起箱子！</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 所以我們把白色直角鐵用門軸鉸鍊跟紅色木框固定。 ● 如果箱子太低，我們就把推車把手往上抬，門軸鉸鍊就會打開。這樣白色直角鐵就可以平貼箱子，順利插進捆帶中！ 	
<p>【問題 2】</p>		
<p>但是想從窗台搬東西下來時，因為想要把白色直角鐵插進捆帶所以會稍微往下壓，結果卻讓它翹起來！</p>	<ul style="list-style-type: none"> ● 解決方法就是在白色直角鐵上裝一個拉繩，繩子連接到後方的單向卡樺(綁鞋帶用的鞋帶旋轉扣)。 ● 當你固定白色直角鐵，就把卡樺轉緊，繩子拉緊白色直角鐵就不容易打開角度。 ● 把卡樺往上拉開就能放鬆繩子，白色直角鐵就可以自由打開角度。 ● 這樣的裝置稱為【前叉固定、放鬆裝置】。 <div style="display: flex; justify-content: space-around;"> <div data-bbox="1252 1731 1497 1910"> <p>放鬆狀態</p> </div> <div data-bbox="1252 1921 1497 2101"> <p>拉緊狀態</p> </div> </div>	

(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

3. 拍攝【雙槓桿可抬升重物省力手推車】使用教學影片

因為使用上同時會有「**手臂下壓、上推**」和「**大拇指控制開關上升下降**」兩種動作，所以我們製作了使用教學影片，幫助使用者快速上手！

4. 使用者使用【雙槓桿可抬升重物省力手推車】後，優、缺點回饋

邀請 5 位同學、5 位老師，先觀看完教學影片後再實際試用。使用情境：重物 21.54 公斤，從地面抬升至高 86 公分的窗台。**【後來有第二次試用，抬升重量 53.98 公斤】**



(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

使用後回饋	
優點	缺點
<ul style="list-style-type: none"> ● 明顯感受省力效果 ● 體積小，方便收納 ● 腰不用出力，較不會受到傷害 ● 看過影片後感覺簡單好上手 ● 減少彎腰取物可能造成的傷害 ● 減少手部傷害 ● 一次可搬較重的物品達到省力效果 	<ul style="list-style-type: none"> ● 一次只能搬一個重物，搬運量有限 ● 重物要有綁帶子才能搬 → 已改善，有快速十字捆帶可使用！ ● 機器上升速度較慢 ● 新手還是需要多練習幾次才能熟練 ● 上升下降開關會讓手有點痛 ● 升降的開關要持續按壓，拇指費力 → 已改善，更換按壓式開關！



(本項次所有照片由第 1 指導教師拍攝)

三、製作成本與未來可能維修費用

1. 電動推桿：推力 80kg、伸長 30mm，保固 1 年，2 支共 2226 元。
2. 鋰電池：24V、3200mA，保固 1 年，910 元。
3. 木條：1 條 50 元，7 條共 350 元。五金配件：共約 300 元。
4. 詢問過廠商，若大量訂購材料可打九折。**總金額**：(2226 + 910 + 650) × 0.9 = **3407 元**，**低於市面上的電動升降推車(市售最低要 6048 元，而且只能垂直升降，還要人搬上車)！**
5. 根據 P.25 的計算，抬升重量不要超過 55.433 公斤，可以降低損壞的機會。若有壞掉的地方再進行維修或更換零件，費用推測會小於(或等於)上方成本。



四、研究總結亮點與未來改進方向

1. **20 位使用者均明顯感受【非常省力】**，達到不用彎腰、省力抬升、靈活移動的目標。
2. **國小二年級學生也能輕鬆使用**，**長者**更可以輕鬆搬重物，**腰部不再受傷**。
3. **成本只有市售產品的一半**，而且我們的推車可以直接插起重物，**突破市售產品缺點**。
4. 未來將電動推桿位置做成可調式，這樣【抬升高度】和【搬運重量】可自由選擇。

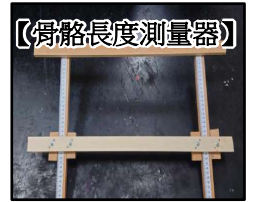
陸、研究結論

一、「模擬彎腰搬重物的方法」及「測量工具」的設計

1. 【骨骼長度測量器】：P.6

- (1). 根據過去評審建議：**簡易設計，測量受力大小、設定基本動作**。所以用木條當作骨骼、螺絲釘當作關節，來製作人體彎腰動作模型。

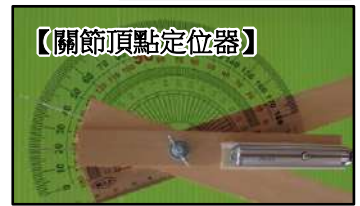
- (2). 原本用皮尺測量關節點的距離，發現肉的弧度會影響測量。所以後來**學游標尺的設計**，用兩端木條對準關節點，測量其間的距離。



(本照片由第一指導教師拍攝)

2. 【關節頂點定位器】：P.7

- (1). 公平的決定關節測量點：關節彎曲時，兩邊骨骼做延長線形成一個夾角，夾角中間的位置就是我們測量的端點。
 (2). 木條兩端緊貼要測量的部位後，判讀角度，再把雷射指標指向 1/2 角度的地方，用貼紙完成端點定位。



- (3). **我們有用實驗確認量角器、雷射指標指向正確，證明工具的準確性！**

3. 【測量彎腰搬重物時背部肌肉施力大小】的方法 P.8

- (1). 醫學上是測量肌肉電流訊號代表肌肉施力。
 (2). 而且很難模擬真的肌肉：創造交錯構造模擬肌肉收縮。
 (3). 決定用右圖**【拉繩施力法】**模擬背部肌肉施力：①用木條根據測量的數據做出人體模型 ②在人體模型背部的木條上釘圓鈎，**用繩子拉動模擬肌肉收縮施力** ③用電子吊秤秤出人體模型搬起重物時維持姿勢需要多少力。
 (4). 我們的主要目的是能夠比較出**【不同姿勢、不同條件下彎腰搬起東西的力量差異】**，雖然不是最真實的情況，但是**能讓我們公平地收集數據、進行比較。**



(本照片由第一指導教師拍攝)

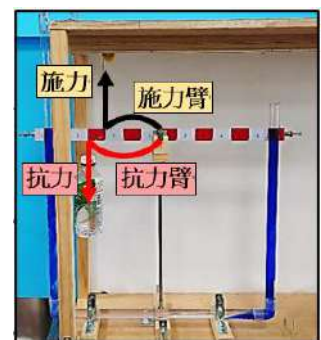
4. 【穩定施力測量器】P.9

- (1). 設計目的：①配合**【拉繩施力法】** ②用手拿彈簧秤會晃來晃去不易判斷刻度。
 (2). 設計滑軌裝置，方便滑輪、電子吊秤移動位置。
 (3). 發現問題：棉繩會因為有彈性而被拉長，產生誤差。



(本照片由第一指導教師拍攝)

- 用**電線當拉力繩，較無彈性，不會被拉長**，實驗才準確。
 (4). **驗證【穩定施力測量器】的準確度**：用「槓桿實驗器」進行測試，如果**【穩定施力測量器】**測量出來的力和用槓桿原理（ $\text{抗力} \times \text{抗力臂} = \text{施力} \times \text{施力臂}$ ）算出來的數字相同，就代表我們製作的測量器是準確的。
 (5). 測試結果：**誤差百分比在 0.417% ~ 2.500% 之間**，但是**每格抗力臂做 5 次實驗，5 次數據都相同**，代表可信度很高。推測原因是滑輪的摩擦力。
 (6). 施力繩和槓桿角度不同，就算抗力、抗力臂相同，測到的力也會不同，因為有分力。
 (7). 所以**測量「繩子拉動模擬肌肉收縮施力」時，繩子和背部木條的角度維持 90 度。**



(本照片由第一指導教師拍攝)

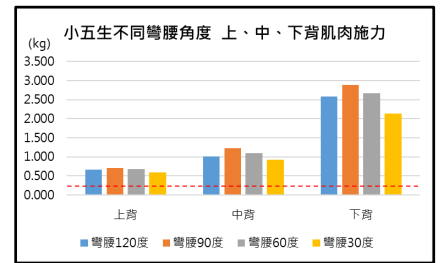
二、搬重物時模擬不同條件對背部肌肉施力的影響 P.11~P.19

1. 分析同學彎腰搬東西的畫面，取出彎腰 4 個角度(30、60、90、120)當作測量點。
 2. 手和身體的角度是隨著身體一直變化的：一開始手和身體夾角 180 度、最後站直時手和身體夾角 90 度，我們把手的角度變化平均分配給中間 3 個彎腰情形。

3. 不同彎腰角度對上背、中背、下背肌肉施力的影響 P.12

(1). 各背部最大施力和原重物的倍數比較：**下背為 14.5 倍**、中背為 6.2 倍、上背為 3.5 倍。因為**下背當施力點時，施力臂最短**；上背當施力點時，施力臂最長。

(2). 上、中、下背部，不同彎腰角度肌肉施力大小比較結果都相同：**【彎腰 90 度>彎腰 60 度>彎腰 120 度>彎腰 30 度】**。因為**彎腰 90 度時抗力臂最長所以最費力**。



4. 不同骨骼長度比例對上背、中背、下背肌肉施力的影響 P.13

(1). 老師模型各背部肌肉施力：**【下背 > 中背 > 上背】**。

(2). 老師模型各背部肌肉施力**彎腰 90 度時抗力臂最長最費力**。

(3). 老師的**身體長度較長**，所以抗力臂都比較大，所以 0.2 公斤重物被槓桿原理放大的效果更大。

(4). 小五生和老師的「不同彎腰角度肌肉施力大小」**數據走向非常相似，因為身長不同導致抗力臂長度不同而有倍率的不同**。



5. 物體與人不同距離對上、中、下背肌肉施力的影響 P.15

(1). 不論物體遠中近，各背部肌肉施力：**【下背>中背>上背】**。

(2). 物體**遠距離彎腰 90 度時抗力臂最長最費力**；物體中、近距離**彎腰 60 度時抗力臂最長最費力**。

(3). 拿取**遠距離物品**時，**手臂需要伸長**，導致**抗力臂都比較大**，所以 0.2 公斤重物被槓桿原理放大的效果更大。

(4). 如果全程手自然下垂，重物會比較靠近身體，**抗力臂較小**。

6. 膝蓋彎曲角度對上背肌肉施力的影響 P.17

(1). 膝蓋彎曲定義：大腿、小腿傾斜角度相加就是膝蓋彎曲角度。

(2). 影片中發現，**膝蓋的夾角是由大腿和小腿組成，而且兩者傾斜的角度不是平均分配的！**

(3). 膝蓋彎曲 90 度以上，無法作出彎腰 60~120 度的動作。

(4). 在同一種彎腰角度下，**膝蓋不同彎曲角度不會造成上背肌肉施力明顯的差距**，最多只有 2.8%~4.8% 的差距。**改變膝蓋彎曲角度並不會改變搬重物時抗力臂的距離**。

(5). 實驗證明：**蹲下能讓減少彎腰角度，抗力臂就不會那麼長，就可以減少背部對重物施力的情形**。



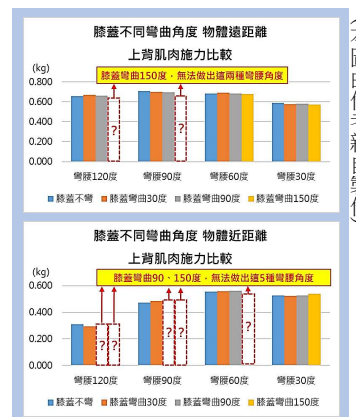
7. 總結各項實驗結果，減少搬重物造成背部肌肉受傷的原則 P.19

(1). **蹲下來拿重物**：否則最多會讓上背承受 **2.8 倍** 重物的重量。

(2). **離重物越近越好**：否則最多會讓下背承受 **14.5 倍** 重物的重量。

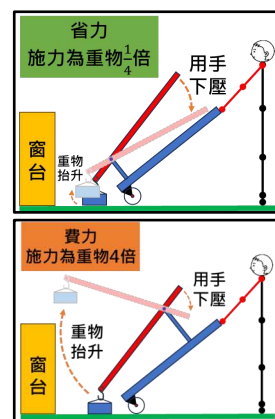
(3). **手自然下垂**：手離身體越近越好，否則最多會讓下背承受 **15 倍** 重物的重量。

(4). **下背(腰)施力 > 上背**：下背施力是上背施力的 **4.1 倍**，千萬不要彎腰而忘記蹲下！



三、第一代雙槓桿可抬升重物省力手推車的設計-失敗！ P.19

1. 設計想法：第二類省力槓桿 + 第一類省力槓桿(施力臂>抗力臂)。
2. 從等比例縮小模擬圖發現，因為抗力臂較短，所以重物抬升距離很短，不能抬到窗台上！直到「施力臂：抗力臂 = 1：4」，重物才能抬到窗台的高度，但是卻要花 4 倍重物的力量。必須更改設計！



四、第二代雙槓桿可抬升重物省力手推車的設計-成功！ P.20

1. 手握住的**推車底部是省力的第二槓桿，必須保留**。為了讓抬升重物時的移動距離較長，推車上方的**第二種槓桿必須要選擇省時(長距離)的第三類槓桿**。
2. 為了省力，決定加裝電動推桿幫忙推高「第三類省時槓桿」。**進行實驗來決定裝設位置**。

3. 重物抬升到不同高度時，使用者的施力情形 P.20

- (1). 施力大小與重物抬升高度沒有明顯的關係。
- (2). 重物在前輪右邊時，施力向上；重物在前輪左邊時，施力向下。情況符合槓桿原理。
- (3). 從數據中發現**重物和前輪距離越遠施力越大**。
- (4). 推測：推車中紅色的第三類省時槓桿只是幫助抬升重物，真正決定使用者施力大小的是推車中藍色的第二類省力槓桿。**重物離前輪(支點)越近越省力**。



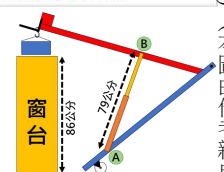
4. 抬升重物時「第三類省時槓桿」不同的支撐位置，是否會影響使用者的施力情形 P.22

重物維持相同高度，就算**改變不同支撐位置，使用者施力都相同**。實驗結果符合我們的推論：**決定施力的是重物離前輪(支點)的距離**。



5. 總結實驗結果，決定電動推桿裝設位置 A-B 的條件 P.23

- (1). 電動推桿**伸到最長時**，可以把重物底部**抬高超過 86 公分(學校窗台)**。
- (2). 計算重物重量被「紅色第三類省時槓桿」放大後，**電動推桿可以承受**。



五、打造【第二代雙槓桿可抬升重物省力手推車】與使用情形 P.24

1. 電動推桿可承受的重物重量為 55.433 公斤，遠大於一捆書 5.425 公斤的重量。
2. 我們設計的【雙槓桿可抬升重物省力手推車】最高可**抬升重物最高 96 公分**，隨著不同高度，可以**省力 59.7% ~ 75.4%**，**最大可抬 55.4 公斤**，**達成設計目的，成功！**
3. **試用後改善問題**：改造推車前叉，加裝【前叉固定、放鬆裝置】，讓它容易又進捆帶。
4. **試用後改善問題**：「推桿式開關」改成「按鈕式開關」，新增【重物十字快速捆帶】。
5. **成本**：3407 元，**低於市面上的電動升降推車(市面上的需要人搬上、下車，我們的不用)！**
6. 未來改進方向：將電動推桿位置做成可調式，【抬升高度】和【搬運重量】可自由選擇。

柒、參考資料

- 一、Classes of Levers。BodyBasics：Washington Ergonomics 1994。https://waergo.com/JES/BodyBasics.htm#Lev
- 二、肌肉收縮機制-香港體育教學網。http://www.hkpe.net/hkdsepe/human_body/muscular_contractions_mechanism.htm
- 三、豎脊肌介紹-安健維康物理治療所。https://www.ajwkptc.com/news/details.php?id=15194&group_id=4646
- 四、硬舉可以彎腰嗎-張嘉哲骨科醫師。
- 五、槓桿原理。均一教育平台。https://www.juniacademy.org/junyi-science/science-juni/middle-school-physics-chemistry/s4zzl-/IYvmhe13zf8

【評語】 082818

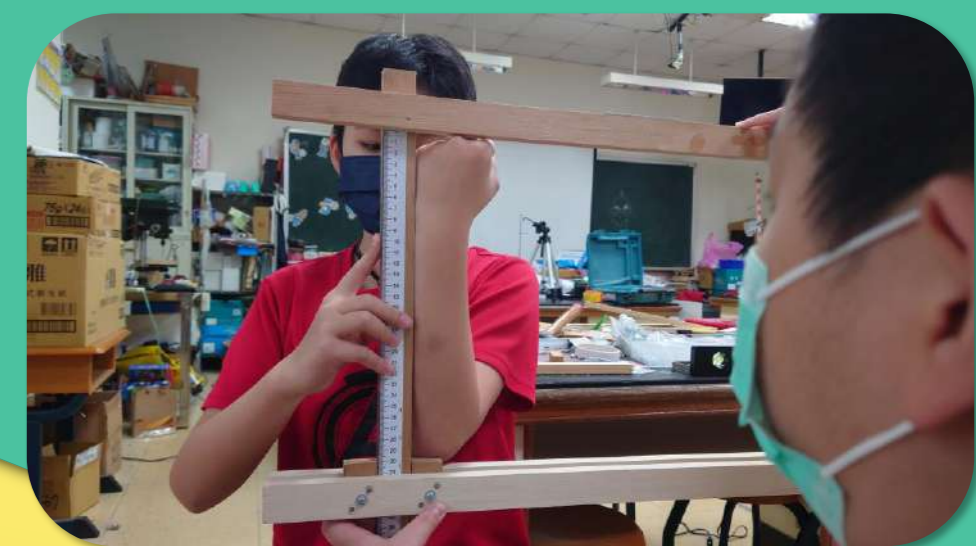
在這份作品中，學生們研究雙槓桿結構推車，主要優點包括：

1. 研究動機源於生活中的實際需求，具有實用價值。
2. 實驗設計系統性強，從模擬人體搬運重物到設計改良手推車，步驟清晰合理。
3. 自製多種測量工具，並通過實驗驗證其準確性，展現了良好的科學態度。
4. 利用槓桿原理進行詳細的力學分析，數據處理和圖表呈現清晰。
5. 根據實驗結果不斷改良設計，最終成功打造出實用的雙槓桿手推車。
6. 考慮到成本和使用者體驗，進行了實際測試並根據反饋進行改進。
7. 提出了未來改進方向，顯示出持續創新的精神。

總而言之，研究中探討重物被人體槓桿放大的情形、宣導正確搬重物姿勢，運用機構原理，是難得的發明或創作品項。

對本作品建議，可加強在市面上或過去的文獻中相關作品的分析比較，包括如是否已有他人申請專利?或相關作品發表等問題。

作品簡報



不彎腰，來「抬槓」 - 雙槓桿可抬升重物省力手推車的研究

摘要

本研究除了研發雙槓桿可抬升重物省力手推車，也探討不同情況搬重物時背部的施力，希望用真實數據提醒大家正確姿勢的重要性！

為了模擬真實情況，我們自製關節頂點定位器、骨骼長度測量器、穩定施力測量器；設計測量標準流程、搬重物時不同情況，將真實尺寸縮小成40%的模型進行實驗。

研究發現，不同情況重物重量被身體槓桿放大的比例如下：站著彎腰→ 2.8倍、重物離自己較遠→14.5倍、手往前伸直→ 15倍、下背(腰)施力是上背的4.1倍。

我們在第二類槓桿的手推車上加裝了電動型第三類槓桿抬升重物，並且製作窗台、推車40%縮小模型進行詳細實驗，找出最佳組裝結構。結果最高可抬升重物96公分、省力75.4%，而且兼具移動功能，成功達成不彎腰省力搬運重物的目標！

壹、研究動機

開學時我們發現，老師都忙著搬書發書。雖然有推車幫忙搬運，但還是要彎腰把堆車上的很重的書搬到窗台上，結果老師有時會跟我們說腰扭到了！查詢資料發現彎腰搬重物對腰部肌肉傷害很大，但是卻沒有明確的數據說明。所以我們想用縮小模型與力學原理實驗【彎腰搬重物時背部、腰部的肌肉施力大小】，用實驗數據告訴大家【重物會被人體槓桿放大多少倍】。

另外如果在原本兩輪手推車槓桿的結構上，增加一組可以抬升重物的槓桿，設計出雙槓桿的結構，就可以幫助人們不用彎腰輕輕抬起重物放到高處，還能兼具移動的功能，讓大家的腰減少受傷的可能。

★與課程相關單元：【力與運動】、【簡單機械-槓桿、滑輪】、【奇妙的電路】

貳、研究目的

- 【研究一】設計模擬彎腰搬重物的方法及測量工具
- 制定測量人體骨骼長度的標準流程及設計測量工具：關節頂點定位器、骨骼長度測量器
 - 制定【測量彎腰搬重物時背部肌肉施力大小】的方法
 - 設計【穩定施力測量器】
- 【研究二】搬重物時模擬不同條件對背部肌肉施力的影響
- 搬重物時「不同彎腰角度」對上背、中背、下背肌肉施力的影響
 - 搬重物時「不同骨骼長度比例」對上背、中背、下背肌肉施力的影響
 - 搬重物時「物體與人不同距離」對上背、中背、下背肌肉施力的影響
 - 搬不同遠近重物時，「膝蓋彎曲角度」對上背肌肉施力的影響
 - 總結各項實驗結果，減少搬重物造成背部肌肉受傷的原則
- 【研究三】第一代雙槓桿可抬升重物省力手推車的設計：第二類省力槓桿+第一類省力槓桿
- 【研究四】第二代雙槓桿可抬升重物省力手推車的設計：第二類省力槓桿+第三類省時槓桿
- 設計想法：第二類槓桿 + 第三類槓桿
 - 重物抬升到不同高度時，使用者的施力情形
 - 抬升重物時，「第三類省時槓桿」不同的支撐位置，是否影響使用者施力情形
 - 固定「第三類槓桿」支撐位置，改變重物與前輪的距離，是否影響使用者施力情形
 - 總結實驗結果，決定電動推桿的裝設位置
- 【研究五】實際打造【第二代雙槓桿可抬升重物省力手推車】與使用情形

參、研究設備及器材

製作工具	電鑽、螺絲起子、線鋸機、熱熔槍、直角尺
骨骼長度測量器	木條、螺絲釘、蝶形螺帽、尺規、水平儀
穩定施力測量器	木板、木條、螺絲釘、蝶形螺帽、滾輪電線(當作拉繩)、接線器
人體骨架縮小模型	木條、螺絲釘、蝶形螺帽、塑膠盒、1元(模擬搬運重物)、水平儀
雙槓桿可抬升重物省力手推車	木條、螺絲釘、蝶形螺帽、金屬棍、輪子、雙向開關、電動推桿、24V鋰電池、直角鐵(前叉)、門軸絞鍊、單向卡桿

肆、研究過程與方法

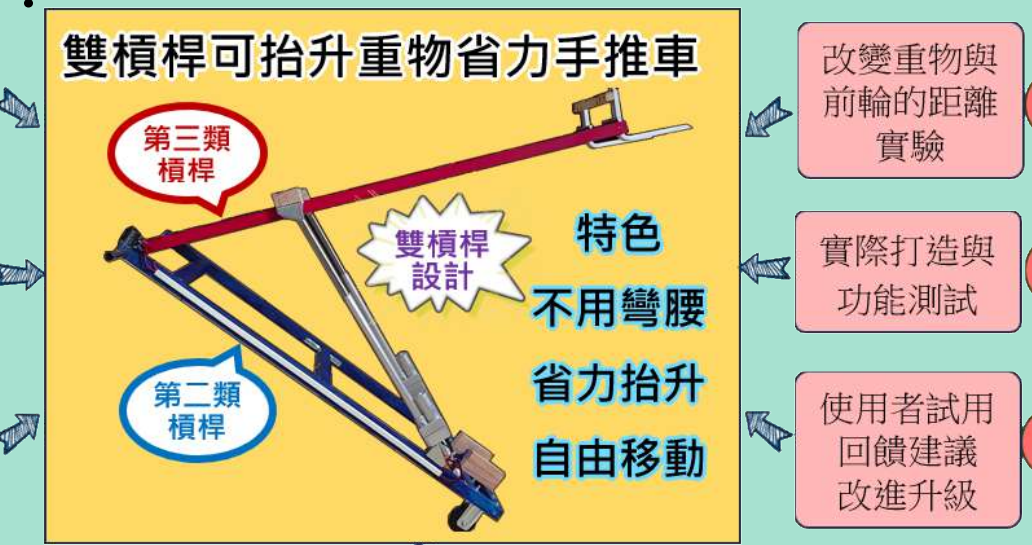
一、關於彎腰的理論：

- 身體的槓桿原理：身體運動的方式和槓桿的運作很相似
- 搬重物時不要彎腰、要蹲下，但人們常不在意。可能會因為知道錯誤姿勢造成重物重量的放大倍率，才了解彎腰搬重物真的很危險！
- 知道彎腰搬重物很危險是第一步驟，最重要的是我們想研究如何改造手推車，讓它可以：直接拿起重物移動到正確位置駁推車能直接抬起重物放到定位。

二、關於兩輪手推車的省力原理：

- 是省力的第二類槓桿
- 還是要把重物從推車搬上搬下。一不注意很容易就會彎腰搬重物，可能會造成腰、背傷害。(圖片引自蝦皮購物商品簡介)

三、研究架構：

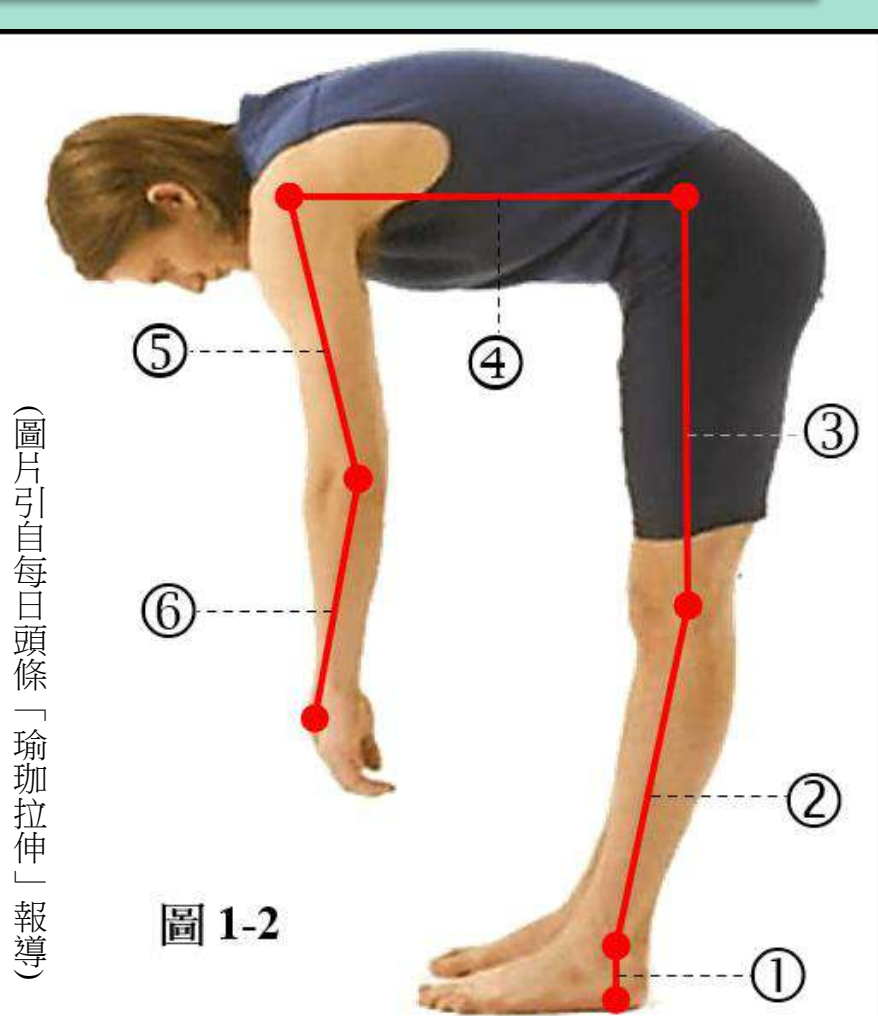


因為彎腰搬重物易受傷，所以設計創新推車

- ★ 模擬搬重物實驗讓我們可用數據讓民眾知道錯誤姿勢搬重物有多嚴重和其原因
- ★ 任何徒手搬運重物的姿勢，身體槓桿都會把重物重量放大，甚至放大到15倍！
- ★ 市面上的升降手推車只能垂直升降，還是要有人先把手推車搬上手推車
- ★ 改造兩輪手推車目標：可直接抬升重物+推車移動功能+省力

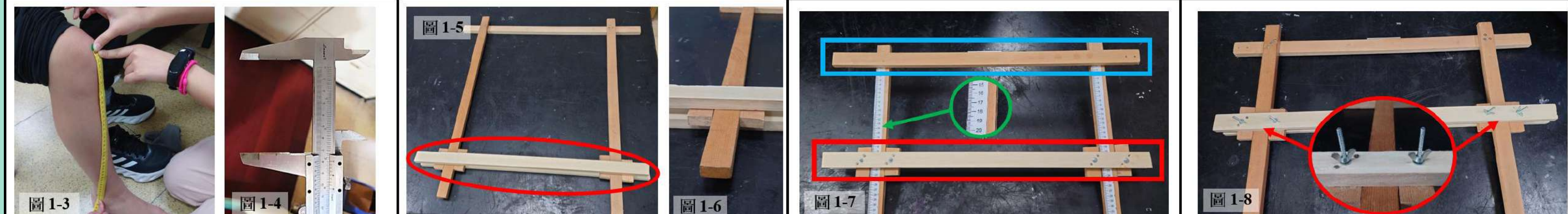
伍、研究結果與討論

【研究一】設計【模擬彎腰搬重物的方法】及【測量工具】



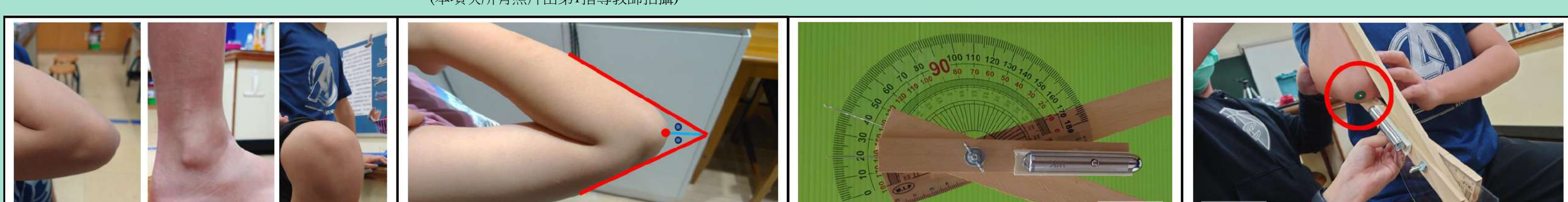
- 腳底 ↔ 腳踝骨
- 腳踝骨 ↔ 膝蓋彎曲頂點處
- 膝蓋彎曲頂點處 ↔ 髖骨外側 髖骨外側：腰部突出硬骨處
- 髖骨外側 ↔ 肩膀上部最凸處
- 肩膀上部最凸處 ↔ 手肘彎曲頂點處
- 手肘彎曲頂點處 ↔ 手握拳中 指突出骨

2.【骨骼長度測量器】的設計



- 一開始我們用皮尺測量關節的距離，但是發現內的弧度會影響測量，所以我們想學游標尺的設計，用兩端硬的物體對準節點，測量其間的距離。
- 兩邊都貼上尺的刻度，用來測量長度。
- 測量時要注意橫桿兩端對齊的刻度要相同，確保可移動橫桿(紅框)和上面橫木條(藍框)是平行的，測量才會準確。

3.【關節頂點定位器】的設計

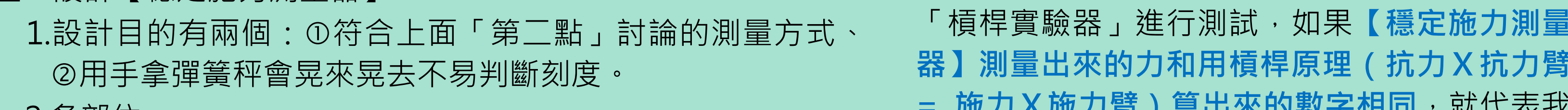


我們要測量的端點大部分都是關節的位置，但是有些地方關節突起不明顯，不好判斷。所以我們決定用以下判斷標準：關節彎曲時，兩邊骨骼做延長線形成一個夾角，夾角中間的位置就是我們測量的端點(紅點)。

二、制定【測量彎腰搬重物時背部肌肉施力大小】的方法

- 肌電圖是運動生物力學研究方法中的測量方法
- 軀幹從彎腰到伸直，是利用背部肌肉互相收縮產生運動。以骨盆附近當支點、支點左側是重物向下施力、支點右側是背部肌肉產生的施力，所以可判斷為第一類槓桿。
- 討論後發現很難模擬這兩點：創造交錯構造模擬肌肉收縮、用肌電圖測量力量。
- 決定用右圖【拉繩施力法】模擬背部肌肉施力：
 - 用木木板條釘出一個有地板、天花板的支架。
 - 左方用木條根據測量的數據做出人體模型，用螺絲釘跟螺帽當成關節，模擬不同姿勢。
 - 在人體模型背部的木條上釘圓鉤，用繩子拉動模擬肌肉收縮施力。
 - 用滑輪構造把繩子掛到支架右方的電子吊秤，秤出人體模型搬起重物時維持姿勢需要多少力。

三、設計【穩定施力測量器】



- 設計目的有兩個：
 - 符合上面「第二點」討論的測量方式、
 - 用手拿彈簧秤會晃來晃去不易判斷刻度。
- 各部位功能：
 - 人體模型鎖定制裝置：因為我們會替換不同大小模型，這樣方便我們固定、拆卸。
 - 水平固定：天花板和地板用四根柱子固定，並用水平儀確認水平。
 - 滑軌裝置：可移動滑輪、電子吊秤的位置，調整繩子施力角度，保持實驗條件相同。

3. 驗證【穩定施力測量器】的準確度：我們想用「槓桿實驗器」進行測試，如果【穩定施力測量器】測量出來的力和用槓桿原理(抗力X抗力臂=施力X施力臂)算出來的數字相同，就代表我們製作的測量器是準確的。

(1). 測試流程 (圖1-29)

- 用電子吊秤秤出600g的重物。
- 繩子綁在槓桿實驗器第3個洞，再把繩子藉由滑輪勾到電子吊秤上。
- 重物分別掛在槓桿實驗器1~6個洞上，分別用電子吊秤秤出要維持槓桿平衡所需要的力。
- 比較「用槓桿原理算出的數字」和「實際測量的數字」，確認我們的【穩定施力測量器】測量是否準確。

對應說明

- 選擇加裝【第三類槓桿】的原因 P20
 - 為了讓抬升重物時的移動距離較長。
 - 為了不讓使用者費力，加裝電動推桿。
- 重物抬升不同高度實驗
 - 施力與重物抬升高度沒有明顯的關係。
- 抬升重物時不同支撐位置實驗
 - 重物維持相同高度，就算改變不同支撐位置，使用者施力都相同。
- 改變重物與前輪的距離實驗
 - 重物離前輪越遠，使用者施力越大。

總結：電動推桿裝設位置不會影響使用者的施力。裝設位置要考慮：◎抬升高度 ◎承受力量

【確認工具準確性】 為了確認雷射指標指向正確，進行以下測試：

- 把折疊尺打開20°後，將兩端點頂在紙上，記錄下A、B兩端點。
- 把雷射指標指向10°的位置，在紙上紀錄雷射光點位置C點。
- 測量AC、CB的距離，如果AC=CB，代表雷射指標是準確的。
- 重複步驟(1)~(3)，把角度換成40°、60°、80°。測量結果都是AC=CB，證明了【關節頂點定位器】的準確性。(只有80°左右距離誤差0.13%)

4.測量標準流程



- 用尺測量腳底-腳踝骨的距離。
- 用【關節頂點定位器】找到膝蓋頂點，用【骨骼長度測量器】測量腳底-膝蓋頂點距離，再減去項目◎的距離。小腿緊貼測量器旁邊木條，避免腿歪斜測不準。
- 請受測者找到髖骨位置(臀部突出的骨頭)，貼上定位貼紙，用【骨骼長度測量器】測量膝蓋頂點-髖骨外側距離，請受測者站直，確認測量器水平，避免歪斜測不準。
- 用【骨骼長度測量器】測量肩膀上部最凸處-手肘彎曲頂點距離，請受測者站直，手自然下垂，確認測量器水平，避免歪斜測不準。
- 用【骨骼長度測量器】測量手肘彎曲頂點-手握拳中指突出骨距離，請受測者站直，手自然下垂，確認測量器水平，避免歪斜測不準。

(2).測試結果

抗力臂(格)	抗力(公斤)	施力臂(格)	施力計算值(公斤)	施力測量值(公斤)	計算值與測量值誤差百分比
1	0.600	3	0.200	0.195	2.500%
2	0.600	3	0.400	0.395	1.250%
3	0.600	3	0.600	0.595	0.833%
4	0.600	3	0.800	0.795	0.625%
5	0.600	3	1.000	0.995	0.500%
6	0.600	3	1.200	1.195	0.417%

- 「施力測量值」都比「施力計算值」小，推測原因是滑輪的摩擦力。
- 雖然「施力測量值」有誤差存在，誤差百分比在0.417% ~ 2.500%之間，但是每格抗力臂做5次實驗，5次數據都相同，代表信度很高。

(3).繩子施力角度的決定：

- 實驗中發現，施力繩和槓桿角度不同，就算抗力、抗力臂相同，測到的力也會不同。
- 施力繩和槓桿夾角60度，施力臂=3、抗力臂=6。測到的施力為1.33公斤，比原先測到垂直的施力1.195公斤還要大。
- 往右上方斜的力就是同時往上又往右。計算結果往上垂直分力(1.152kg)和原本施力繩與槓桿垂直時測到的力(1.195kg)相近，誤差只有3.6%。
- 所以決定，之後測量「繩子拉動模擬肌肉收縮施力」時，繩子和背部木條的角度永遠維持90度，避免出現向支點施力的分力。

