

中華民國第 61 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 生活與應用科學(二)科

第三名

082923

「腳」度「偏偏」-自製拇趾外翻角度檢測器

學校名稱：臺北市萬華區私立光仁國民小學

作者： 小六 謝惇名 小六 賴品融 小六 洪子睿	指導老師： 楊建明
-----------------------------------	--------------

關鍵詞：拇趾外翻、外翻角度、檢測器

摘要

拇趾外翻在生活中是常見腳部疾病之一。本研究從坊間自我檢測為出發點，成功製作出一個更有效、更快速、精準的拇趾外翻角度自我檢測方式及裝置。

我們構思各階段檢測裝置並進行改良，最後從可變電阻的電阻值轉換成角度為發想，成功利用 Arduino 量測可變電阻不同電阻時的電位差，轉換成角度，結合足邊測量板，完成可立即顯示外翻角度、警示且具藍芽功能可記錄數據的模組化拇趾外翻檢測器。相較於其他檢測方式有方便、快速、便宜、準確性佳的優點，除可提供大眾自我檢測以達到提前預防的功效，具有數位化功能的檢測器透藍芽模組及專屬 APP，可以將檢測數據資訊化並上傳雲端提供給使用者或醫療人員在未來做長期追蹤。

壹、研究動機

無意間發現家人的腳趾頭，跟我的腳趾頭不一樣！家人說這是拇趾外翻，有時會不舒服，也很擔心會越來越嚴重！什麼是拇趾外翻？拇趾外翻一定要去醫院檢查嗎？有沒有比較簡單且精準的方法可以先自我檢測，避免惡化？

我們查詢資料發現，拇趾外翻是一種常見腳趾異常疾病，統計上大約 23% 的成人會得到這種疾病，也就是每四至五個成人中就有可能有一位病例。一開始輕微的拇趾外翻是感覺不出來的，常常等到嚴重疼痛時，就會需要就醫接受治療或手術。現今針對拇趾外翻的診斷，多需要依賴專業的醫療人員來執行，雖然坊間有些簡易的篩檢方式，但缺乏精準度。因為拇趾外翻很常見，因此我們希望能有個方便操作、簡單辨識、不需花費太多時間與金錢的篩檢警示器。如果早期發現，還能透過改善生活方式像是穿鞋習慣或輔助矯正器的使用，來緩解疼痛症狀甚至延緩外翻角度的惡化。

貳、研究目的

- 一、確認坊間診斷拇趾外翻的方法並進行探討。
- 二、探討運用蹠骨延長方法量測拇趾外翻角度的可行性。
- 三、探討運用足邊測量拇趾外翻角度的可行性。
- 四、研發自製拇趾外翻角度檢測器。

參、研究設備與器材

一、實驗器材：

坊間方法檢測裝置：角度尺、數位角度尺、簽字筆、圖畫紙、直尺、量角器

檢測器製作器材：

蹠骨延長法- PP 瓦楞板、書面紙、塑膠板

第一代迴紋針接觸法- PP 瓦楞板、迴紋針、蜂鳴器、燈泡、1.5V 電池

第二代電阻測量 (珍珠板)-10K 可變電阻、珍珠板、電線、三用電表、9V 電池

第三代電阻測量 (3D 列印板)-10K 可變電阻、電線、三用電表、9V 電池

第四代微控制檢測-Arduino nano、HC-06 藍芽模組、杜邦線、10K 可變電阻、OLED 螢幕顯示器、9V 電池



圖1 研究裝置與器材



圖2 蹠骨延長法裝置



圖3 第一代-迴紋針接觸裝置



圖4 第二代-電阻轉換檢測裝置

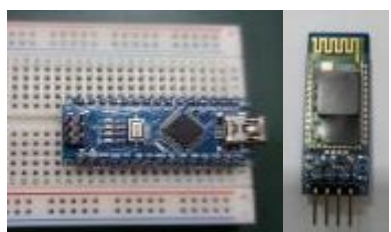


圖5 Arduino 開發板+藍芽模組



圖6 10K 可變電阻



圖7 第四代-微控制檢測裝置

其他器材：

剪刀、刀片、膠帶、迴紋針、電池、電池盒、量角器、電線、尺、溫度計、吹風機

肆、研究過程與方法

研究流程

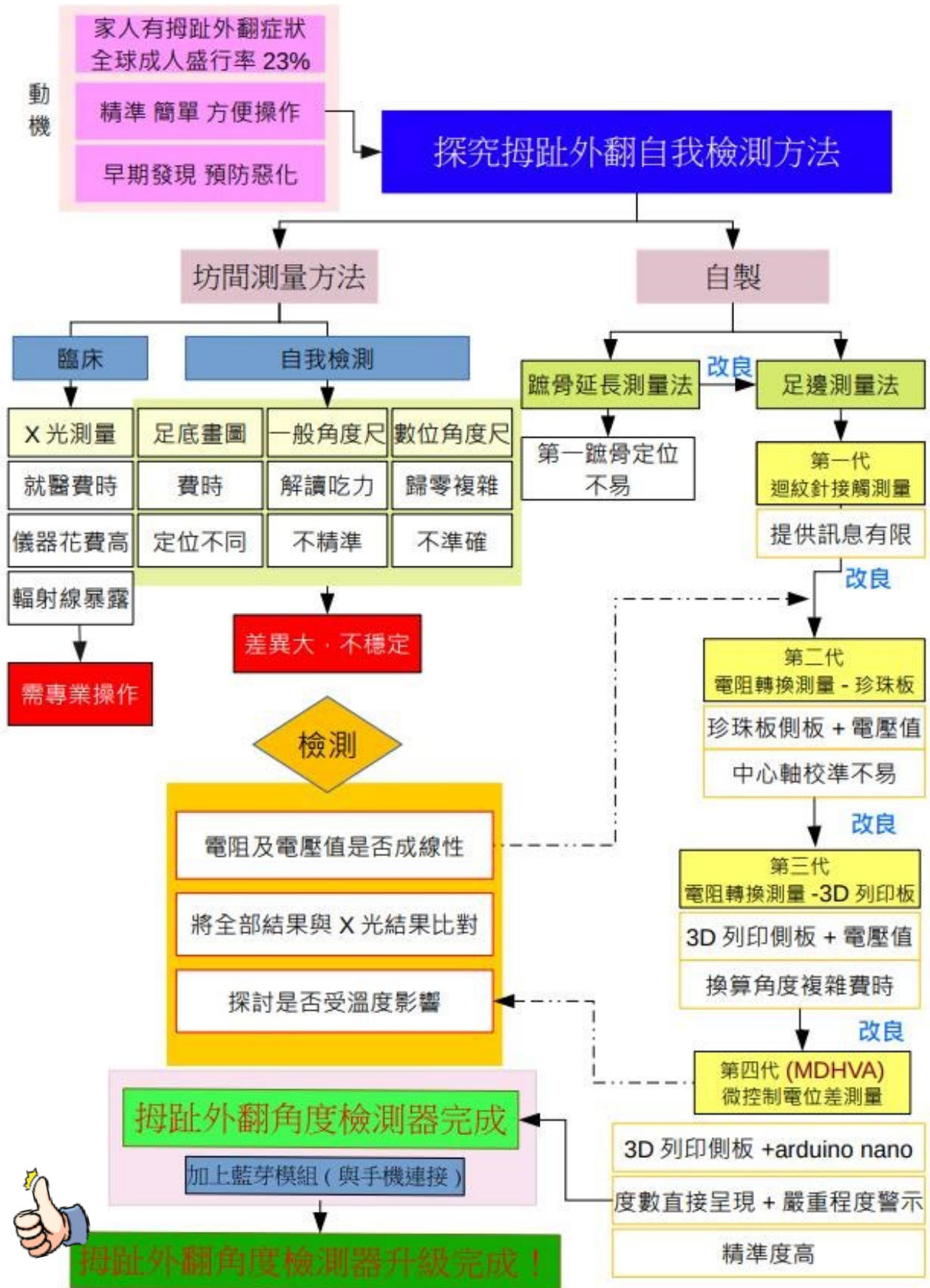


圖8 研究流程圖

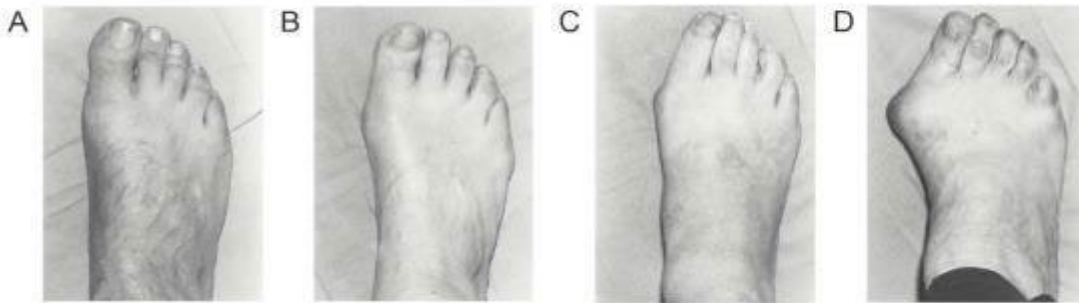
文獻參考

1. **拇趾外翻表現與症狀**：外觀上為大腳趾往第二趾偏斜，同時大腳趾的蹠骨漸漸往內側翻轉，造成內側骨頭突起，當穿鞋時這個突起會與內側鞋面摩擦而造成疼痛，久了會形成硬痂，隨著外翻角度越大，甚至會重疊到第二腳趾的上面或下面。

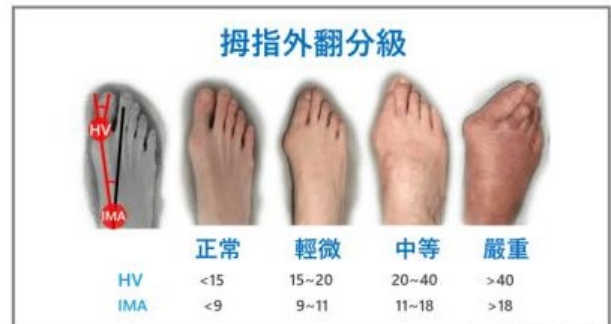
2. 拇趾外翻分類：

(1). 依外觀嚴重度的分類：(Manchester scale)

A 無異常(第一級) B 輕微異常(第二級) C 中度異常(第三級) D 重度異常(第四級)



(2). 拇趾外翻角度(第一趾骨和第一蹠骨間的角度)來分類：當拇趾外翻角度(HVA) >15 度，第一腳蹠骨和第二腳蹠骨間角度(IMA) >9 度的時候，在醫學上就稱為有『拇趾外翻』。拇趾外翻嚴重程度可分為：輕微(拇趾外翻角度 $15\sim 20$ 度之間)、中度(拇趾外翻角度 $20\sim 40$ 度之間)、嚴重(拇趾外翻角度 >40 度)。(阿舟物理治療小教室)



3. **發生成因**：可以導因於先天遺傳疾病與後天外在因素，遺傳疾病可能影響原本正常穩定足部的構造，隨著成長加上外來因素的刺激下，漸漸導致外翻的形成。

根據統計，全球拇趾外翻的盛行率在 $18\sim 65$ 歲之間為 23% ，也就是將近每4人就有1人有這種困擾， 65 歲以上更佔 35.7% (宛家禾 2016)。

4. **預防與治療**：輕微患者止痛藥物治療，穿戴矯正輔具，嚴重者，需要手術矯正，讓骨頭角度復位。我們並不能選擇我們被遺傳到什麼基因或者疾病，因此我們應該**著重於後天的預防**，方法包含了不要有不良的穿鞋習慣及足部長時間負重，例如穿太高的鞋子或楦頭太小的鞋子，尤其是職業上需要長時間久站或走動的人。(王建順)

5. **醫療單位診斷方式**：臨床常使用 X 光來評估拇趾外翻的分期及畸形嚴重程度，以選擇適當的治療或手術方式 (長庚醫學中心)。

6. 坊間自我檢測方法：

用筆沿著腳的邊緣畫在紙上，利用畫好的足底圖外型找出特定的定位點連成直線所夾的角度再用量角器測量，可得知外翻角度。

釐清問題，確認拇趾外翻角度檢測器製作目標

從文獻中我們可以發現，拇趾外翻的發生比例是很高的，雖遺傳是主要發生成因，但外在因素也會影響甚至惡化嚴重程度。一開始輕微的拇趾外翻是感覺不出來的，常常等到嚴重疼痛時，就會需要就醫接受治療或手術。現今針對拇趾外翻的診斷，多需要依賴專業的器具及醫療人員來執行，雖然坊間有些簡易的篩檢方式，但我們也不確定是否精準！因此我們希望能有個**方便操作、簡單辨識、成本不高的篩檢警示器**，除了可以**提供一般民眾進行自我檢測**甚至也可以讓**醫療機構做初期的判斷與運用、減少不必要的 X 光暴露**。這樣，一般民眾就可以早期發現，透過改善生活方式像是穿鞋習慣或輔助矯正器的使用，來緩解疼痛症狀甚至延緩外翻角度的惡化。

預期自製檢測裝置效能：

1. 精準性高。
2. 操作不需太繁雜，能在短時間完成檢測。
3. 偵測到的外翻角度能很容易辨識並能顯示嚴重程度不需經過換算。
4. 成本低。

坊間檢測方法比較與探討

想法：我們想釐清，除了利用專業的醫療器材，一般坊間自我檢測的方法有哪些？這些方法準確嗎？有哪些不方便的地方？

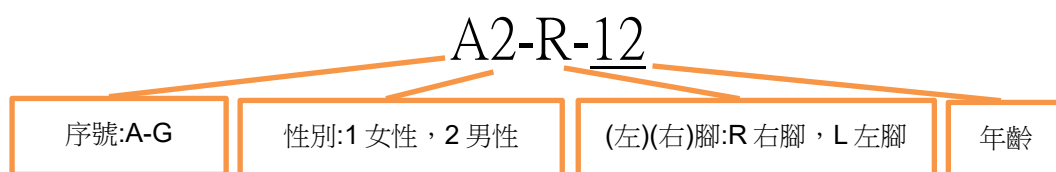
探究過程：

1. 確認坊間有哪些方法？

坊間自我檢測多數是將足底描繪後利用量角器測量足內側和拇趾內側邊的角度，為了方便說明，我們稱這種方法為「足底畫圖法」。另外，我們發現市面上有販售一種結構上是由二把直尺和量角器構成的角度尺，這種類型量尺有一般刻度及數位式兩種，可以測量兩直線構成的角度，如果使用這種角度尺可以用來檢測拇趾外翻的角度嗎？

2. 確認檢測對象：為了確認這些方法是否能測量正確的外翻角度，我們以 12 歲學童 3 位、成人 4 位(同時有接受 X 光檢測診斷為拇趾外翻)作為受測對象。

受測者編號方法:為了方便實驗記錄，我們將受測者予以編號，編號說明如下



1. 探究步驟：

(1)足底畫圖法：

- i.將腳放置在白紙上
- ii. 自己描繪腳型
- iii. 以拇趾骨與蹠骨交接凸起處為支點，繪製拇趾及腳跟的兩外切線，量測側邊角度
- iv.計算所需時間及量測角度



圖9 描繪腳型



圖10 定點連線



圖11 量測角度

(2)角度尺量測--一般刻度型

- i.將腳置放平地後，打開量尺貼近足內側邊量測拇趾內側與腳內側邊的角度。
- ii.記錄所需時間及量測的角度。

(3)角度尺量測--數位型

- i.將腳置放平地後，將兩端直尺打開成 180 度後，進行歸零動作。
- ii.將量尺貼近足內側邊量測拇趾內側與腳內側邊的角度。
- iii.記錄所需時間及量測的角度。



圖12 一般角度尺量測



圖13 數位角度尺需先歸零



圖14 定位後量測

結果：

表1 X光檢測結果表

受測編號	D1-R-47	E1-L-47	F1-R-68	F1-L-68	G2-R-45	G2-L-45
性別	女	女	女		男	
年齡	47	47	68		45	
檢測腳	右腳	左腳	右腳	左腳	右腳	左腳
X光檢測 度數/嚴重 程度	20.8度/中度	25.9度/中度	30.94度/中度	31.41度/中度	30.36度/中度	33.14度/中度
						

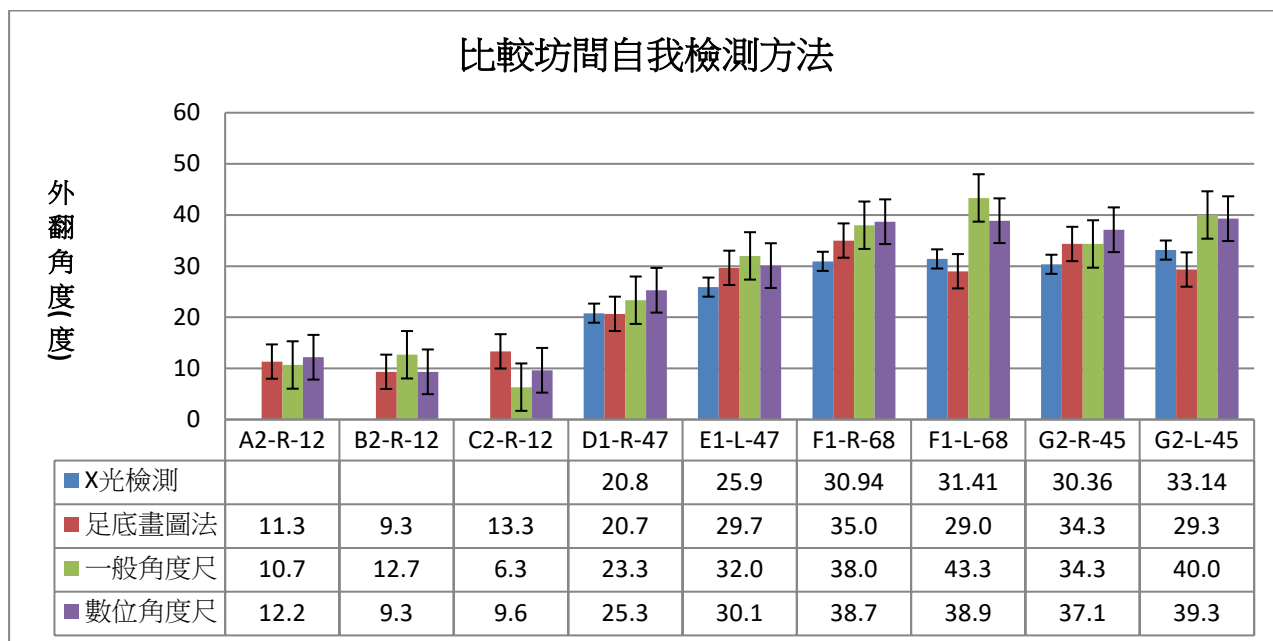


圖15 比較坊間自我檢測方法

- 四位成人受測者中，每次測量數據皆有差異，穩定性也不佳。數位角度尺數據不穩定，推測是每次需要拉直校準，靈敏度不佳；一般刻度的角度尺最不穩定，推測是兩端長度過長，且刻度不易判讀容易造成誤差。
- 為了比較與 X 光檢測的差異性，將三種自我檢測方法平均結果與 X 光相減，以 X 光數值基準進行差異比對。

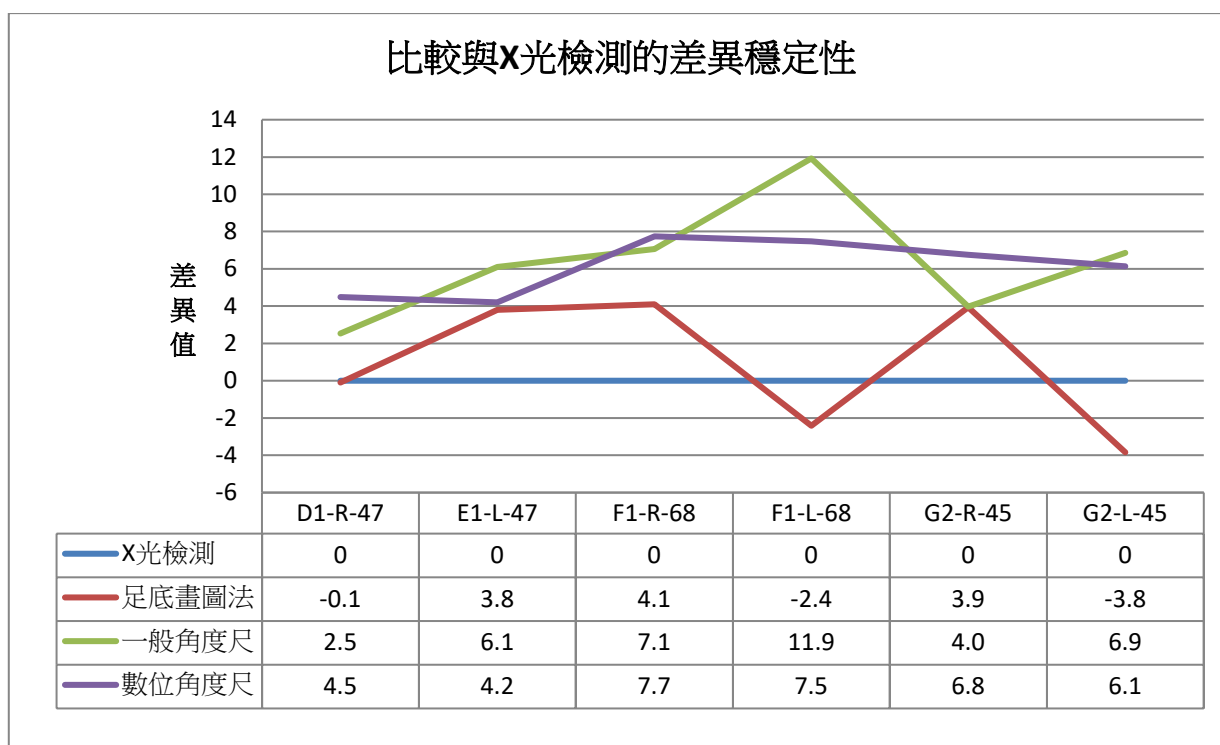


圖16 比較與 X 光檢測的差異穩定性

1. 從圖表中可發現，三種自我檢測方法與 X 光檢測皆有一定差距，其中二種角度尺精準度差距大。
2. 年齡較長者，在三種方法間，所得數據差距較大，推測是對角度尺的使用及刻度判讀較不易。

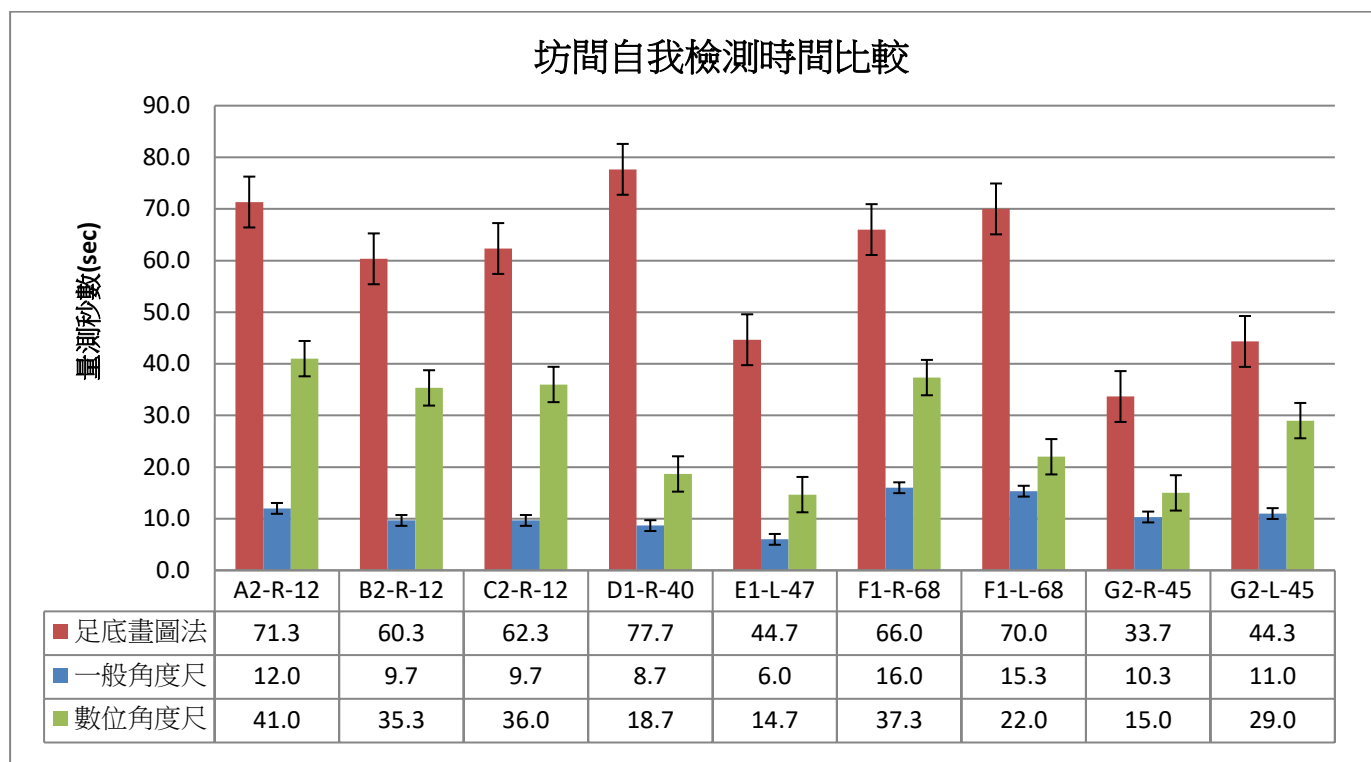


圖17 坊間自我檢測所需時間比較

1. 足底畫圖法所需時間較其他二種多，數位角度尺則在歸零上須花較多時間。
2. 綜合準確性與時間二個方向，網路提供的描繪方式雖然使用工具較低廉，但繪製需彎腰一段時間，準確性也因人而異。一般角度尺雖然操作時間較少，但刻度需要換算，不夠直覺，準確性不高。數位角度尺每次都要歸零，價格上較其他二種昂貴許多。精準度也是有待商榷。

自製拇趾外翻角度檢測器製作歷程

探究一：蹠骨延長測量法

想法：一開始，我們想要可以直覺地找出偏轉的角度，腳一放上就能知道拇趾外翻的嚴重程度！從文獻中知道，拇趾外翻的角度定義是「大拇趾第一趾骨和第一蹠骨間的角度大於 15 度」，所以我們認為角度偏移對應的寬度就會改變，因此可先確認第一蹠骨，將它的方向延長再找出大拇趾偏移對應的位置，就可以知道外翻角度！

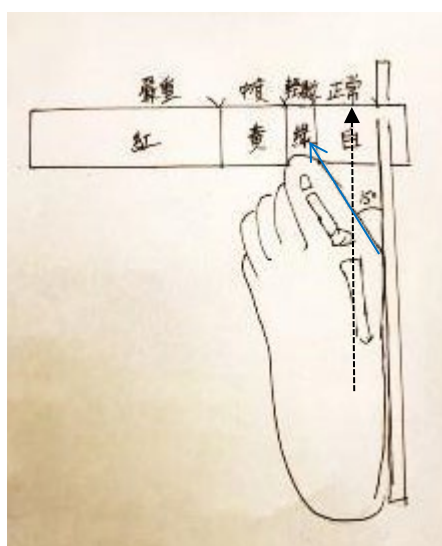


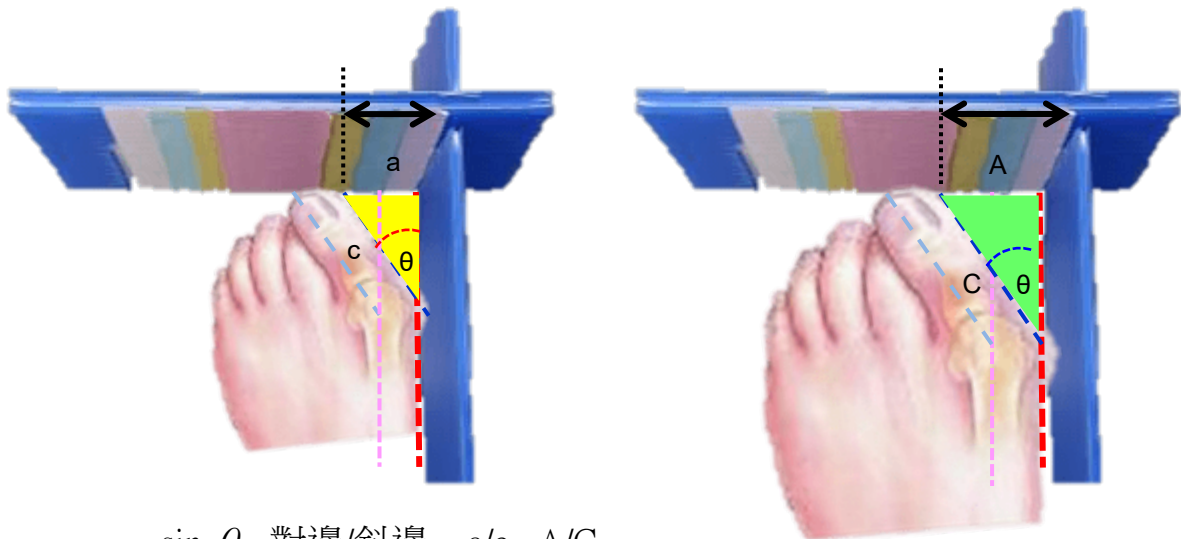
圖18 發想圖



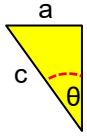
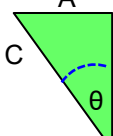
圖19 量測位置

遭遇困難與問題：

有了構想，但面臨二個困難，(1)不同角度要如何轉換成量板上的寬度？(2)我們一開始是利用自己的腳當作範本，利用量角器量出角度後標繪對應的寬度。但每個人的腳趾頭長短不一樣，如果腳趾都是往量板上靠，即使外翻角度一樣，所得出的寬度卻不一定相同！我們想了很久還是不太明白，老師說可以試著用三角函數來解釋！什麼是三角函數？根據老師的解釋，我們將蹠骨延長線、大拇趾邊長和測量大腳趾偏移角度的邊長(角度量測板)三條邊間組成直角三角形。其中，將蹠骨延長板和角度量測板兩者交界固定為直角，**大拇趾長度稱作斜邊**，**對應的寬度(角度量測板上大拇趾偏移的距離)稱為對邊**，如果拇趾外翻的角度視為 θ ，這樣三角函數中 $\sin \theta$ 就等於對邊除以斜邊(對邊/斜邊)，因此，如果角度相同，但大拇趾長度如果不一樣，對應的長度也會不同。



$$\sin \theta = \text{對邊/斜邊} = a/c = A/C$$

 <p>若 $c=5$(大拇趾長) $\sin 30^\circ = a/5$ $a = 0.5 * 5 = 2.5$</p>	 <p>若 $C=10$(大拇趾長) $\sin 30^\circ = A/10$ $A = 0.5 * 10 = 5$</p>
---	--

為了解決大拇趾長短不一(C 或 c 斜邊)會讓對應的角度寬度(對邊)不同的問題，我們決定要製作大拇趾延長板將長度固定，也就是讓斜邊長一致！但要設定多長呢？設定太短，如大拇趾較長的受測者就放不下，因此我們想要以一般成人最長的大拇趾長度來進行設定，我們翻閱了許多資料，發現一篇期刊的研究提到亞洲成人(不論男女)大拇趾長平均最長為 7 公分(HONG Y.等 (2011))，於是為了方便計算，我們決定將大拇趾長度(斜邊)設定為 10 公分，來設計蹠骨延長法的檢測器。

製作過程：

1. 利用 PP 瓦楞板裁切三片，分別作為蹠骨延長板(鄰邊)、角度量測板(對邊)和大拇趾長度延長板(斜邊固定為 10 公分)。
2. 測量板依據大拇趾長度延長板(斜邊固定為 10 公分)，找出 $\sin 10^\circ$ 、 $\sin 20^\circ$ ……的對邊長度進行標繪，並以不同顏色代表嚴重程度。分別為白色($0^\circ \sim 15^\circ$)、綠色($15^\circ \sim 20^\circ$)、黃色($20^\circ \sim 40^\circ$)、紅色(大於 40°)。
3. 大拇趾長度延長板一開始是單獨扣在蹠骨延長板上，但易晃動不易調整因此改成兩端連結利用滑動方式來量測。
4. 為了更精準顯示刻度，我們利用電腦繪製刻度印在透明片上然後再黏貼於量板(對邊)。



圖20 紙板試作



圖21 單邊扣住延長板，偏差大



圖22 雙邊扣住，滑動不易

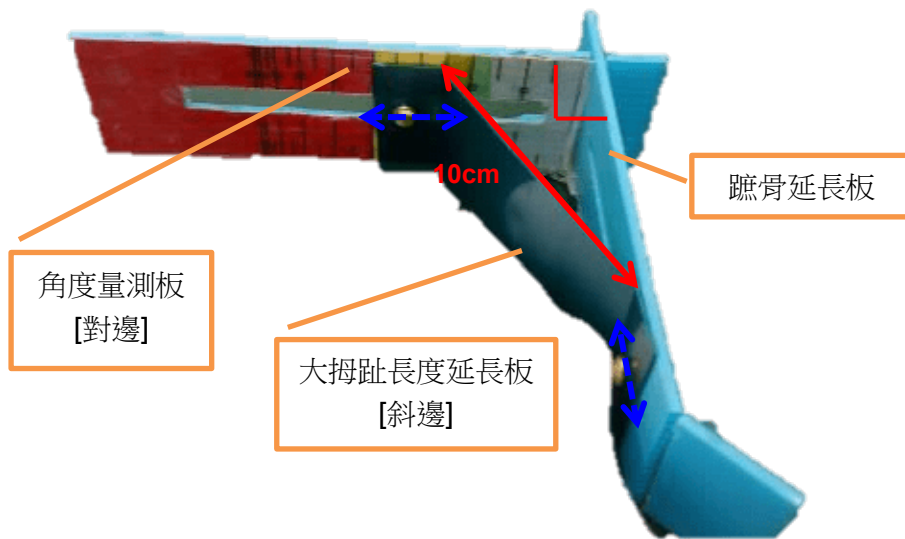


圖23 蹠骨延長法結構圖

量測方法：

1. 將蹠骨延長板的一端緊貼第一蹠骨的內側皮膚，讓蹠骨延長板盡量和第一蹠骨平行。
2. 讓第一蹠骨和第一趾骨(大拇趾骨)交接處對齊大拇趾延長板(邊長 10 公分)和蹠骨延長板的折線。
3. 移動大拇趾長度延長板兩端滑輪，注意須讓大拇趾緊貼大拇趾延長板。
4. 大拇趾長度延長板及角度量測板的折線所指的位置，即為拇趾外翻的嚴重程度及度數。



圖24 正確方法：蹠骨需盡量與延長板平行



圖25 錯誤方法：蹠骨未與延長板平行



圖26 先定位第一蹠骨與大拇趾第一趾骨交接處



圖27 大拇趾長度延長板與角度測量板交接處即為拇趾外翻所對應的角度

結果：利用蹠骨延長板及量板等，能直覺式的判讀顏色警示區塊和讀取出對應的外翻角度，精準性較坊間方法有提升，但操作時易造成定位上的晃動不易確定。

探究二：足邊量測第一代-迴紋針接觸檢測法

想法：蹠骨延長法裝置雖然能直接對應到外翻角度與嚴重度，但一般人定位第一蹠骨的位置容易不精確，滑動大拇趾延長板時也會讓定位點跑掉，導致量測的結果穩定性不佳，操作時間上也會有點耽誤。後來，我們想到，如果將蹠骨延長板和大拇趾邊長延長板結合，變成可調整的測量板，只要知道兩個板子之間的角度就可以知道是否外翻了！

角度要如何確認？我們想到四年級利用迴紋針進行電路通電的實驗，構想是，如果達到某一角度，兩端板子上的迴紋針就會觸碰，進而產生通路使燈泡發亮。

製作過程：

1. 將長 15 公分，寬 7 公分紙箱瓦楞板中間切開，一邊用膠帶黏緊以方便調整角度。
2. 將電線連接小燈泡，電池盒用泡棉膠固定在背面。
3. 迴紋針插在紙板上，使用量角器調整迴紋針接觸時的角度。
4. 因為在資料上顯示 20 度以上為拇趾外翻，所以我們以量角器量測儀器內角度小於 160 度時，即會碰觸發亮。測量時將角度警示器放置腳內緣側邊，燈泡發亮即為大於 20 度外翻。

遇到的問題或修正方法：

1. 紙箱瓦楞板太軟容易破損於是改成使用 pp 瓦楞板。
2. 改良後的檢測器雖然比紙箱瓦楞板堅固，但只有在 20 度時才會發出警示，於是在將它改良成可以在內夾角為 160 度及 140 度時可以分別警示。
3. 改良後的檢測器能在內夾角小於 160 度時讓燈泡發亮，小於 140 度時蜂鳴器同時會發出聲響。



圖28 紙箱瓦楞板，太軟容易破損



圖29 改良用 PP 瓦楞板，但只能測出一種角度



圖30 改良後，使其可以在內夾角小於 160 度時讓燈泡發亮，140 度時蜂鳴器會發出聲響。

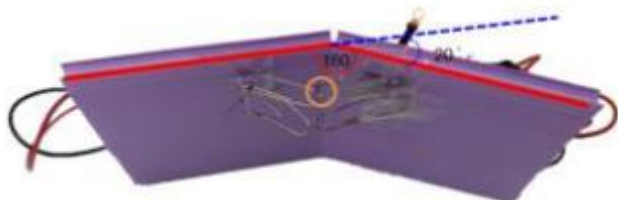


圖31 外翻 20 度(內夾角 160 度)，燈泡發亮

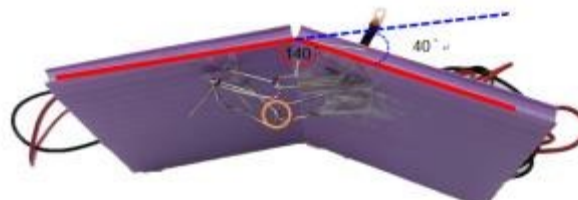


圖32 外翻 40 度(內夾角 140 度)，蜂鳴器發出聲響

操作步驟：

- 1.將檢測器放置腳內側邊緣，一邊貼齊第一蹠骨，另一邊貼齊大拇趾。
- 2.若燈泡發亮則為外翻 20 度，若蜂鳴器發出聲響為外翻 40 度。

結果：雖能檢測外翻的嚴重程度，但無法呈現精確的數值，且迴紋針易被觸碰而歪斜。

探究三：足邊測量-電阻測量法

想法：當夾板達到某個角度時就會使迴紋針接觸因而讓電路通路，雖然裝置上比蹠骨延長法更為簡易，但卻無法針對每個角度進行檢測，因此我們想到檯燈上的旋鈕，旋鈕會使燈泡亮度改變，而旋鈕主要是可變電阻，於是我們想，如果轉動可變電阻的角度會改變電阻值及電壓值，並呈等比例的關係，或許我們可以利用電阻或電壓值來找到偏轉的角度。



圖33 檯燈上的旋鈕大多是靠可變電阻改變燈泡亮度，於是想利用可變電阻來當作檢測角度的工具

實驗：驗證可變電阻轉動的角度與電阻、電壓值是否呈現線性比例關係

操作步驟：

1. 我們在可變電阻上套上 360 度的量角器，並利用螺帽固定。
2. 在可變電阻上架上一根鐵絲，並黏上紙條以方便對應角度。
3. 將三用電表的電線接上。
4. 角度每移動 10 度就登記一次三用電表上的數值(分別做電阻值以及 9V 電池電壓值)

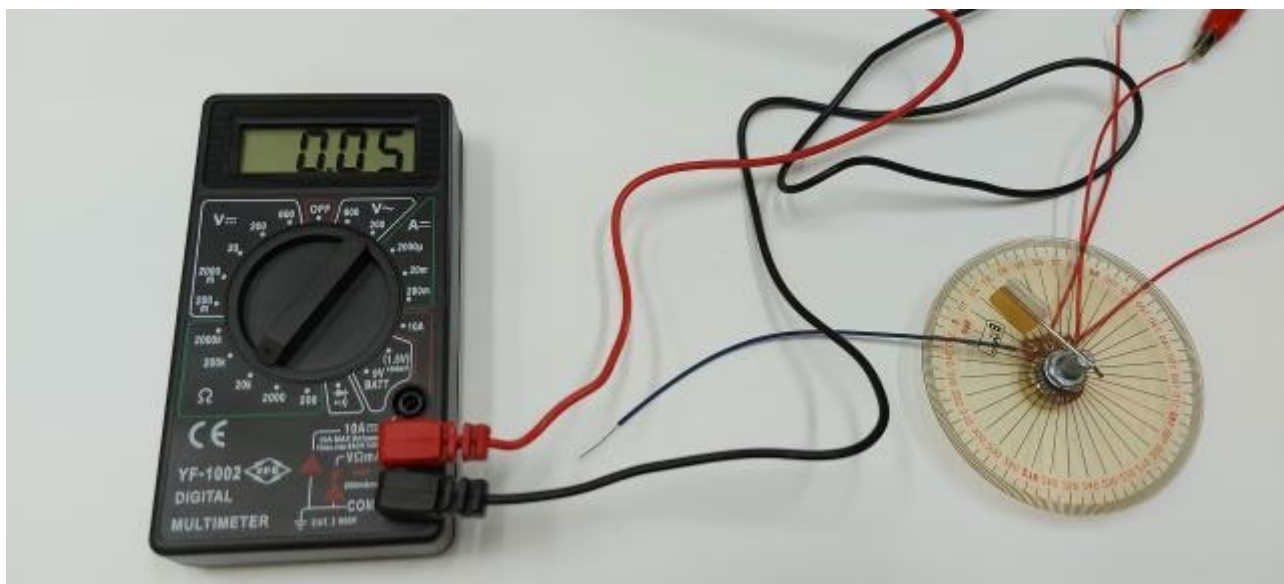


圖34 改變角度測量電阻及電壓值的變化

實驗過程與步驟：

1. 先將指針對齊 360°量角器上的 0 度，記錄其電阻值及電壓值。
2. 分別記錄 0°-300°每右轉 10 度的電阻值及電壓值。
3. 將記錄結果做成關係圖。

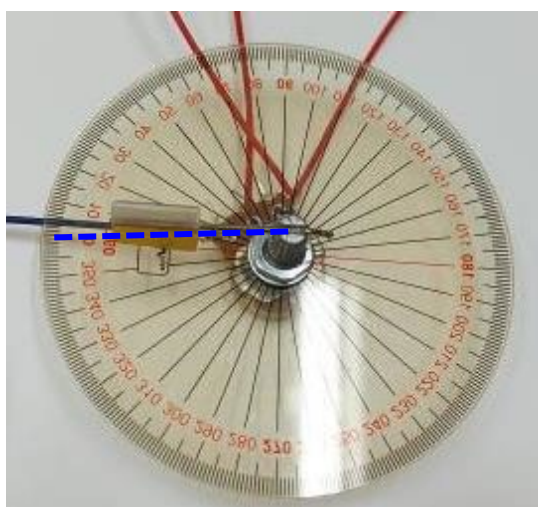


圖35 將角度旋至最底端，角度為 0 度

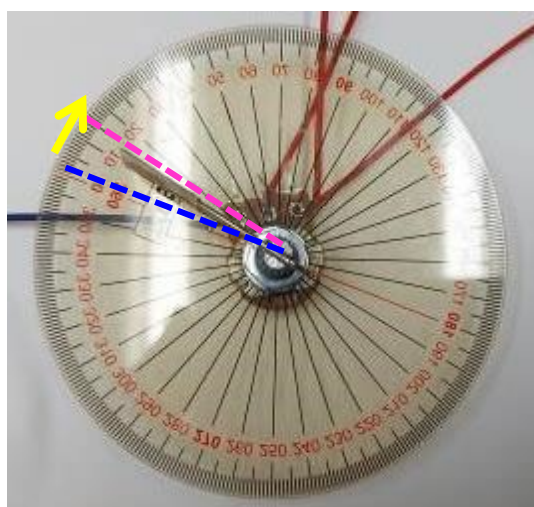


圖36 每 10 度檢測電阻電壓值

結果：

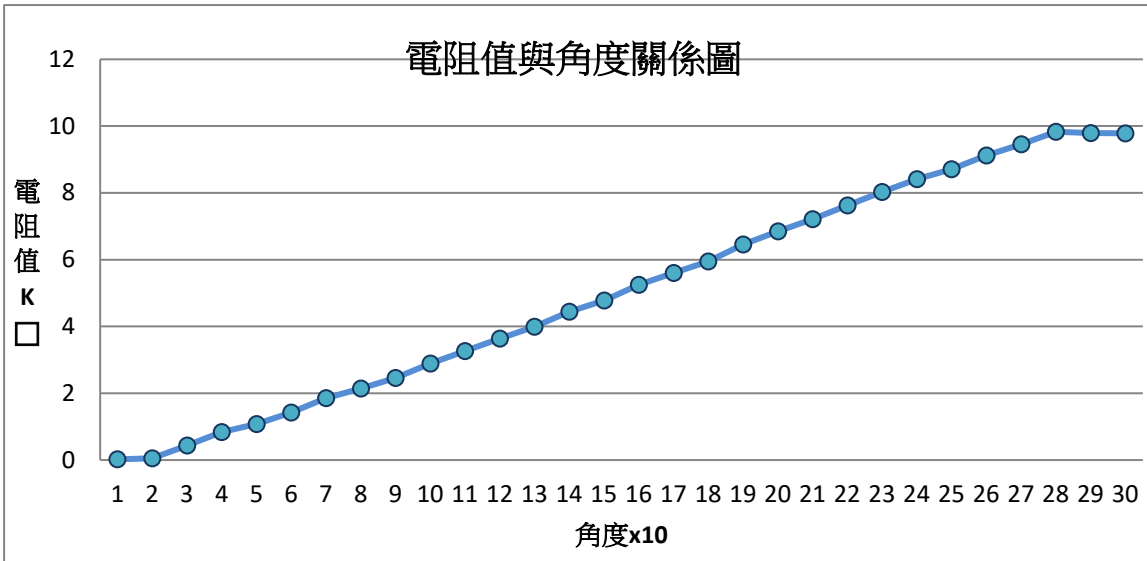


圖37 電阻值與角度關係圖

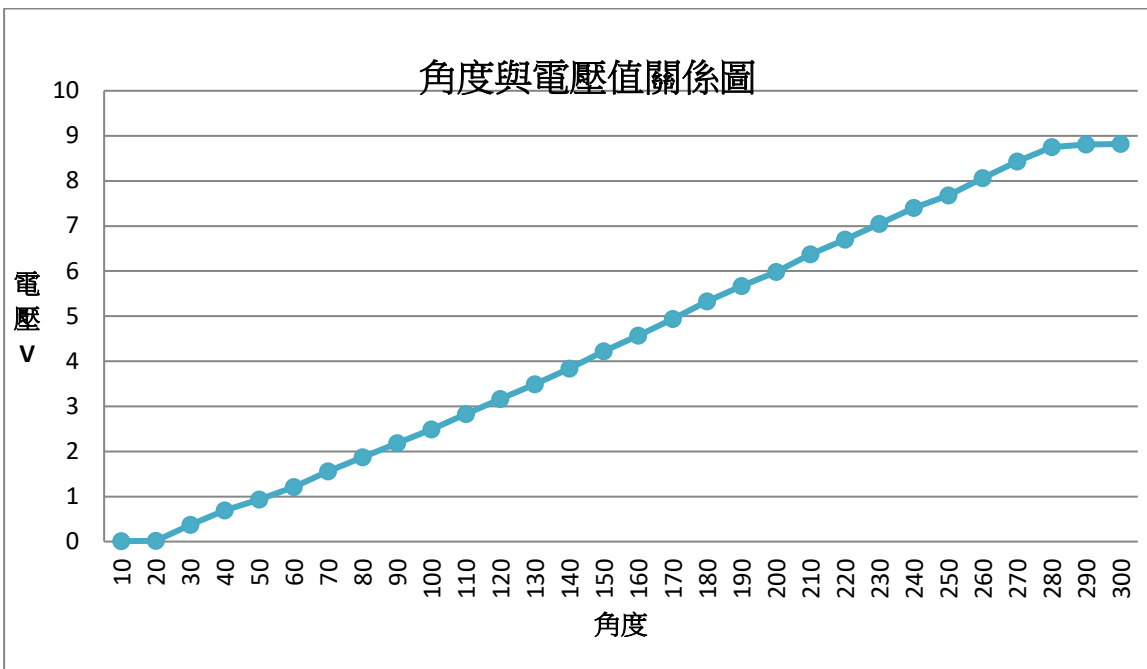


圖38 角度與電壓值關係圖

由圖 37、38 可知，可變電阻最大可以轉到 300 度，但頭尾兩端的數值都並未呈現線性關係，因此在利用可變電阻製作儀器時，要避免頭尾這兩端沒有線性關係的部分。在此實驗，我們也找到線性比例區段，其斜率大約為 0.035 volt/度。

● 足邊測量第二代---電阻轉換測量法(珍珠板)

構造圖：

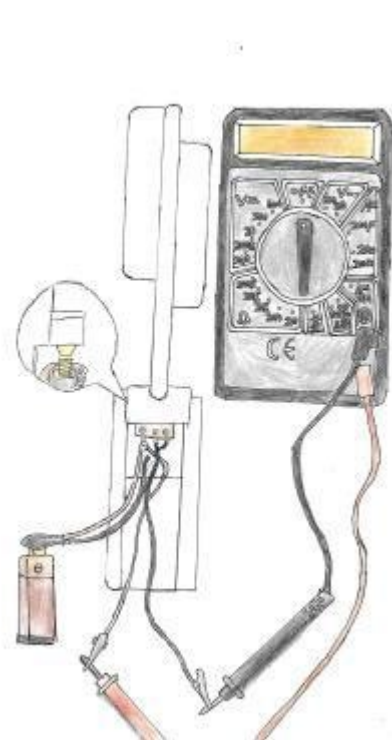


圖39 量測方法

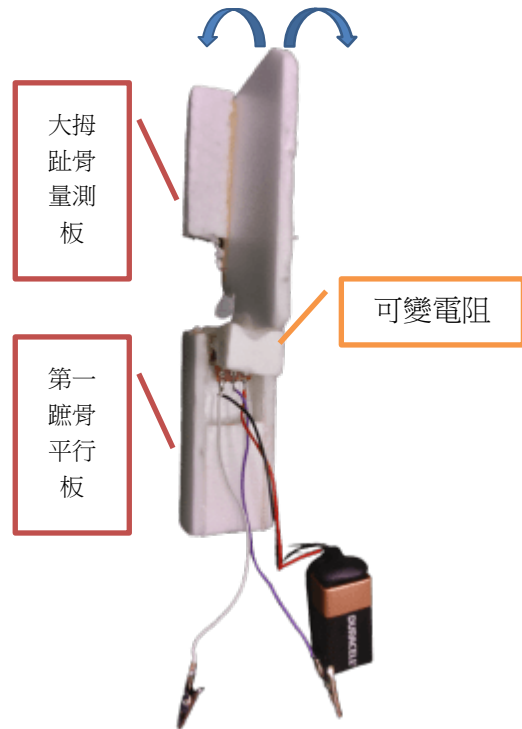


圖40 構造圖

操作步驟：

1. 將檢測器接上電池及三用電表。
2. 將量板呈現水平狀，記錄下電壓值 V_0 ，這是量板起點的值，也就是角度為零時的值。
3. 使用時，將測量板放置腳內側邊緣，一邊貼齊第一蹠骨，另一邊貼齊大拇趾趾骨，確定量測位置後，記錄下電壓值 V_1 。
4. 因為測量的數值為電壓值，所以需轉換成角度。轉換的公式如公式(1)是測量電壓值 V_1 減去零度的電壓值 V_0 ，再除以 0.035，結果就會是量測出的度數。

$$\text{角度}(D) = (V_1 - V_0) / 0.035 \dots\dots (1)$$

結果：

結合測量板，能輕易地轉動電阻進而測量外翻的角度，是一大突破，但測量出的數值卻不如預期穩定，我們推測珍珠板的中心點在測量板的一邊而不是在兩個板子中間。

● 足邊測量第三代---電阻轉換測量法(3D 列印板)

為了解決中心點不在測量板中間的問題，我們將珍珠板改成利用 3D 列印板製作，減少誤差。

構造：

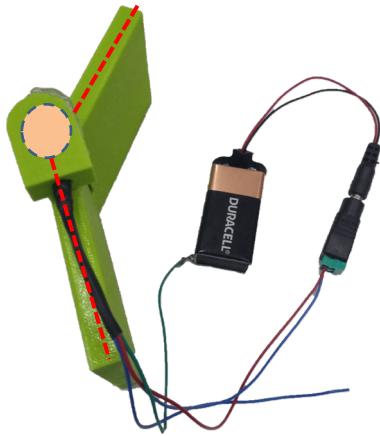


圖41 可變電阻放置兩板子中間



圖42 第一蹠骨與大拇趾側板固定量測

結果：

利用 3D 模型測量出的結果確實比珍珠板的穩定，朝向目的又前進了一大步。但是使用這種的測量法有個缺點，就是測量過後仍然需要有繁雜的計算步驟，我們希望能將測量後的數值改變成角度直接顯示這樣才方便！

探究四：足邊測量第四代-微控制電位差測量

構想：

在前面的電阻實驗中，我們發現可變電阻每個旋轉角度會對應到一個電壓值，我們從實驗中知道角度與電壓呈線性比例關係，所以我們可以透過線性關係公式(1)，將測得的電壓值轉換成角度。每次獲得一個電壓值需透過人工方式測量及計算才能獲得我們所要的角度，使用上不是很方便。要怎樣才能將電壓值轉換成度數？老師說可以利用操控程式將結果轉換成度數，因此，老師教我們使用 Arduino nano 來解決這個問題，**Arduino nano 是微控制器，可以取代三用電表量測電壓值，同時可以協助我們將電壓值轉換成角度，並將角度值顯現在 LCD 或是 OLED 面板上。**這是我們採用 Arduino 製作角度量測器原因。

裝置設計：

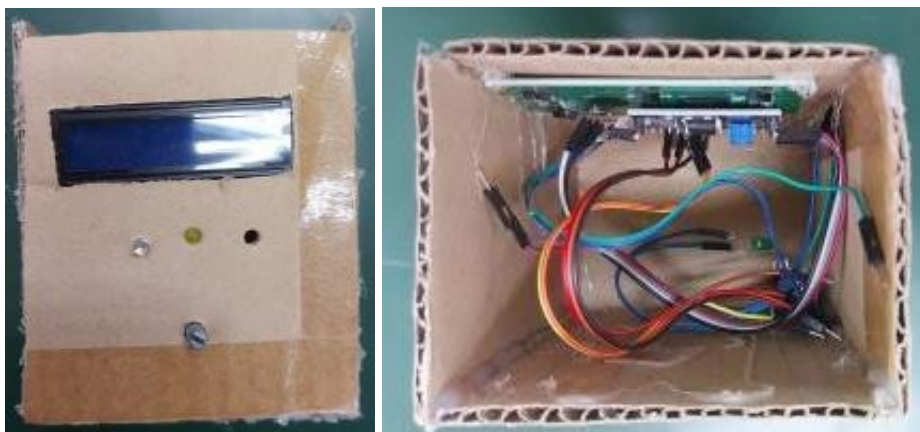


圖43 紙盒原型(製作架構)



圖44 Arduino 電位差測量 3D 模型裝置

(主體)。有度數顯示面板與警示燈的儀器外殼及量測器部分元件是利用 3D 列印機列印製作，儀器內部電子元件主要含有 Arduino nano 主板、紅色 LED、黃色 LED、綠色的 LED、B10K 可變電阻、三個 1K 電阻、電路規劃如下圖。

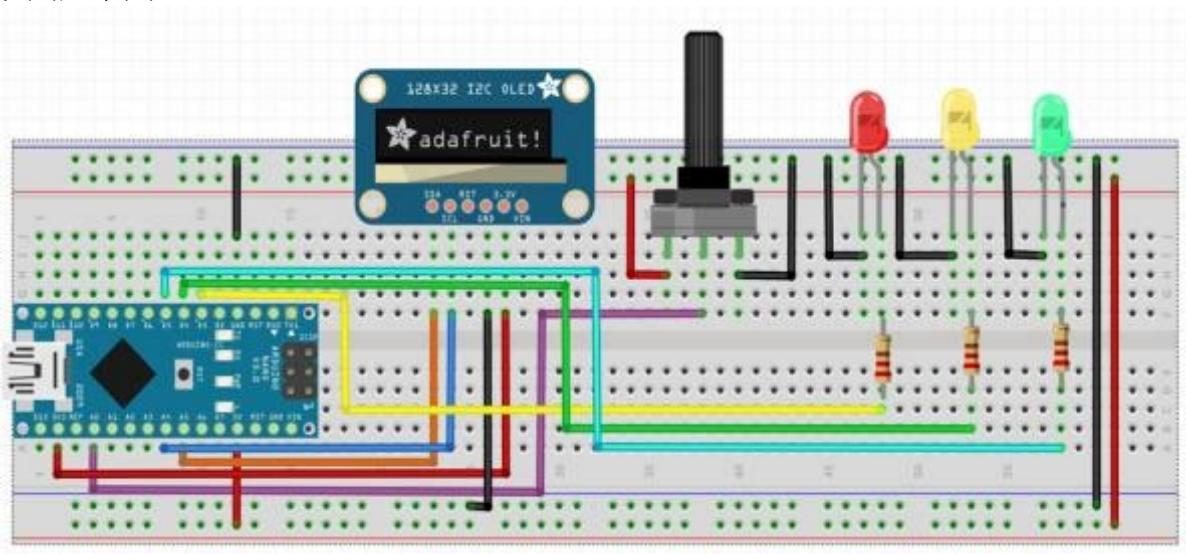


圖45 3D 模型製作出的檢測器(內部電路圖)

每個 LED 都有正負極之分，長腳為正極，短腳為負極。因 LED 所需電壓較低，假如直接供應 5 伏特電壓可能會燒壞，所以我們在紅、黃、綠 LED 的正極端接 1K 電阻，並依序連接到 Arduino nano 的 Pin 2、Pin 3、Pin 4 腳位，三組 LED 的負極接至 Arduino nano 的 GND 腳位。可變電阻有三個腳位，中間腳位連至 Arduino nano 的 A0 腳位，其它兩端腳位則連接至 Arduino nano 的 5V 腳位及 GND 腳位，當旋轉可變電阻旋鈕時，Arduino nano 可透過 A0 腳位測得角度對應的電壓值，透過公式(1)換算成角度。為了將所計算出的角度快速顯示出來，我們先後採用 LCD 及 OLED 面板來顯示角度，透過 SCL 及 SDA 兩個腳位來與 Arduino nano 傳遞指令及接受訊息。面板 SCL 與 SDA 腳位分別接 Arduino nano 的 A5 及 A4 腳位。

程式撰寫如下：

The image shows a Scratch-style code editor with two main sections: 'setup' and 'loop'.

setup 函式程式 (Setup Function):

- 設定 可變電阻 為 光敏(可變)電阻, 類比數位 A0
- 設定 初始值 為 0
- 設定 角度值 為 0
- 設定 偵測值 為 0
- 設定 表示最大值 為 127
- 設定 最大偵測值 為 851
- 設定 Oled螢幕 為 OLED (SSD1306), SDA 4, SCL 5
- 設定 紅燈 為 LED 燈, 數位 2
- 設定 黃燈 為 LED 燈, 數位 3
- 設定 綠燈 為 LED 燈, 數位 4
- 設定 比值 為 最大偵測值 / 最小偵測值, 180

loop 函式程式 (Loop Function):

- 設定 偵測值 為 可變電阻 偵測的數值
- 設定 角度值 為 偵測值 * 比值 / 90
- Oled螢幕 清除螢幕內容
- Oled螢幕 設定 X座標 0
- Oled螢幕 設定字體大小 (1-7) 1
- Oled螢幕 顯示文字 "Helicobacter pylori"
- Oled螢幕 設定字體大小 (1-7) 2
- Oled螢幕 顯示圖片 "Deg"
- 如果 角度值 <= -40
 - 執行 紅燈 設定狀態 on
 - 黃燈 設定狀態 off
 - 綠燈 設定狀態 off
- 否則如果 角度值 <= -20
 - 執行 紅燈 設定狀態 off
 - 黃燈 設定狀態 on
 - 綠燈 設定狀態 off
- 否則如果 角度值 <= 20
 - 執行 紅燈 設定狀態 off
 - 黃燈 設定狀態 off
 - 綠燈 設定狀態 on
- 否則如果 角度值 <= 40
 - 執行 紅燈 設定狀態 off
 - 黃燈 設定狀態 on
 - 綠燈 設定狀態 off
- 否則 紅燈 設定狀態 on
- 黃燈 設定狀態 off
- 綠燈 設定狀態 off

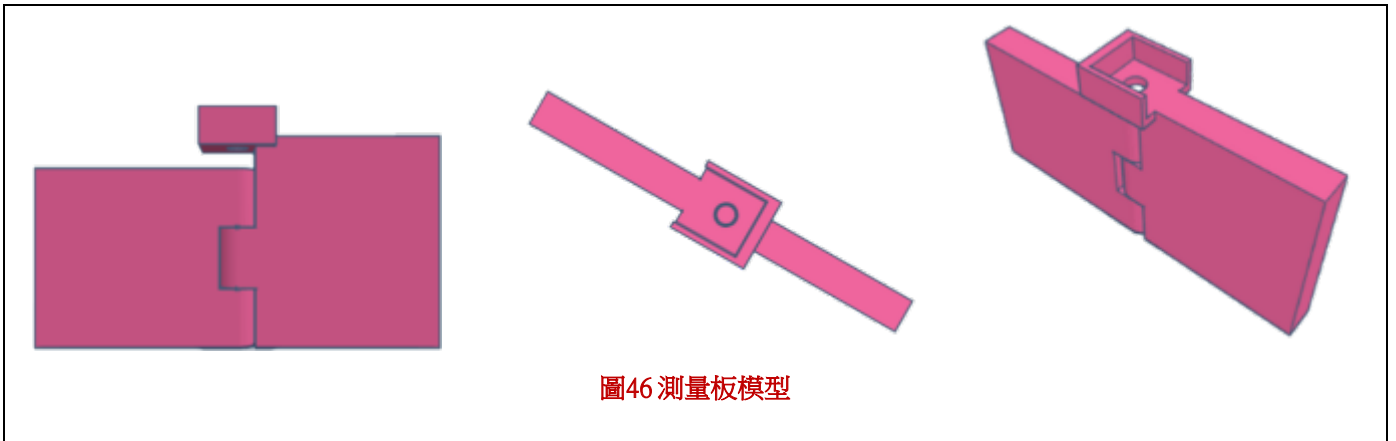


圖46 測量板模型

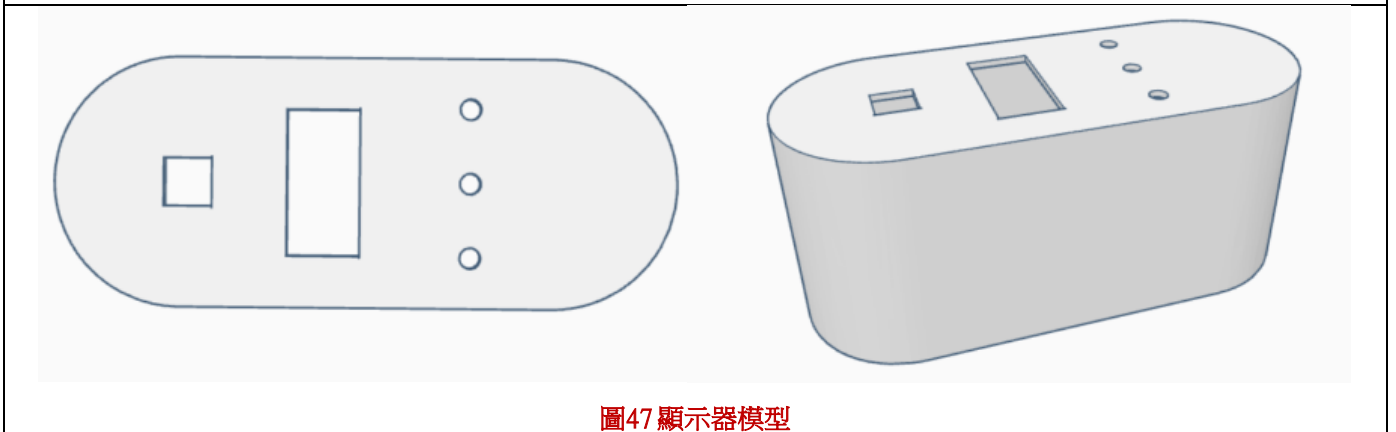


圖47 顯示器模型

操作方法：

1. 將測量板用線路與顯示器連接，並按壓開關、打開電源。
2. 將裝有可變電阻、用來辨識角度的測量板平貼於足部內側，一個板面貼近第一蹠骨的足內側皮膚，另一個板面貼近大腳趾第一趾骨的足內側皮膚(左腳和右腳可適用)。
3. 兩個板面所形成的夾角，透過可變電阻產生的變化傳輸至顯示器，可將度數顯示於螢幕上同時亮起對應警示燈號。(紅燈-嚴重 40° 以上、黃燈-中度 20° - 40° 、綠燈-輕微 20° 以下)



圖48 按壓開關、打開電源



圖49 測量板平貼於足部內側



圖50 度數顯示於螢幕上同時亮起警示燈號

結果：經過不斷的試驗我們終於完成可以操作方便且能精準自我檢測的拇趾外翻角度檢測器為，我們稱它為微控制拇趾外翻角度檢測器(Microcontrolled Detector for Hallux Valgus Angle(MDHVA))。

探究五：確認溫度對量測結果的影響

想法：上課時老師提到熱漲冷縮，那腳也會嗎？腳在鞋裡悶著，溫度應該會上升，受熱的腳會不會影響檢測器測量出的外翻角度？所以我們想利用自製檢測器來檢測看看！

加熱方法我們採取濕式與乾式兩種，濕式加溫是足部浸泡不同溫度的水中，乾式則是利用吹風機裝置中進行。



圖51 濕式加熱情形

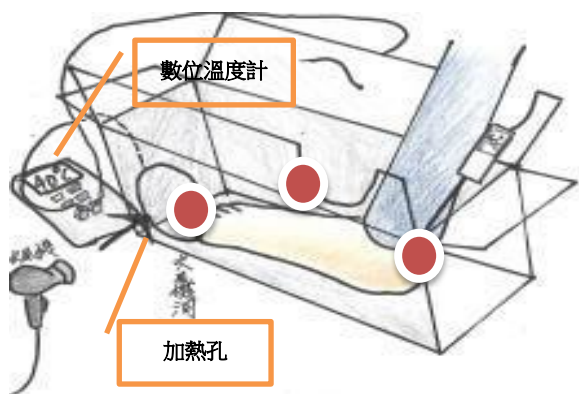


圖52 乾式加熱裝置盒結構圖

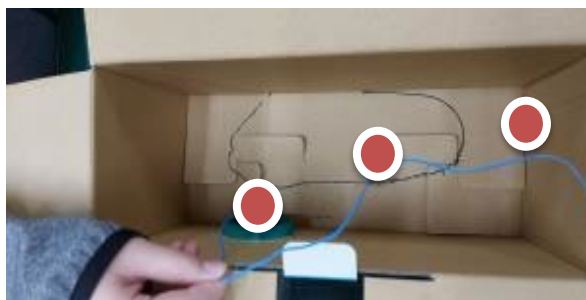


圖53 乾式加溫裝置盒內三處裝置溫度計，確認內部是否達到足夠溫度

實驗步驟：

濕式加熱

1. 將水盆裝滿水，每次水溫分別為攝氏 10 度、20 度、30 度、40 度、50 度。
2. 腳放入水中浸泡 1 分鐘。
3. 把腳從水裡面取出，利用儀器測量，測量出的數值與泡水前的數值做比對。



圖54 水盆裝水，腳放入浸泡



圖55 把腳從水裡取出，測量角度

乾式加熱

1. 利用吹風機將內部溫度調到 30、40 度。
2. 將腳放入，分別維持一分鐘及三分鐘後取出。
3. 利用第四代自製檢測器，測量出的數值與吹風前做比對。



圖56 將盒子內部加溫至 30 度



圖57 腳放入，維持一分鐘



圖58 腳取出，立即測量角度

探究六：提升自製拇趾外翻角度檢測器(MDHVA)效能，探究數據資訊化及追蹤功能的方法
構想及製作過程：MDHVA 終於完成了，我們將這個裝置定位在自我檢測與防護上，就好像是量體重一樣可以隨時了解身體的變化。因此我們覺得如果能將每次拇趾外翻角度數據紀錄下來，進行長期追蹤一定很棒！我們的目標是希望能做出一個可以產生數位化資料，並可將測量資料上傳至雲端成為智慧醫療的一部份。經過和老師討論後，我們決定製作一個 APP 聯繫裝置的藍芽模組擷取裝置所獲得測量結果到手機上，然後透過 APP 將數據傳送至 google 雲端，操作者只要按下螢幕上的按鈕，輸入資料，就可以記錄當下數據。

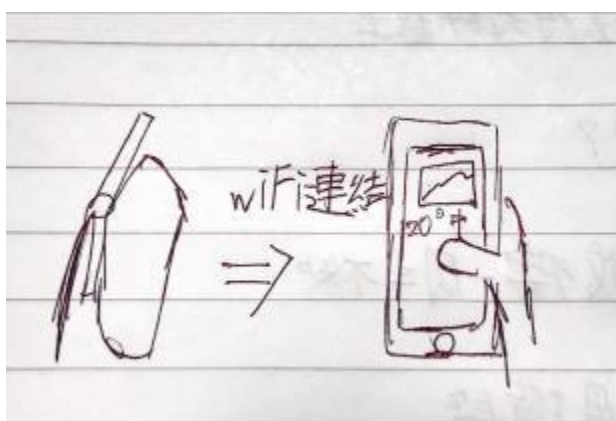


圖59 原構想以 wifi 遠端傳輸



圖60 改為藍芽傳輸

我們發想兩種方式來達成構想，一種是運用 WiFi，另一種是運用藍芽；經過我們詢問指導老師及專家朋友，我們選擇藍芽傳輸，選擇的原因是：Wifi 模組雖可以直接將量測的數據上傳至雲端，但是裝置本身需要設置網路路由器，為了讓裝置可以在任何地點都可以

Wifi 改用藍芽模組。藍芽模組可以搭配 APP，APP 可用 App Inventor 來撰寫，它類似 Scratch 積木程式，電腦課老師有教過，許多小學生都會使用。圖 61 是添加藍芽模組的裝置電子電路圖，大致與圖 45 相同，不同的地方是增加藍芽模組部分，我們採用 HC-06 藍芽模組，它有 6 個接頭(KEY、VCC、GND、TXD、RXD、STATE)。以串聯通訊而言，HC06 的 TXD 需接 Arduino 的 RXD，相反地 HC06 的 RXD 需接 Arduino 的 TXD。

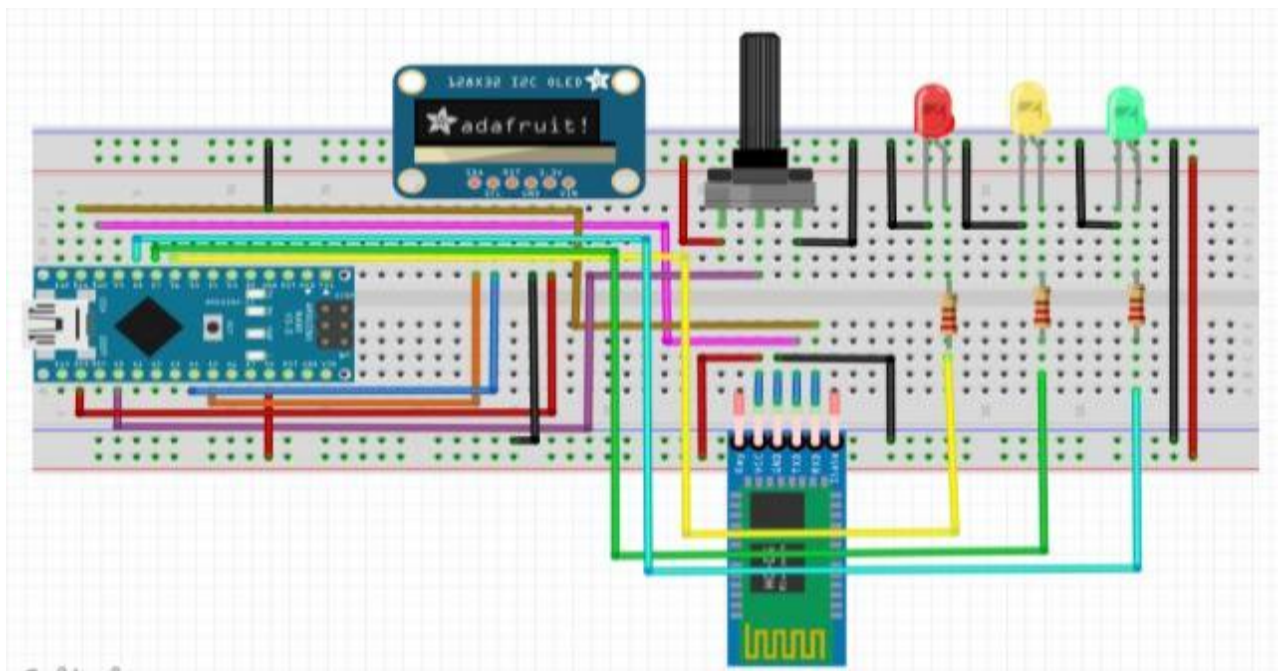


圖61 增加藍芽模組的電路圖

為了讓 Arduino 透過藍芽模組跟手機上的 App 聯繫，我們使用 Mixly 來撰寫 Arduino 的程式，因為 Mixly 有提供藍芽及 OLED 的模塊，方便我們撰寫。圖 62 是 Arduino 的積木程式，首先先設定及建立與手機藍芽通訊，然後開啟聆聽手機 App 所傳送的指令，這裡我設定指令”1”為執行拇趾外翻檢視功能，指令”2”為執行未來血壓量測功能，指令”3”為傳送拇趾外翻量測的數據至手機及結束執行拇趾外翻量測。

至於 APP 的撰寫，我們在老師的建議下使用 App Inventor 來製作手機 APP。App Inventor 是一個直觀的、可視化的編程環境，讓兒童也能輕易上手。所以我們利用 App Inventor 來將數據傳至 google 表單，操作者只要按下手機 APP 的按鈕，依序可以與 Arduino 藍芽模組建立通訊管道、傳送指令 “1” 啟動 Arduino 執行拇趾外翻量測功能、傳送指令 “2” 啟動 Arduino 執行未來發展的血壓量測功能、傳送指令 “3” 告知 Arduino 傳送拇趾外翻量測數據回手機及傳送數據至遠端 Google 表單。

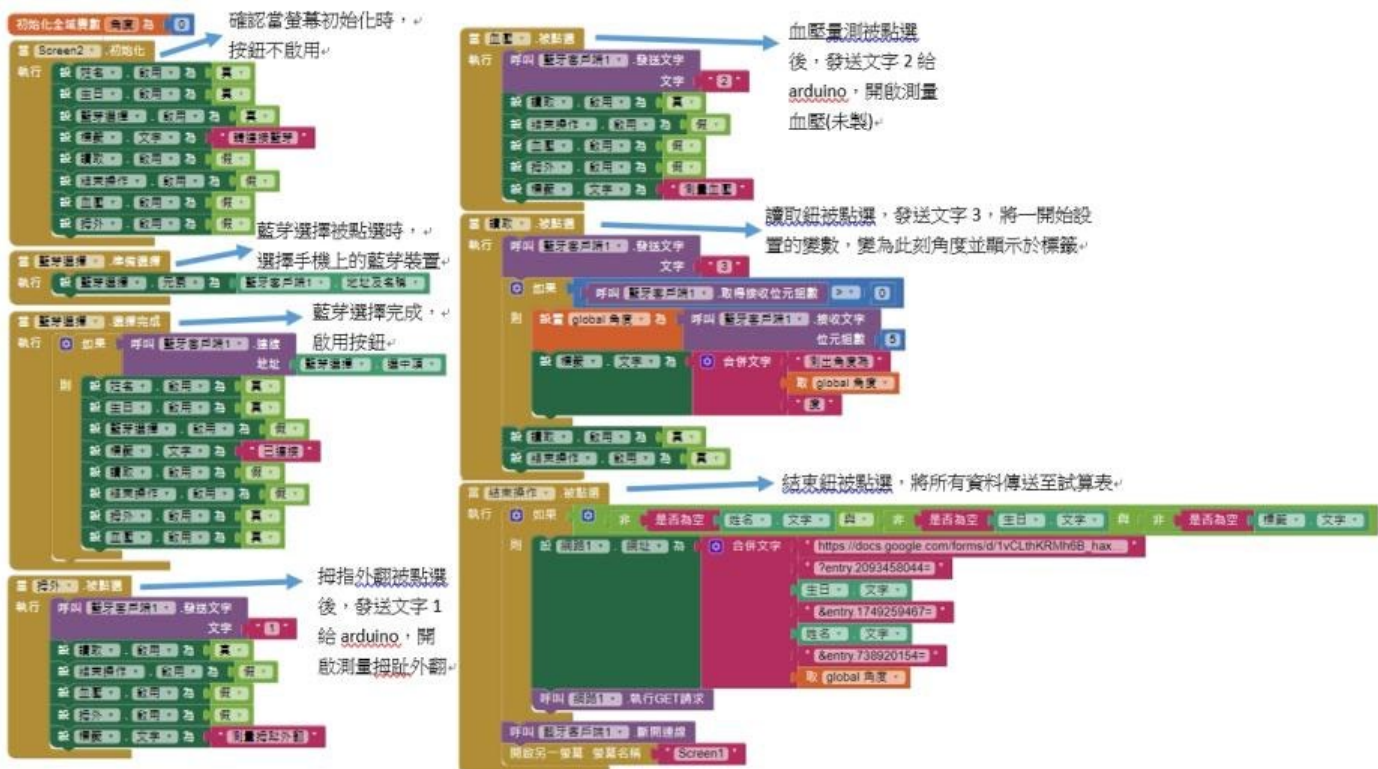




圖62 Arduino 透過藍芽模組跟手機上的 App 聯繫的程式設計圖 + Arduino 程式設計

操作方法：

- 1.我們先放入了兩個文字輸入盒，讓使用者紀錄自身資料。
- 2.再來就是藍芽選擇，讓儀器與手機同步
- 3.選擇測量拇趾外翻角度方式
- 4.製作讀取鈕，按下後發送文字 3 給 Arduino，便會讀取儀器偵測出當下數值
- 5.按下結束操作後，便會將螢幕上的所有資料傳送至 google 試算表



1.進入程式+填資料	2.選擇藍芽 HC06B	3.開始測量	4.按下讀取鍵讀取數值
------------	--------------	--------	-------------



	A	B	C	D	E	F
1	時間	生日日期	姓名	度數		
2	2021/6/6 下午 4:44:51	1001010	模型腳	26		
3						
4						

5.上傳至 google 試算表

伍、研究結果

探究一~四：各代檢測器精準性

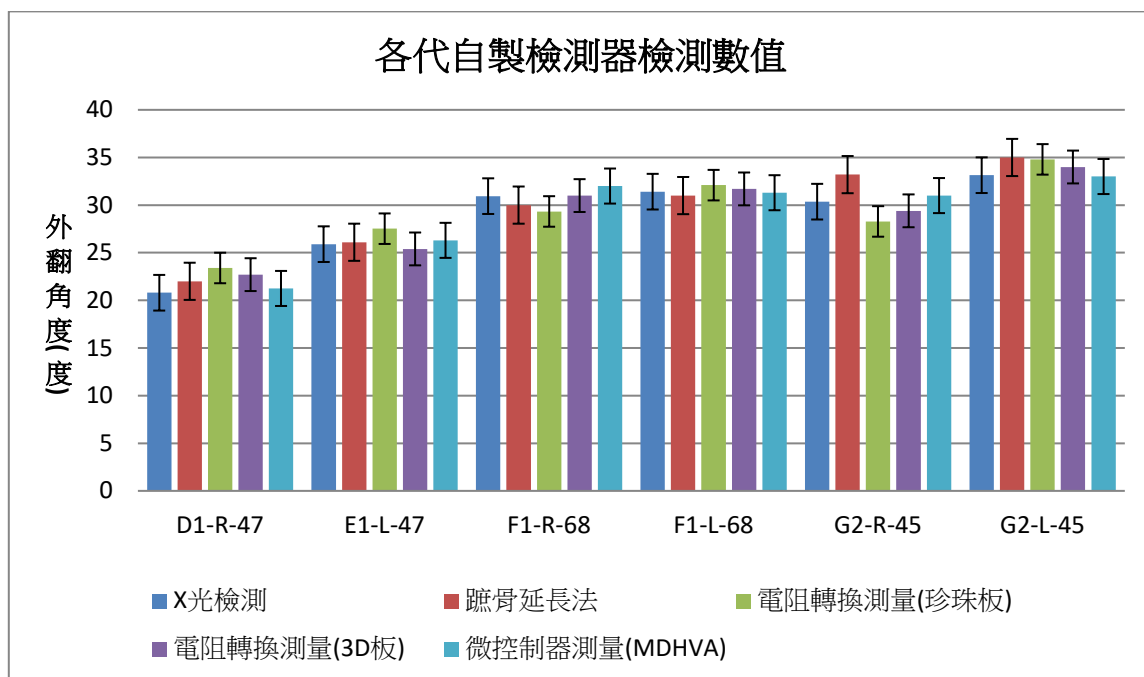


圖63 各代自製拇趾外翻角度檢測器檢測數值

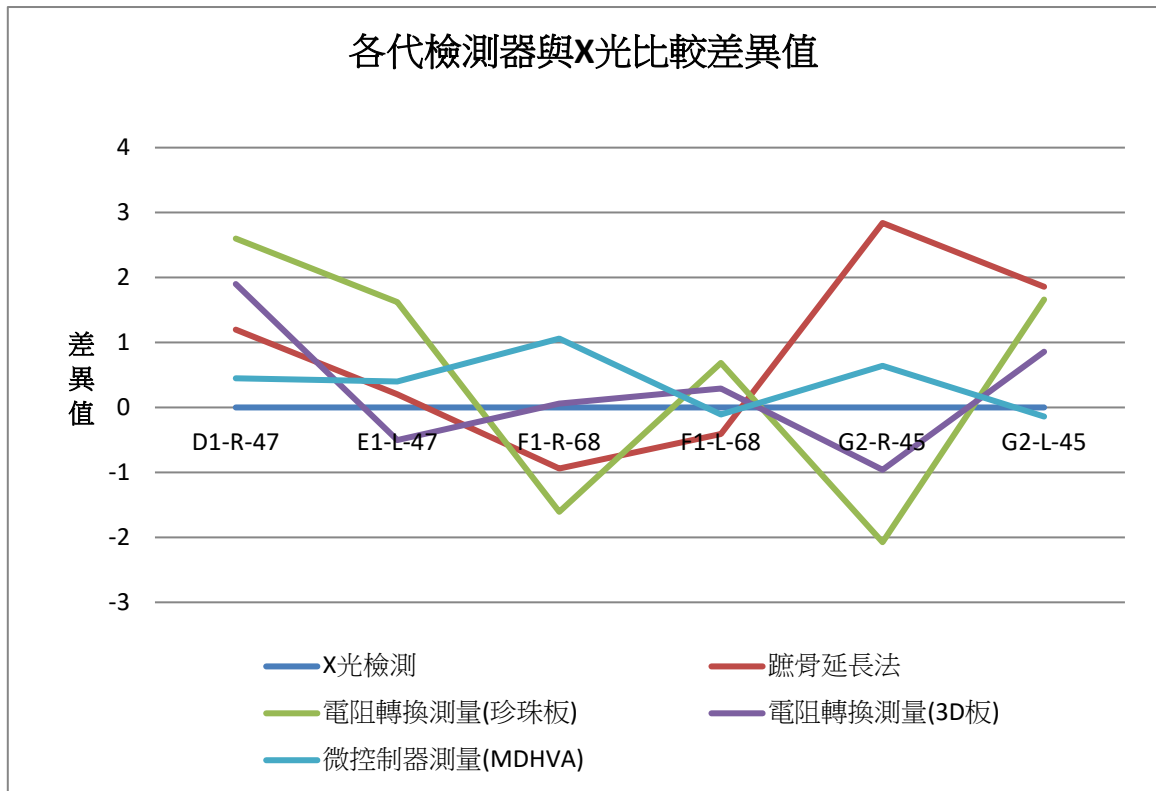


圖64 各代檢測器精確性比較

蹠骨延長法和電阻電壓第二代(珍珠板)穩定性較差，電阻電壓法第三代(3D板)明顯改善，第四代微控制拇趾外翻角度檢測器(MDHVA)在精確性及穩定性皆佳。

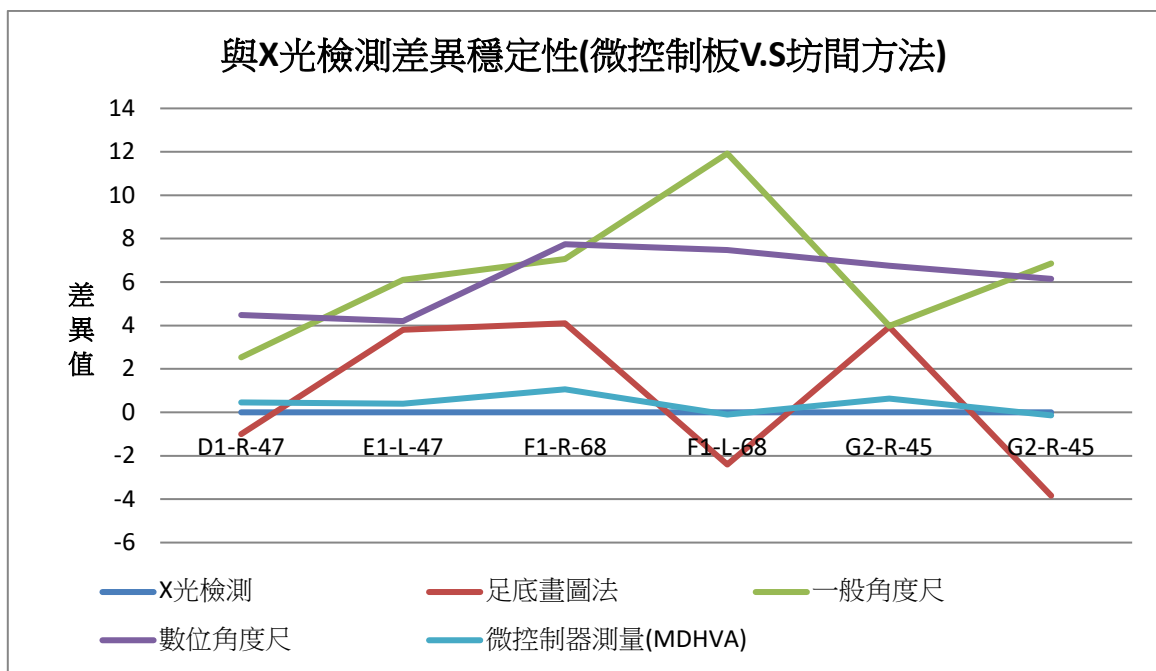


圖65 第四代-MDHVA 與坊間檢測方法比較精確性

將 MDHVA 與坊間自我檢測方法進行比較，可以發現準確性及穩定性皆高出許多，雖然還是有些許的差異，但整體來說算是非常優異。

探究五：利用第四代 MDHVA 檢測溫度是否會影響對於拇趾外翻的影響

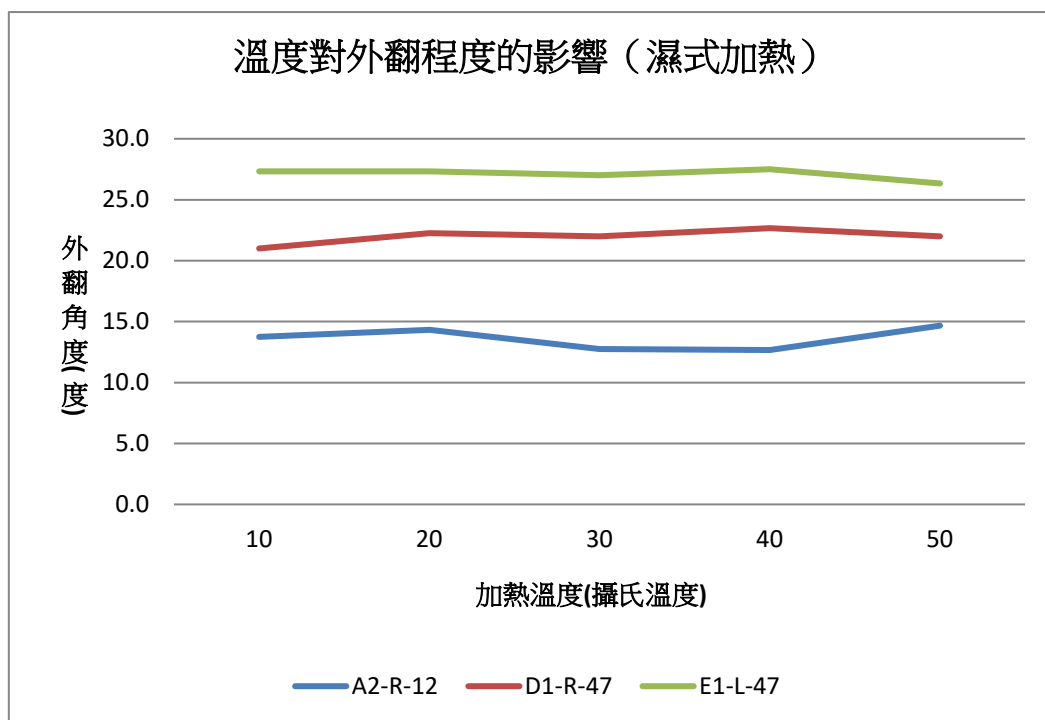


圖66 比較濕式加熱是否會影響外翻角度測量

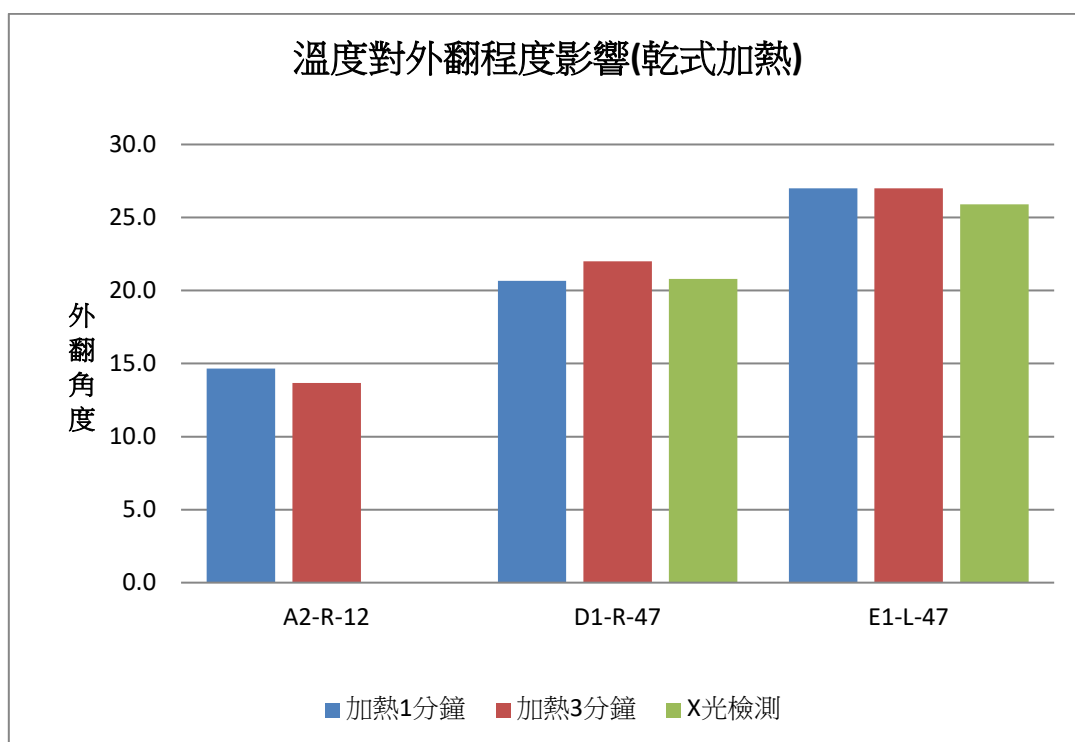


圖67 比較乾式加熱是否會影響外翻角度測量

1. 腳浸泡在不同溫度水溫（濕式）1分鐘後，對於外翻角度影響差異不大。
2. 利用吹風機加熱（乾式）1分鐘及三分鐘後，對於外翻角度影響差異不大。
3. 利用外在溫度使足部加熱對於外翻程度影響不大。

陸、討論

1. 如何確認自製檢測器裝置能正確量測拇趾外翻角度？我們的做法是請有拇趾外翻的家人至醫院拍攝 X 光片，再進行比對。如果檢測數值接近 X 光就表示越正確，另外穩定性也是我們重要的參考依據，每次檢測數據是否差異太大並多次確認。另外，相同的檢測器會找不同人來操作，避免先入為主，實現假設驗證的心理。
2. 量測過程中，測量板是否平行蹠骨是很重要的事，每次檢測時要先找到大拇趾與第一蹠骨交接處進行定位，側板再平行靠上，為了避免側邊凹陷或凸出導致角度偏移，側板不宜太長以不超越腳跟為原則。
3. 利用電阻轉換成角度是我們在製作過程中很重大的突破點，然而電阻值的兩端卻未呈現線性，這是我們一開始沒有想到的。本研究中我們採用同一款可變電阻，因為它們的電阻與電壓的線性比例都一樣。不同款可變電阻可能會因電阻與電壓的線性比例不同，因此套用的角度轉換公式也要稍微改變。
4. 足底畫圖法及一般角度尺雖然成本較低，但所測量出來的結果，不只與臨床診斷(X 光)結果差距大，且差異穩定性也不佳，雖然微控制檢測器需增加成本，但檢測器是針對拇趾外翻角度設計的模組化機器，操作方便也能達到準確性的目的，且一片 Arduino nano 加上 OLED 顯示器，價錢並不超過 300 塊錢，因 Arduino 是可程式控制器，由於是模組化設計，我們可以因應其它需求更新功能，增加藍芽接收使數據資訊化，可長期記錄追蹤量測情形，況且產品商品化後透過量產設計，成本可以更低，所以其效益其實不會低！
5. 自製拇趾外翻角度檢測器的限制？臨床上，量測拇趾外翻程度的依據除了量測第一趾骨和第一蹠骨的角度外(HV)還有第一蹠骨和第二趾骨間的角度(IMA)，但 IMA 是需要利用 X 光才能得知骨骼位置才能測量，並不是從外觀變化能看出來的，因此我們的儀器主要以 HV(拇趾外翻角度)所測出來的角度為主，如果真正到達開刀程度還是需以 X 光檢測，因此，我們將自製拇趾外翻角度檢測器定位在自我防護及臨床前的檢測。我們的儀器雖然無法完全取代 X 光攝影的功能，但檢測器顯示的度數跟 X 光所檢測出來的結果相差不大，希望能給大眾在家或者診所內做初步的檢測，針對症狀不嚴重、不需要手術、不需要疼痛藥物的患者可以省去就醫的耗時與花費與減少不必要的 X 光暴露。
6. 為何自我檢測拇趾外翻角度很重要？糖尿病和高血壓是我們耳熟能詳的慢性病，大家都知道每日監控血糖和血壓的重要性。根據國民健康署的統計，成年人糖尿病的盛行率為 11.8%，成年人高血壓的盛行率為 25.16%，我們在這裡探討的拇趾外翻竟然也高達 23% 的成人會發生，但卻都被忽略了。拇趾外翻患者的症狀，輕者疼痛、重者步態不穩或行走困難需要手術，它算是足部骨頭最常見的慢性病，如果從年輕就清楚自己腳趾骨頭的狀況，知道預防保健，或許可以改變未來。在這裡設計的拇趾外翻檢測器或許可以提供給大眾隨時了解自己的"腳度"是否偏了。

柒、結論

1. 坊間的自我檢測方式雖然簡便，但誤差大，穩定性及正確性皆不高。
2. 我們從起初的利用蹠骨延長板的發想，利用電阻轉換角度的突破，進而以微控制器進行電位差轉換測量等，歷經了各代的研究，完成了操作方便，效能高的**微控制拇趾外翻角度檢測器(Microcontrolled Detector for Hallux Valgus Angle(MDHVA))**。
3. **微控制拇趾外翻角度檢測器**主要利用電阻轉換電位差，進而計算出角度，這個發想是我們的創意，相較於其他檢測方式有方便、快速、成本低、準確性佳的優點(表 2)，且附加警示燈的顯示，使大眾能更直觀了解自身拇趾外翻的程度，最重要的是不需要依賴專業人員，操作簡易、容易判讀，幾乎人人皆可使用及辨識。

表 2 第四代作品與其他檢測方法比較

測量方法 優點	X 光測量	足底畫圖法	一般角度尺測量法	數位角度尺測量法	MDHVA 
時間	★	★★	★★★★★	★★★★	★★★★★ 
精確性	 ★★★★★	★	★	★	★★★★★
成本	★	 ★★★★★	★★★★★	★★	★★★★★
操作及辨識方便性	★	★★	★★	★★	★★★★★ 
專業人員操作	需要	不需要	不需要	不需要	不需要
最佳★★★★★ ~ 最差★					

歸納我們自製的微控制拇趾外翻角度檢測器作品傑出特性與創意特質有：

- (1). **準確性佳。**
 - (2). **提供快速簡單且方便的檢測方法。**
 - (3). **具警示燈可立即了解嚴重程度。**
 - (4). **不限專業人員檢測。**
 - (5). **價格不昂貴。**
 - (6). **達到自我檢測、事先預防。**
 - (7). **增加藍芽模組，配合 APP 將拇趾外翻角度數據資訊化，提供長期追蹤功效。**
4. 加熱 40 度以下，不會影響自製 MDHVA 檢測出的外翻角度，平時使用時不用擔心溫度會影響檢測結果。

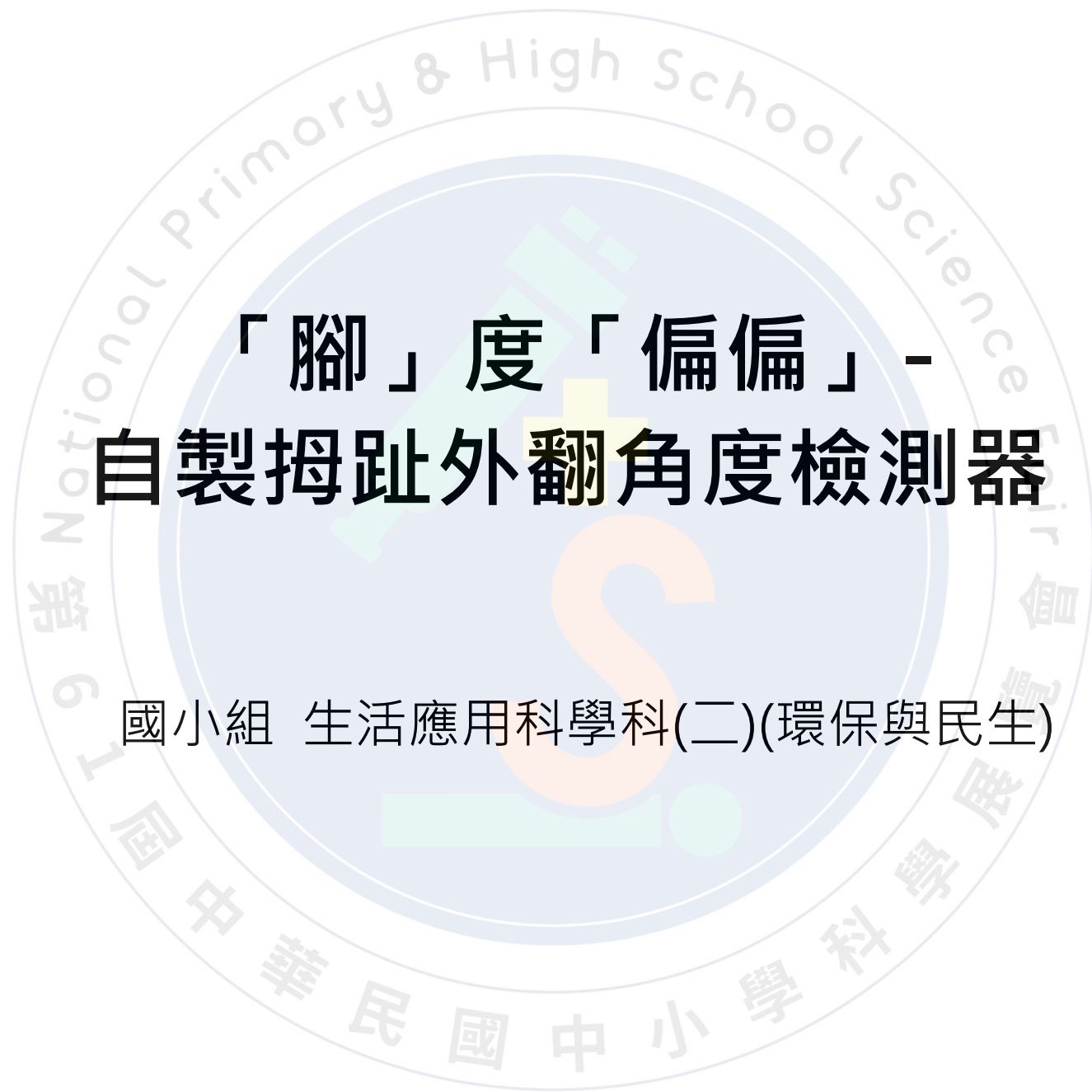
捌、參考文獻資料

1. 宛家禾（2016年9月21日）。拇趾外翻不是因為穿錯鞋子 不開刀兩招有解。康健雜誌。取自：<https://www.commonhealth.com.tw/article/73102>
2. 全面剖析『拇趾外翻』的原因/定義/解法。阿舟物理治療小教室。取自：<https://jhouphysionews.com/%e5%85%a8%e9%9d%a2%e5%89%96%e6%9e%90%e3%80%8e%e6%8b%87%e6%8c%87%e5%a4%96%e7%bf%bb%e3%80%8f%e7%9a%84%e5%8e%9f%e5%9b%a0-%e5%ae%9a%e7%be%a9-%e8%a7%a3%e6%b3%95/>
3. 拇趾外翻。林口長庚醫學中心骨科部 取自：https://www1.cgmh.org.tw/intr/intr2/c3270/F/C/C14_%E6%8B%87%E8%B6%BE%E5%A4%96%E7%BF%BB.pdf
4. 台北榮民總醫院骨科部 王建順醫師。認識足部拇趾外翻與治療。癌症新探87期 取自：<http://web.tccf.org.tw/lib/addon.php?act=post&id=4422>
5. 拇趾外翻自我檢測 | 我這樣拇趾外翻需要開刀嗎？一張紙畫出你拇趾外翻的嚴重程度。取自：<https://www.youtube.com/watch?v=txE3stN6w7U>
6. 《Arduino入門》第一篇：認識Arduino (2021年2月5日)。取自 <https://blog.jmaker.com.tw/arduino-tutorials-1/>
7. HONG Y.等人 (2011).Gender differences in foot shape: a study of Chinese young adults.Sports Biomechanics ,10(2): 85-97
8. Mixly 簡介。(2021年5月5日)取自 https://mixly.readthedocs.io/zh_CN/latest/basic/01Mixly_introduction.html
9. 陳會安（2019）。App Inventor 2 程式設計與應用（3版）。臺北市：全華圖書。

【評語】 082923

這是一個由生活觀察發想的實驗，由常觀察到拇趾外翻，進而發想設計，操作方便且簡單辨識的微控制檢測器，從前端問題探討、測量儀器由簡到繁的設計製作，到具有應用價值的成品產出，一直到藍芽模組產出，是一個非常成熟且完整的作品。X光片屬於醫療資料，使用上應該清楚說明資料來源及使用同意。

作品簡報

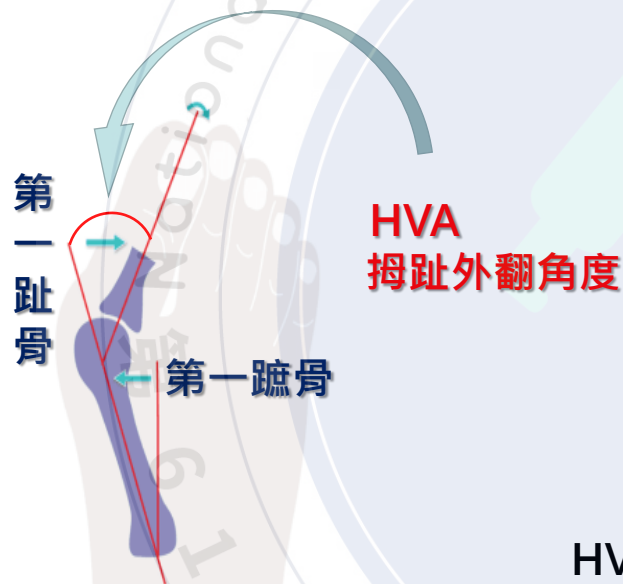


「腳」度「偏偏」 - 自製拇趾外翻角度檢測器

國小組 生活應用科學科(二)(環保與民生)

動機與目的

- 全球拇趾外翻的盛行率高，成人達23%，常被忽略
- 坊間自我檢測方法穩定性及精準性不高
- 製作效能高自我檢測裝置：早期偵測、追蹤、延緩惡化



圖(1)拇趾外翻角度



圖(2)拇趾外翻嚴重程度分級

節錄自：
阿舟物理治療小教室

目的

確認坊間方法

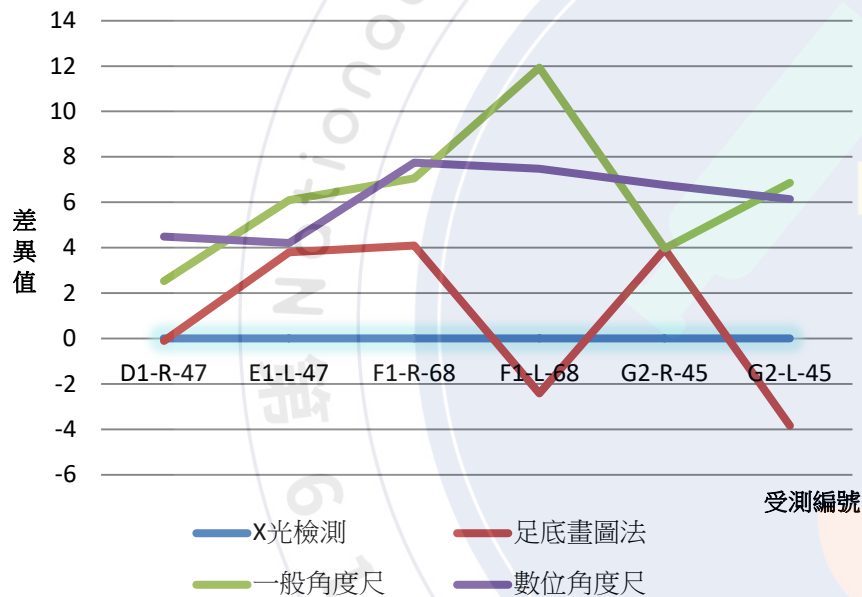
各階段
設計構思

完成自製
拇趾外翻角度檢測器

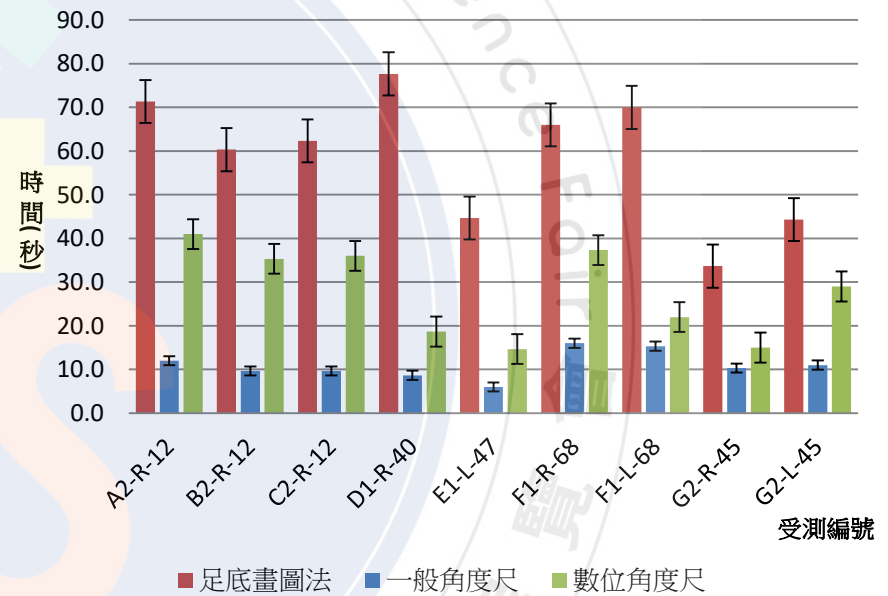
自製檢測器
數據資訊化

確認目標-比較坊間自我檢測方法的效能

- 受測四位成人
- 與X光比對精準性(皆經過醫師診斷)



圖(3)穩定性及精準度比較

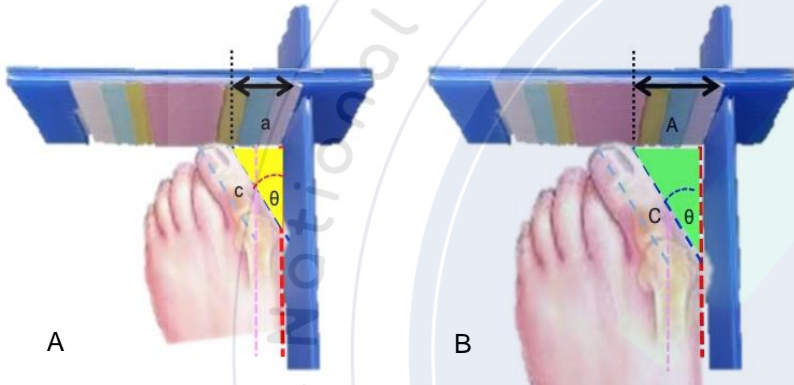


圖(4)檢測坊間方法所需花費時間

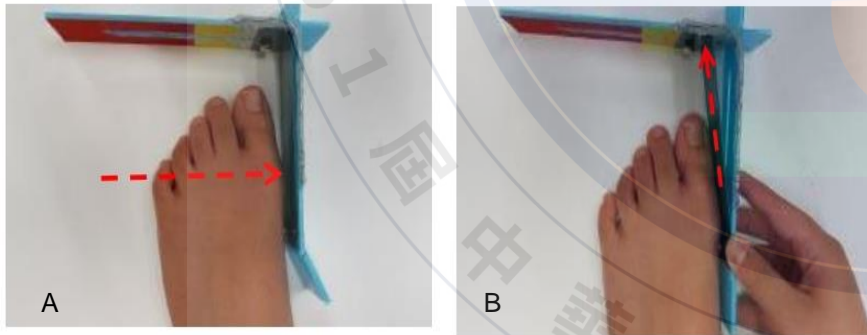
- 描繪方式：耗費時間至少需60秒，差異角度(+4~-4)
- 一般角度尺：量測不方便，差異角度(2~12)
- 數位角度尺：操作步驟繁雜，價格高，差異角度(4~6)

探究1-蹠骨延長法

- 角度對應邊長、量測簡易
- 需注意定位



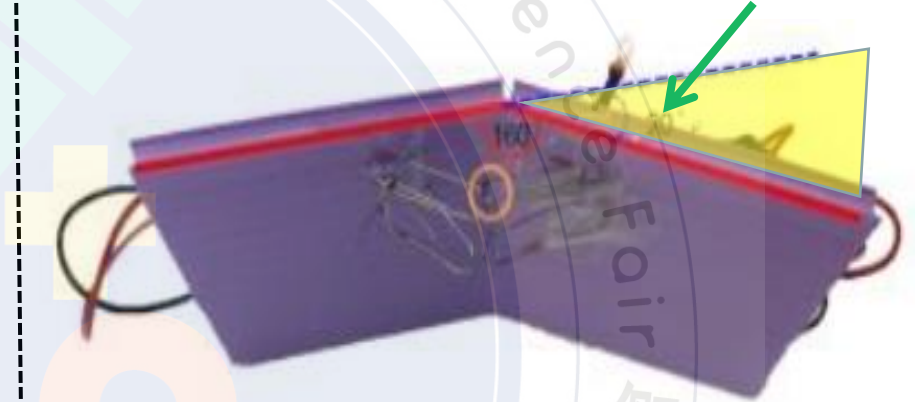
圖(5)大拇趾長短影響對應長度



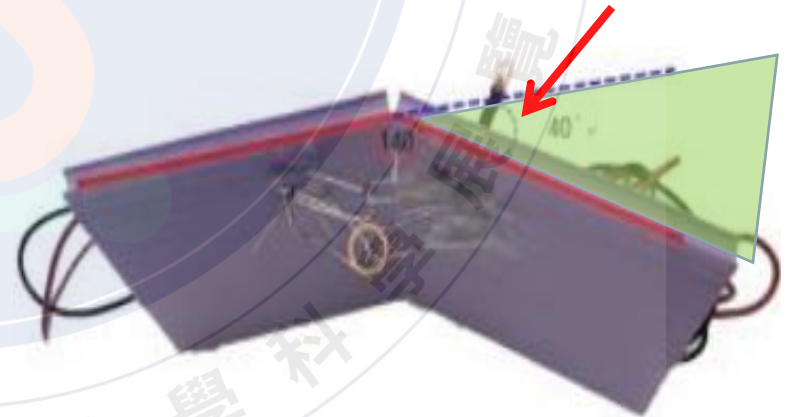
圖(6)增設延長板，定位量測

探究2-足邊量測法第一代

- 固定角度、直接判讀嚴重程度
- 缺乏精確的數值



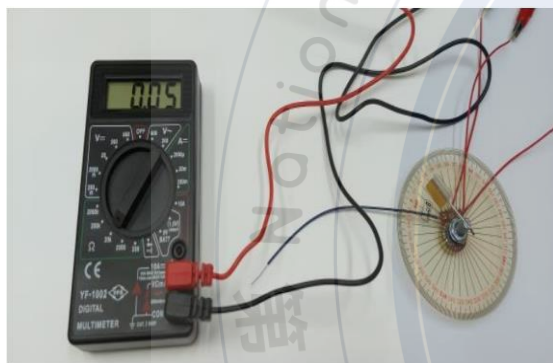
圖(7)外翻角度達到20度時，燈泡亮



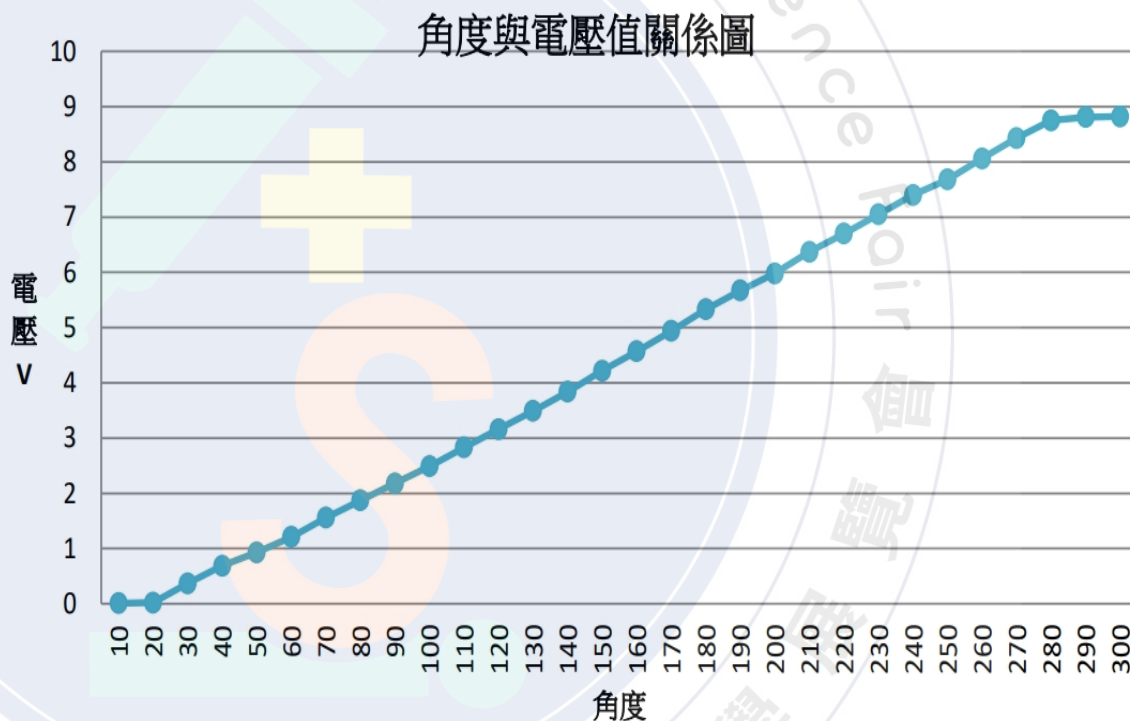
圖(8)外翻角度達到40度，蜂鳴器響

探究3-足邊測量法第一代改善

- 可變電阻角度改變 \longleftrightarrow 電壓值改變
- 釐清可變電阻轉動的角度與電壓值是否呈現線性關係



圖(9)每10度轉動，記錄角度與電壓值



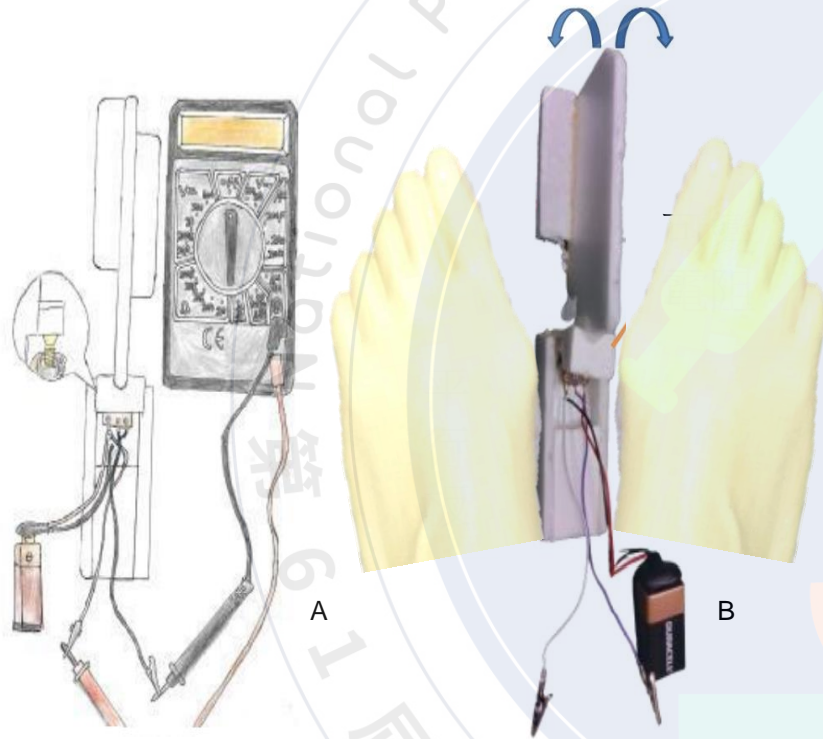
圖(10) 旋轉角度與電壓值呈線性關係

- 角度20度~280度間與電壓值呈現線性關係
- 角度與電壓的線性變化關係：0.035 伏特 / 度

探究3-足邊測量法-結合電阻與量測板

珍珠板-足邊測量法第二代

3D列印板-足邊測量法第三代



圖(11)A:轉動角度量測電壓，B:量板結構



圖(12)C:轉動在兩板中心，D:量板結構

操作流程

足邊緊貼平行板

轉動量測板

讀取電壓值

換算角度

探究4-第四代微控制電位差測量

操作



1. 按壓開關、打開電源

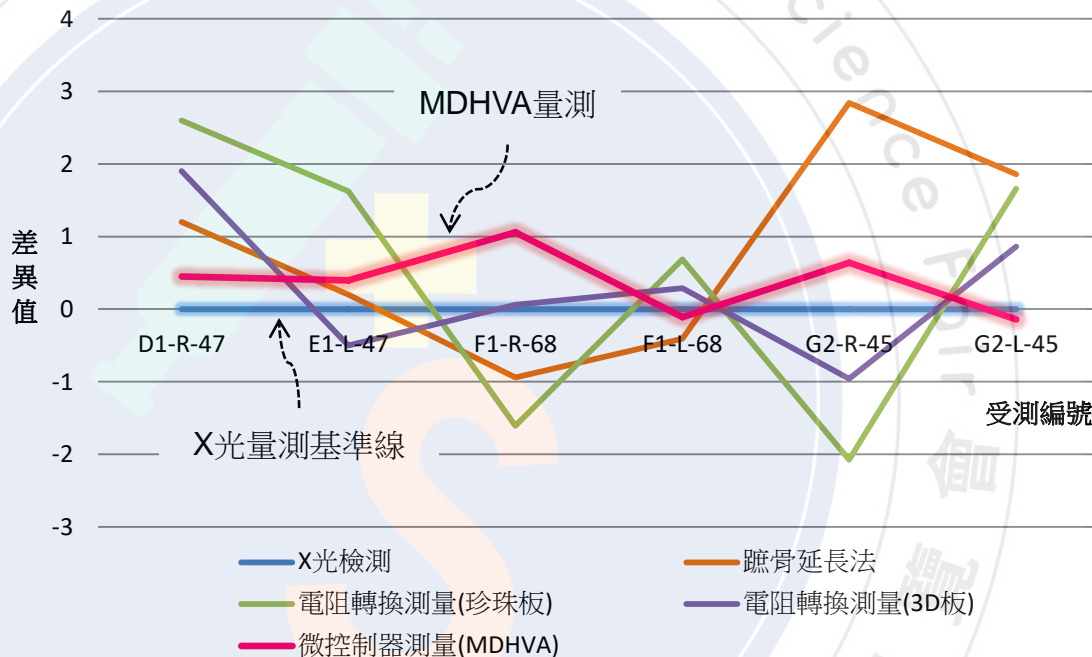


2. 測量板平貼於足部內側



3. 度數顯示於螢幕上同時亮起警示燈號

結果



圖(16) 各代檢測器精準性比較

- 操作簡易，5秒內完成
- 精準性佳，穩定性佳
- 方便說明：微控制拇趾外翻角度檢測器 (Microcontrolled Detector for Hallux Valgus Angle(MDHVA))

探究5-提升微控制電位差測量效能(MDHVA⁺)

- 數據資訊化+追蹤
- Arduino+藍芽模組+App Inventor自製App+google表單

進入App
填寫資料

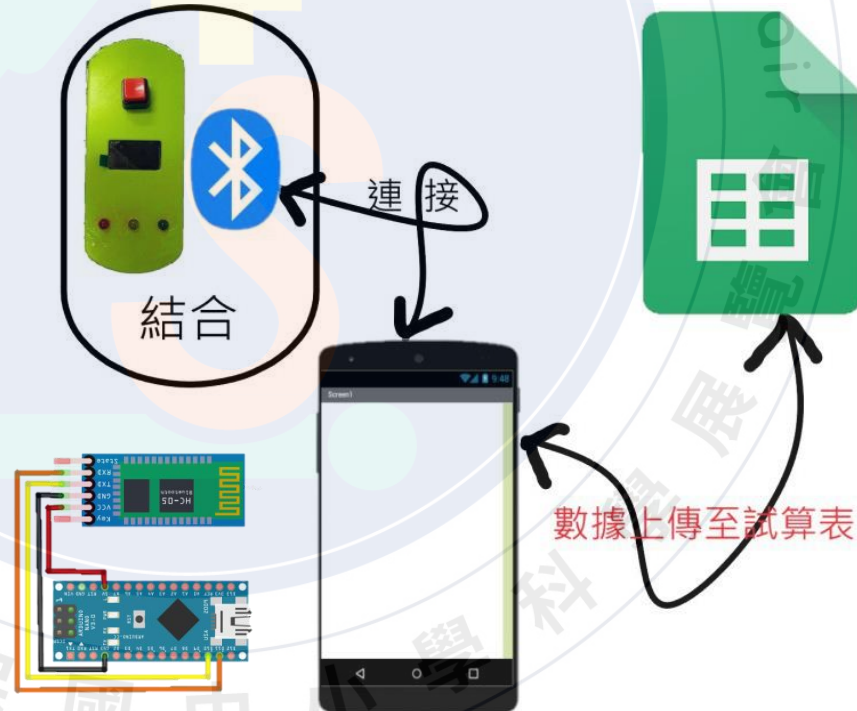
連接藍芽
HC06B

量測
外翻角度

讀取數值上傳
表單



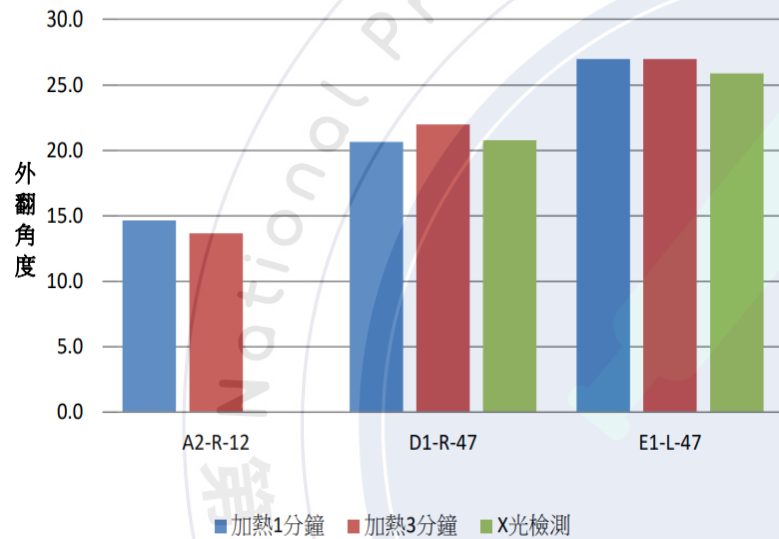
圖(17) 量測數據資訊化操作



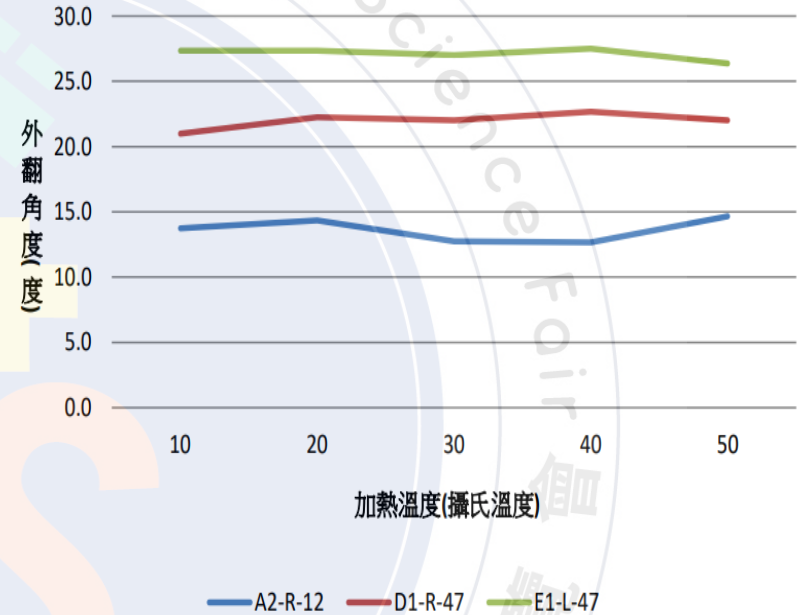
圖(18) 量測數據資訊化架構

探究6-確認溫度對量測結果的影響

■ MDHVA是否因足部受熱膨脹影響檢測數據？



圖(19) 乾式加熱對檢測數據的影響程度



圖(20) 濕式加熱對檢測數據的影響程度



圖(21) 乾式加熱實驗過程

- 檢測數據差異不大
- MDHVA不受溫度改變(40度以內)影響

結論

測量方法 優點	X光測量 (臨床)	足底畫圖法	一般角度尺	數位角度尺	MDHVA ⁺
時間	★	★★	★★★★★	★★★★	★★★★★★
精確性	★★★★★★	★	★	★	★★★★★
成本	★	★★★★★★	★★★★★	★★★	★★★★★
操作及辨識方 便性	★	★★	★★	★★	★★★★★★
專業人員操作	需要	不需要	不需要	不需要	不需要
數據資訊化追 蹤功能	無	無	無	無	能上傳至表單 做長期紀錄
最佳★★★★★★ ~ 最差★					

未來展望

- 提升民眾自我防護預防拇趾外翻加劇的意識。
- 除居家檢測外，也能提供鞋店、醫護人員使用。
- 顯示主體整合測量板，將體積再縮小。
- 收集大數據針對性別、職業等進行深入探究。
- 增加多功能模組，如：血壓、心跳、血氧的量測等.....。

參考資料

- 李曜舟(阿舟)，全面剖析『拇趾外翻』的原因/定義/解法，取自網站阿舟物理治療小教室。
- 宛家禾，拇趾外翻不是因為穿錯鞋子 不開刀兩招有解，康健雜誌，2016年9月21日。
- 拇趾外翻，林口長庚醫學中心骨科部，取自：
https://www1.cgmh.org.tw/intr/intr2/c3270/F/C/C14_拇趾外翻.pdf
- HONG Y.等人，Gender differences in foot shape: a study of Chinese young adults，Sports Biomechanics,10(2): 85-97。