

2-10 使用榔頭之工作模式研究

林合懿(2001)對於榔頭用於擊釘作業時的工作模式，以肌電訊號分析的方式來探討。其實驗分為兩個部分，受測者有四名，分別為二位男性與二位女性，均為有三年使用榔頭的經驗。實驗一主要比較四條與打擊作業相關肌肉的肌電訊號的百分比，分別是肱三頭肌、橈側屈腕肌、尺側屈腕肌、尺側伸腕肌，結果發現手臂施力肌群大小排序分別為肱三頭肌、尺側屈腕肌、橈側屈腕肌、尺側伸腕肌。其將百分比最小的尺側伸腕肌排除在第二個實驗的檢測之外，而第二個實驗則是以工作模式的研究為主，探討肌肉工作的限度與最佳的休息模式。從肌電訊號的百分比關係中發現，小肌肉如橈側屈腕肌與尺側屈腕肌，在長時間連續的工作，會逐漸疲累且降低其施力的百分比，而肱三頭肌的負荷也相對變高。而最佳的打擊速度是每分鐘 6 支鐵釘(2 吋釘為例)，並在連續敲擊 30 根鐵釘之後，配合三分鐘的休息。

本研究主要討論以榔頭握柄彎曲角度以及重心位置的改變，對於擊釘作業之影響，在擊釘作業績效的測量上，將會承襲林和懿的方式，以肌電訊號百分比的分析來探討各變因樣本之優劣，唯在測量的肌肉上，會因為涉及舒適與專家姿勢指標的建立，而作重新的實驗評估及訂定。

2-11 小結

在榔頭設計的相關研究中，多以握柄角度為研究之變因，而彎柄的榔頭(握柄向鏈面方向彎曲)，在各項評估的指標中，均較一般的直柄榔頭優越，然而各研究所使用之彎柄榔頭的角度，在變化的間距並不一致，且彎曲的方向均朝向鏈面的方向；而反方向的彎曲，並沒有相關的研究。再者各研究評估的方法不一，因此在文獻的歸納中很難下定論，歸納出最優良的角度。而值得提出討論的是，Schoenmarklin 的研究中指出，直柄的榔頭較彎柄的榔頭造成的橈偏小，而造成

的尺偏較大，並隨角度增加，兩項影響相互消長。但此研究也未探討握柄向鏈面反向彎曲的榔頭，若以其結果推論，則握柄反向彎曲的榔頭可能造成更少的饒偏及更大的尺偏，其對舒適度的影響，則值得更進一步研究。在榔頭重心方面，只有 Konz 提到榔頭重心的問題，但並未做系統化之研究。因此，本研究希望在實驗中，探討角度與重心的交互影響，在角度方面，則增加與榔頭鏈面反向的握柄彎角度；而重心方面，則以本研究之研究對象-Plumb 羊角鏈為對照組，並製作重心向手把移動的實驗組榔頭，以探討重心對於使用者的影響。而評估的效標方面，各研究所使用的標準不同，Knowlton 以量測整釘作業時，手腕橈、尺偏的程度，以及握力的衰減。而 Konz 則以受測者主觀量表，做為評判榔頭樣本的優劣。Schoenmarklin 以 EMG 量測手部肌肉狀況，了解疲勞的程度，以比較實驗樣本。由於握力的衰減與肌肉的疲勞度，必須以較長時間的工作之後才能看出，對於本實驗的大量樣本，且樣本間的變化間距不大，可能較不適合，因此本研究以 EMG 儀直接量測受測者肌肉施力方式的改變，以評估樣本間的差異。



第三章 擊釘作業前臂肌力負擔分佈實驗

上章文獻探討中提及，林合懿(2001)的研究已經做過對於前臂與上臂之間施力分佈的探討，但其對於前臂中不同的肌肉施力分佈，並未做詳細的比較分析，因此本實驗著重於探討前臂中，四條控制手腕運動的主要肌肉，在使用榔頭做敲擊鐵釘的動作時，個別承受負擔之百分比值，以了解擊釘作業時，前臂相關肌群的施力狀況。受測的四條肌肉分別為橈側屈腕肌、尺側屈腕肌、橈側伸腕肌、尺側伸腕肌。此四條肌肉可分為伸腕肌與屈腕肌兩組肌肉群，屈腕肌負責手臂向內屈曲；而伸腕肌負責手腕向外伸展。此部份的實驗目的，就是在兩組功能類似且位置相近的肌群中，各剔除一條在擊釘作業中，負擔較小的肌肉，使得後續實驗中肌電變化之觀察，能夠避免干擾而更容易分析。

3-1 實驗儀器與材料

本實驗所使用的實驗儀器，可分為以下幾個部份：(1) 擊釘作業之鐵釘與木材等實驗耗材。(2) 執行擊釘作業用之榔頭與工作檯面。(3) 記錄與分析肌電圖訊號的肌電圖儀與電腦軟硬體設備。詳細說明如下：

(1) 擊釘作業之鐵釘與木材等實驗耗材

擊釘作業使用 1.5 吋鐵釘(圖 3-2)，為一般最常用的長度，以模擬工作場合擊釘工作。在實驗中將一根鐵釘完全擊入木條中，就算完成一次擊釘作業，作為定量工作的單位。



圖 3-2 實驗耗材-鐵釘

鐵釘

材 質：鐵

尺 寸：1.5 吋

柳安木條(圖 3-3)用來模擬木工場所的擊釘作業物，受測者將依一定的間隔，把鐵釘擊入此木條內。在實驗中將此一批的柳安木條，視為質量、硬度均勻之木料，因此將每根鐵釘釘入所費的功相同，可視為定量之工作。



圖 3-3 實驗耗材-柳安木條

柳安木

規 格：柳安實木方條

尺 寸：2 吋*2 吋*1.5 呎

(2) 實驗用之榔頭與工作檯面

本實驗所使用的榔頭，是海崴公司所生產的 **Plumb** 系列一體成形羊角鎚，在 16、20、22、28 盎司四種規格中，選定 20 盎司為本實驗的樣本(圖 3-4)。



一體成形羊角鎚

廠 牌：海崴

型 號：Plumb

重 量：20 盎司

尺 寸：350*145 mm

圖 3-4 實驗所用之 Plumb 系列 20 盎司榔頭

打擊檯面為實心木材做成之工作平臺(圖 3-5)，可承受榔頭擊釘時的猛烈撞擊。其作業面的高度距離地面約 135 公分，此高度為一般木工工作室中工作檯面的高度，大致可以模擬一般木工的工作情形。使用時將柳安木條置於桌面上，受測者以一手固定木條，另一手持榔頭敲擊鐵釘。



擊釘作業用工作檯面

材 質：原木

尺 寸：135*56*85cm

圖 3-5 擊釘作業工作檯

(3)肌電圖儀與電腦軟硬體設備

肌電圖儀在本實驗中，負責將人體皮膚表面所傳出之肌電訊號，由類比形式轉為數位的形式，並以積分法分析之後，輸出到電腦硬碟中儲存，以作進一步的統計分析。本實驗所使用的肌電圖儀為 **noraxon** 公司所生產的，型號為 **MIO SYSTEM 1200**(圖 3-7)，最多支援 8 個肌電訊號的接收頻道，有兩個通道分別可以接上四個電極，以量測肌電訊號。



肌電圖儀

廠 牌：noraxon

型 號：MIO SYSTEM 1200

主要規格：8channel 肌電圖訊號記錄分析

圖 3-7 實驗設備-肌電圖儀

本實驗以肌電圖儀連接受測部位，將接收到肌電訊號轉化為數位數值之訊號，並以電腦配合統計軟體，做進一步統計分析。本研究室所使用的電腦以 **Intel pentium4** 微處理器為其中央處理器，搭配 **512MB** 的記憶體以及 **80GB** 的硬碟空間(圖 3-8)，能有效率地作實驗相關的計算與分析。



個人電腦

主要規格：

Intel pentiumVI 微處理器

圖 3-8 實驗設備-電腦

在統計分析用的電腦軟體方面，主要為微軟的 **Excel** 等軟體，分別做平均數、標準差、以及多變量的的相關分析等。

3-2 實驗程序

實驗中共有 5 受測者，其中 3 位屬於一般 DIY 族群，另外兩位則是常使用榔頭的專業受測者。實驗過程中讓受測者完成指定的擊釘作業，同時以肌電圖儀量測並計算前臂四條肌肉，在工作中個別施力時所測得 EMG 的百分比值，四條肌肉分別是橈側伸腕肌與尺側伸腕肌，為負責手腕提起榔頭的伸肌，以及橈側屈腕肌與尺側屈腕肌，為負責手腕將榔頭向下揮擊的屈肌。收集 EMG 資料之後，以統計軟體將數據加以分析，在伸肌與屈肌群中，各找出一條在擊釘作業中負荷較大的肌肉，作為後面階段實驗中，手臂上揚與下擊動作中，前臂肌肉測量檢定的對象。

本實驗詳細的執行程序如下：

- 一、裝設好完整的實驗儀器設備。
- 二、對受測者充分說明實驗作業的目的與過程，並示範榔頭的標準打擊動作，以利受測者熟悉榔頭的使用模式。
- 三、將受測者之肌電量測肌群部位之表皮，以酒精棉布擦拭，一方面清潔受測者的皮膚以利黏貼感測器，一方面降低皮膚表面的雜訊電位。
- 四、將電極片貼於受測者要被量測之部位肌群，正負兩電極片間之距離為三公分，且位於該受測肌肉最寬的部位，也就是『肌腹』的位置。四組電極的位置分別如圖 3-9 到 3-11 所示的肌群位置。圖 3-9 中 E1 為連接橈側伸腕肌之電極片；圖 3-10 中 E2 為連接尺側伸腕肌之電極片、EL 為接地參考電極(land)，作為零電位差之參考電位。圖 3-11 中 E3 電極連接橈側屈腕肌；E4 電極則連接尺側屈腕肌。



圖 3-9 肌力分佈實驗之肌電測量電極 E1 黏貼位置

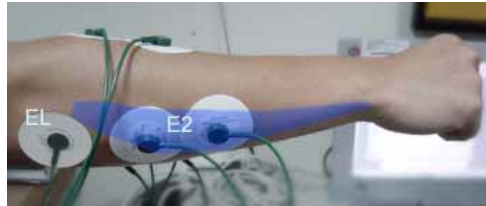


圖 3-10 肌力分佈實驗之肌電測量電極 E2、EL 黏貼位置

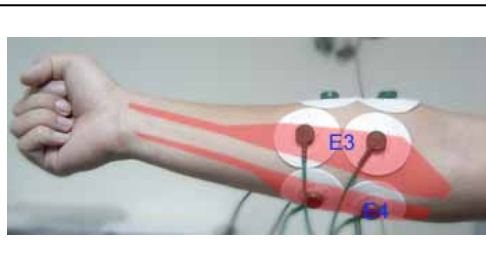


圖 3-11 肌力分佈實驗之肌電測量電極 E3、E4 黏貼位置

五、要求受測者取 1 根 1.5 吋鐵釘，以 22 盎司重之 **plumb** 榔頭將釘子完全釘入木頭中，同時間記錄受測肌群發出之肌電訊號，以及完成工作之時間。

六、在不限定時間的狀況下，重複步驟五，直到受測者將 10 根釘子都擊入木頭為止。

七、完成一位受測者實驗，整理其肌電圖資料。

八、重複二到七步驟，進行下一位受測者實驗，直到 5 位受測者都完成實驗。

九、針對所得資料進行統計分析。

3-3 實驗結果討論

此實驗分別對五位受測者進行擊釘測試與肌電測量，包含經常使用者 2 人，以及一般使用者 3 人。四條受測肌肉中，掌管手腕向外伸展的伸肌分別為橈側伸腕肌和尺側伸腕肌；而掌管手腕向內彎屈的屈肌分別是橈側屈腕肌和尺側屈腕肌。這兩者是功能相反的兩對肌肉群，其主要肌電激發的時間點，分別對應將榔頭抬起與向下擊的兩個動作，也就是揮動榔頭最主要的兩個動作。以統計軟體將各肌肉所對應之百分比，計算其平均值與標準差，同時比較經常使用者與一般使用者之間的差異，以下將統計後的資料列於表 3-1，從表中可以發現各肌群施力分佈百分比的標準差不大，可解釋為專業使用者與一般 DIY 族群，有相似的趨勢；在向上抬舉的過程中，施力比例最高的是橈側伸腕肌，平均是 50.6%，也是四條肌肉中比例最高的；而在將榔頭向下揮擊的過程當中，以尺側屈腕肌所佔的施力比例最高，為 22.6%。

表 3-1 一階段前測實驗臂肌肉施力分佈平均直條圖

	橈側伸腕肌	尺側伸腕肌	橈側屈腕肌	尺側屈腕肌
1	56	6	26	12
2	45	13	22	20
3	54	5	25	16
4	52	8	21	19
5	46	12	19	23
平均	50.6	8.8	22.6	18
標準差	4.87	3.56	2.88	4.18

利用統計軟體(SPSS)將各受測者四條肌肉所負擔之比例，計算其相關係數，並將其相關矩陣製成表 3-2：

表 3-2 擊釘作業時前臂肌肉施力相關統計

相關					
		橈側伸腕	尺側伸腕	尺側屈腕	橈側屈腕
橈側伸腕	Pearson 相關	1.000	-.969**	-.882*	.786
	顯著性 (雙尾)	.	.006	.048	.115
	個數	5	5	5	5
尺側伸腕	Pearson 相關	-.969**	1.000	.805	-.765
	顯著性 (雙尾)	.006	.	.100	.132
	個數	5	5	5	5
尺側屈腕	Pearson 相關	-.882*	.805	1.000	-.954*
	顯著性 (雙尾)	.048	.100	.	.012
	個數	5	5	5	5
橈側屈腕	Pearson 相關	.786	-.765	-.954*	1.000
	顯著性 (雙尾)	.115	.132	.012	.
	個數	5	5	5	5

**. 在顯著水準為0.01時 (雙尾)，相關顯著。
*. 在顯著水準為0.05 時 (雙尾)，相關顯著。

由表中可知雙尾顯著水準為 0.05 時，橈側伸腕肌與尺側伸腕肌有顯著負相關，橈側屈腕肌與尺側屈腕肌也有顯著負相關；也就是當其中一塊肌肉施力比例增加時，與其有負相關的另一塊肌肉的施力的比例就會相對減少；然而呈負相關的兩對肌肉中均為相同功能的兩條肌肉，如橈側伸腕肌與尺側伸腕肌負責手腕的提起動作，而橈側屈腕肌與尺側屈腕肌負責手腕向下揮動的施力。配合表 3-1 可以解釋揮動榔頭的過程中，橈側伸腕肌與尺側伸腕肌在將榔頭提起的動作中，施力分配會有相互的消長作用而達到總輸出的平衡，但從施力百分比平均來看，則以橈側伸腕肌的負荷量較大；橈側屈腕肌與尺側屈腕肌在將榔頭向下揮擊的動作中，也會有相互消長的分配作用，但以橈側屈腕肌負擔的施力比例較高。

由於兩對肌肉工作的同質性，且兩對肌肉中都有一條肌肉的施力百分，比明顯較另一條同作用的肌肉高，因此在之後的實驗中，前臂的肌肉施力分析，將以橈側屈腕肌與橈側伸腕肌為量測的對象。而在上臂的部分，由於影響前臂揮動的肌肉只有肱二頭肌與肱三頭肌，分別代表手臂提起之動作，以及將手臂向下揮之動作，因此在之後的實驗中，將以肱二頭肌與肱三頭肌的收縮，來觀察前臂揮動時肌肉之收縮的狀態。

第四章 擊釘作業上臂與前臂施力分佈與動作分析

由先前的文獻探討中，了解人體骨骼肌中，通常大肌群的負荷能力以及耐力，都較小肌群強，所以許多運動均以大肌肉來完成主要的動作。在專業的建築工人揮擊榔頭的過程中，主要以上臂中的肱三頭肌來帶動手臂，因此能發揮較好的效率，也比較不易疲勞(林合懿，2002)。然而在本研究非正式的儀器測試中，發現一般的使用者在揮擊榔頭的過程中，以橈側伸腕肌的負擔最大，且工作後酸痛的部位也與建築工人不同。由於本研究以一般 DIY 族群專用榔頭研究出表，有必要針對一般使用者與專業使用者的工作模式，進行相關的研究，以了解其差異，並提出評估改善一般 DIY 族群使用效果的關鍵因素。因此本實驗設計中，將以觀察兩使用族群工作模式的差異為主要目標。

此實驗的受測者有一般不常使用榔頭的 DIY 族群，與經常使用榔頭的專業使用者。利用肌電訊號的檢測，了解兩個族群在揮動榔頭敲打釘子的過程中，手臂上四條受測的肌肉，也就是橈側屈腕肌、橈側伸腕肌、肱二頭肌與肱三頭肌，在施力的分配上，是否有顯著的差異。藉此了解這兩個使用族群在工作時姿勢的差異，及其影響績效與肌肉疲累的程度，並提供下一階段實驗中，定義專業使用者姿勢的指標。

受測者共有 4 位，分別為 2 個經常使用榔頭的專業族群；其定義為持續超過 3 個月以上的時間中，一周使用榔頭超過 5 次，每次使用超過 30 分鐘以上者。另外兩名為不常使用榔頭的一般受測者，也就是之前本研究定義之一般使用者，代表 DIY 族群。

實驗的設計為，讓專業與一般兩組受測者，分別完成指定的擊釘作業，同時以肌電圖儀測量手臂上四條肌肉施力的百分比，再透過統計軟體分析，了解兩組受測者各受測肌肉在施力分佈的差異。

4-1 實驗設備

本實驗所使用之器材大致與上一實驗相同，於此不再贅述，唯實驗中必須記錄一般 DIY 族群與專業使用者，在擊釘姿勢上的差異，因此本研究以 SONY DSC-P9 數位相機(圖 4-1)的動態攝影功能作影像記錄，其搭配 128MB 記憶體，能連續錄製 30 分鐘 100 萬像素的影像，可像完整記錄受測者在姿勢上的變化，並加以分析。拍攝動態畫面時，以三腳架將相機固定於離地約 150 公分的高度，位置約在受測者右後約 45 度、距離 2.5 公尺的位置，記錄的時間為整個擊釘作業的過程。



圖 4-1 SONY DSC-P9 數位照相機

廠 牌：Sony 數位照相機
機 型：DSC-P9
重 量：176.5 g / 205.5 g
尺 寸：114x 51.5 x 35.8 mm
主要規格：410 萬像素
動態錄影時間：視記憶體大小

4-2 實驗程序

此部份的實驗步驟如下：

- 一、將實驗儀器設備裝置妥當。
- 二、將實驗作業目的、過程對受測者充分說明。並將榔頭標準打擊動作示範，以利受測者熟悉榔頭的使用。
- 三、將受測者之肌電測量肌群部位以酒精擦拭，一方面清潔受測者的皮膚以利黏貼感測器，一方面降低皮膚表面的雜訊電位。
- 四、將電極片貼於受測者之量測部位肌群，兩電極片間之距離為三公分。圖 4-2、4-3 顯示各測量電極位置：E1(橈側伸腕肌)、E2(橈側屈腕肌)、E3(肱

三頭肌)、E4(肱二頭肌)、EL(接地電極)。

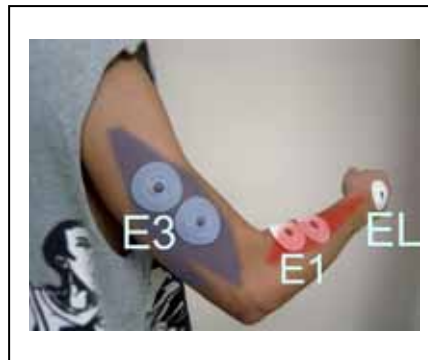


圖 4-2 上臂與前臂施力比較實驗肌電量測電極 E1、E3、EL 黏貼處

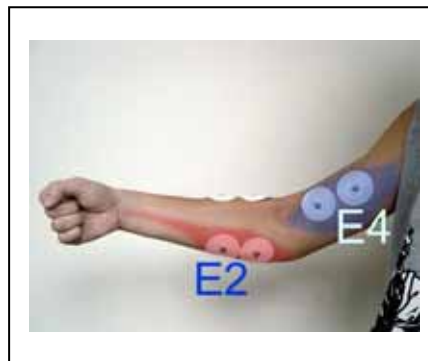


圖 4-3 上臂與前臂施力比較實驗肌電量測電極 E2、E4 黏貼處

五、要求受測者取 1 根 1.5 吋釘，以 22 盎司重之 **plumb** 榔頭將釘子釘入木頭中，同時量測受測肌群發出之肌電訊號，並記錄其將一根釘子完全敲入木頭中所需揮動的次數記錄。

六、重複步驟五，直到受測者完成將 15 根釘子擊入木頭為止。

七、以訪談的方式了解受測者在完成工作之後，感到的疲累程度與狀況。

八、完成一位受測者實驗，並整理其肌電圖資料。

九、重複二到八步驟，直到完成所有受測者的實驗程序。

十、針對所量測與訪談的資料進行統計分析。

4-3 實驗解果分析

在完成四位受測者(專業與一般使用者各兩人)之擊釘實驗與肌電測量之後，將所記錄受測的四條肌肉所施力百分比，分為專業組與一般組，加以平均並製成圖 4-1 直條圖。由圖中可以看出紅色部分專業族群，與藍色部分的一般使用族群之間的差異。專業使用者族群，在使用榔頭敲打釘子的過程中，明顯使用肱三頭肌的比例較大；而一般使用者則是以橈側伸腕肌的施力比例較大。若以擊釘動作的生物力學而言，舉起榔頭所用到的肌肉，分別是前臂的橈側伸腕肌與上臂的肱二頭肌，控制手腕與前臂的動作；而將榔頭向下揮擊的動作中，主要是前臂的橈側屈腕肌以及上臂的肱三頭肌，分別控制手腕與前臂向下揮擊的動作。而在圖 4-1 中，我們可以看出一般使用者最大的施力比例，用於將榔頭抬起的橈側伸腕肌；而專業使用者則將最大的施力比例，用於將榔頭向下揮擊的肱三頭肌。兩者的差異除了最大施力的時間點不同之外，在分佈上有差異，專業使用者的最大施力比例分佈於上臂；而一般使用者的最大施力比例分佈在前臂。由於前臂與上臂的肌肉大小差異，直接關聯到其出力的大小與耐力，這些差異將影響到執行擊釘的效率與疲累度。

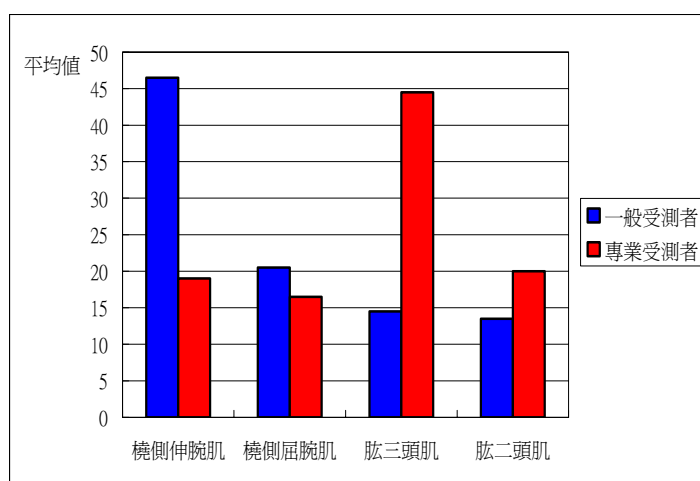


圖 4-1 專業使用者與一般使用者手臂肌肉施力分配比較圖

在效率方面，與專業使用者比較，一般使用者平均需揮動 10.6 次，才能夠將一根釘子完全擊入木頭內；而專業使用者平均只需 4.9 次的揮動，就可將一根

釘子完全擊入木頭內，明顯較有效率。專業使用者擊釘的過程中，施力百分比最大的肌肉是肱三頭肌(約 45%)，也就是最大施力比例用於向下揮擊的動作中；而一般使用者，則是橈側伸腕肌施力百分比最大(約 47%)，也就是最大的施力用於將榔頭抬起的時候，使得一般使用者效率較差，又較容易疲累。而專業使用者以大塊且有力的肱三頭肌，帶動前臂向下揮擊；一般使用者卻以較小塊的橈側屈腕肌，轉動手腕向下揮擊。除了力道較小，力臂也較短，產生的衝量自然較專業使用者小，因此效率較差。由此我們可以解釋一般使用者與專業使用者間的效率差異，來自工作模式的不同。

在疲勞度方面，於實驗後的訪談中，專業使用者族群均表示，上臂出現運動後之發熱感覺，但並未產生自覺之疲累感，而前臂橈側屈腕肌的位置，有些許酸痛感。而一般使用者族群，在完成擊釘作業過後，前臂有明顯的酸痛感，位置在橈側伸腕肌與橈側屈腕肌的部位，尤其是橈側伸腕肌的部位甚為酸痛。雖然在肌電圖上，兩個族群的橈側屈腕肌並未有太大負擔，但在解剖學上，此位置尚有數條屈指肌重疊於屈腕肌下方，或許是其酸痛感來自長時間握持榔頭，造成提供握力之屈指肌疲乏所導致。

4-4 擊釘姿勢分析

以榔頭揮擊釘子釘入木頭的動作，一般可以分為三個步驟：

- (1) 將釘子取出預放於要釘入的位置。
- (2) 以手扶住釘子，用榔頭輕敲釘子，將其固定於木頭上。
- (3) 將扶住釘子的手放開，將榔頭抬高，並揮落擊中釘子。再重複抬高與揮落之動作，直到釘子被完全擊進木頭為止。

在實驗的過程中，以數位影像擷取設備，將受測者揮動榔頭的姿勢，記錄為影片。經過分析之後，將關鍵之動作合併處理分析，並得到圖 4-5, 4-6 之專業與

一般受測者姿勢的差異。

從所記錄之擊釘作業肌肉肌電圖資料中，可看出個人之間差異最大的部分，在於第三個步驟。一般較不常使用榔頭敲擊釘子的使用者(圖 4-6)，前臂的揮動弧度較專業使用者(圖 4-5)小，其榔頭的揮動主要以手腕關節為軸心，揮動手掌所帶動。由於此動作所使用的肌肉，為帶動手腕運動的較小肌群：橈側屈腕肌與橈側伸腕肌，不但施力較小，也造成較大的疲累感，所以需要較多的揮動次數才能將鐵釘擊入木頭；而專業的使用者在揮動榔頭時動作較大，手臂的動作基本上先揮動上臂，並以肘關節與肩關節為軸心，以較大的角度揮動上臂與前臂，因此肱三頭肌為負擔最大的肌肉。以解剖學的角度來看，此動作也用到三角肌與背闊肌等較大塊的肌肉，帶動前臂旋轉更大的弧度。如此不但可以得到較大的衝量，且比較不會疲倦，能達成打擊較多支鐵釘之工作量。但是由於背闊肌所支配的動作複雜，不僅與擊釘作業中，上臂之上下擺動有關，同時支配上臂伸展、內收、內旋，甚至將肩夾骨向下及向後拉的動作，都是由此肌肉收縮完成(許世昌，2002)，且背闊肌的面積大，不易以肌電圖儀量測其完成某一動作時，所發生的收縮狀況。因此在本實驗中，並未將背闊肌的肌電測量，列入觀察的項目中。

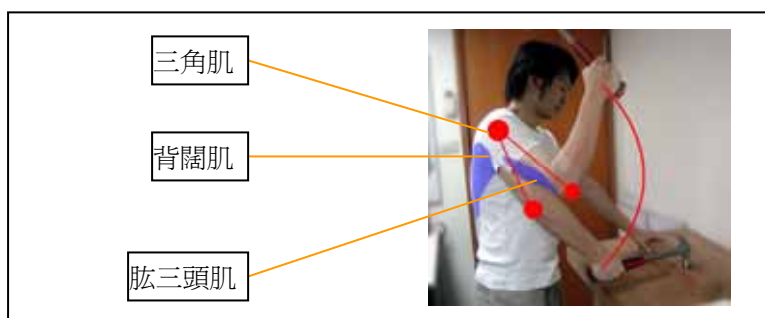


圖 4-5 專業使用者擊釘作業姿勢說明

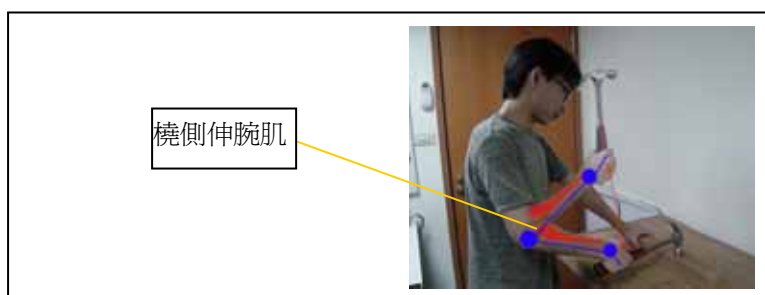


圖 4-6 一般使用者擊釘作業姿勢說明

4-5 小結

經過前臂肌肉施力分佈實驗，我們可以用前臂的橈側屈腕肌與橈側伸腕肌，以及上臂的肱二頭肌與肱三頭肌的施力百分比，作為評估擊釘作業時手部運動狀態的指標。因此接下來的實驗中，均以肌電圖儀的四個頻道，對上述四條肌肉作肌電訊號之測量。而在前臂與上臂肌肉施力分佈的實驗後，得知一般使用者，在使用榔頭敲擊釘子時，慣用以手肘、手腕為軸心，作範圍較小之揮動，並造成前臂容易疲勞、酸痛。尤其是橈側伸腕肌在提起榔頭時的過度施力，更是造成前臂酸痛的主要原因。而在向下揮動榔頭時，肱三頭肌施力百分比較少，是造成效率不彰且容易疲倦的原因。因此，在接下來的實驗中，測量與分析之重點為，如何找出合適的榔頭設計，使得一般使用者揮動榔頭時，減少橈側伸腕肌施力的比例，並相對增加肱三頭肌負擔，以降低其工作後前臂的不舒適，同時使向下揮擊的力道分配，接近專業使用者的工作模式。而效率的評估方面，在之前的實驗中，以完全將一根釘子擊入木條中所需揮擊的次數來評估，而接下來的實驗，則將以完全擊入一根釘子所需要的時間，作為衡量的標準。原因是在實驗前的準備與觀察中，發現一般使用者在從事擊釘作業時，完成擊入一根釘子所需的揮擊次數均相差不大。而在之後的實驗中，必須區別出受測者在使用不同變因實驗樣本時，效率的些許差異，若以揮擊次數評估，可能有精準度不夠之虞。因此採用肌電圖儀所測得的時間，以百分之一秒為單位，較能精確比較出榔頭設計變因的改變下，使用者從事擊釘作業效率的改變。

第五章 握柄角度與重心位置對擊釘作業之影響

經過前面兩個實驗之後，對於手臂揮動榔頭時，肌肉收縮狀況的肌肉，已經有了更精確的了解。這些肌肉主要為橈側屈腕肌、橈側伸腕肌、肱二頭肌與肱三頭肌。由於一般使用者，在使用榔頭作擊釘的工作時，手臂上這四條肌肉，在工作負擔的分配上，明顯的以橈側伸腕肌為最重，這也是造成前臂容易酸痛之原因。因此，本研究接著探討改變榔頭重心位置與握柄彎曲角度等變項的設計，是否能降低橈側伸腕肌的負荷，以降低前臂的疲累感，並提高舒適度與效率，甚至具有使姿勢趨向專家的效果。

5-1 實驗目的

本實驗中，將以榔頭握柄角度的七種變化，以及三個重心位置，所組成之正交的變因中，建構不同榔頭的實驗樣本，探討以下三個主題：

- 一、討論改變榔頭上述變因的設計，對於一般使用者從事擊釘作業時，手部肌肉負擔比例的分配是否產生改變，並找出能使橈側伸腕肌負荷比例降低的變因組合。本研究，將以橈側伸腕肌在四條肌肉中，承受負擔百分比的相對高低，作為舒適性的指標，來判別不同變因組合的榔頭，在從事擊釘作業時的使用舒適程度。
- 二、探討經由上述兩種變因之改變，是否可以提升擊釘作業的效率。在本研究中，效率的指標，為完成一指定擊釘作業所花費的時間；所需時間越短，表示榔頭的使用績效越高。
- 三、擊釘姿勢的探討。由實驗一的分析中，所探討之專業使用者與一般使用者，在擊釘作業的工作姿勢上，最大的差異在於上臂與前臂的動作大小差異，而在肌電圖上所呈現的，即肱三頭肌負擔比例的差異。因此，本

實驗將記錄受測者使用不同變因組合之榔頭，從事擊釘作業時，肱三頭肌的出力百分比，以判定受測者在使用某一把榔頭的工作姿勢。肱三頭肌使用比率越高，則被定義為越接近專業使用者的工作姿勢。使用大肌群比例較高的工作姿勢，較不易造成疲累，且能夠達到較高的效率。

本實驗的執行與分析，是讓受測者在執行指定的擊釘作業時，以肌電圖儀測量手臂上述四條肌肉負擔收縮的百分比，再經由電腦統計軟體，進行舒適度、效率、以及工作姿勢的分析。

實驗與分析設計架構如下：

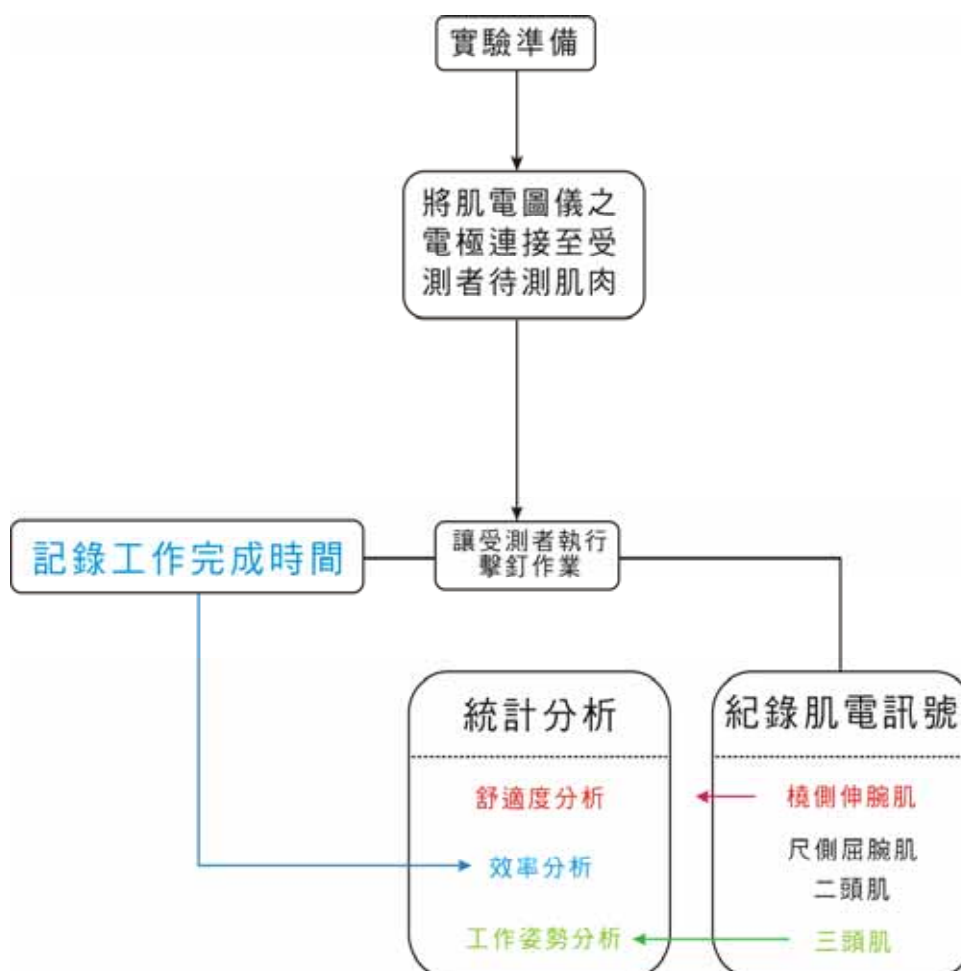


圖 5-1 實驗二設計與分析架構圖

5-2 實驗設計

本實驗設計的架構，建立在讓受測者於相同條件下，分別使用重量為 20 盎司，且握柄角度、重心各不相同的 21 把榔頭，各將 3 根 1.5 吋鐵釘，分為三個梯次，擊入 2 吋*2 吋*1.5 呎的柳安木條中。於這些擊釘作業時，全程記錄受測者上臂肱二頭肌、肱三頭肌，以及前臂橈側伸腕肌與橈側屈腕肌的肌電訊號，並記錄敲進每一根釘子所需要的時間。肌電訊號在肌電圖儀中以積分法運算，並轉為各肌肉在工作期間分擔收縮的百分比，以作進一步之分析討論。

實驗中，所有的鐵釘已經以輔助工具，預先固定於木條上。每根釘子間隔 40mm，為榔頭鎚面直徑(25mm)的 1.6 倍。如此設計可以避免受測者敲擊失準時，敲擊鄰近之鐵釘。另外，每根釘子外露部分的長度均為 40mm，因此若木料質量均勻，將每一根釘子釘入木頭，所做的功(work)可視為是相同的。

為了不讓實驗的過程中，因為不同榔頭操作順序，影響作業分析的結果。例如較前面操作的榔頭，可能因為生疏而顯得效率不彰；後面操作的榔頭，可能因連續的工作之後，技巧變好而更順手等，而造成對實驗準確度之影響。在實驗的設計上，安排每一位受測者以不同的順序使用榔頭。整個實驗的執行，21 位受測者分別以不同的編號的榔頭起始，依序進行敲擊測試。例如某一位受測者起始為 7 號，其打擊順序為 7 至 21 號，再由 1 號到 6 號，才完成一回合的測試。為了增加資料的可靠性，每一位受測這必須重複三回合的測試，完成全程的實驗。也就是每一位受測者，將會在各不同的時間點重複三回，分別以每一把榔頭，將釘子釘入木頭，如此可消除因次序關係所造成的誤差。

5-3 變因設計

本實驗以海崙公司所生產，『Plumb』系列 20 盎司重榔頭為參考對照組，如圖 4-2。其榔頭的規格為：

重 量 ：20 盎司

尺 寸 ：350*145 mm

握柄彎曲角度：0 度

重心位置 ：距離 head(頭部)約 10 公分處的握柄上，如圖 5-2 中所示



圖 5-2 參考榔頭之重心說明圖

以此 20 盎司之 Plumb 榔頭為原型，將握柄角度與本體重心位置兩個項目，作為改變榔頭設計之變因。角度分成 7 種變化，而重心位置有 3 種變化。並將此兩組變因的正交 7*3 水準(levels)，分別製作供實驗之榔頭共 21 把。製作方式以原形 Plumb 為基礎，在不影響重量等其餘之條件下，直接修改其握柄角度，以及重心的位置。以下兩個小節將兩組變因變化之設計，作詳細的介紹。

5-3-1 握柄角度之設計

先前榔頭設計的研究中，已有 Schoenmarklin (1989)、Konz (1986)以及 Knowlton & Gilbert (1983)針對握柄角度做過初步研究，卻得到不同的結論。其中以 Konz 做的實驗最多，在三個實驗中，發現彎柄榔頭可以減少橈尺篇，實驗經由回歸分析，發現最受喜好之彎柄角度是 6 度，以及在 0、10、15 度中，最受喜好的是 10 度。因此本研究希望可以參考他們實驗，設定適當的握柄角度變數。

由於三位學者所研究之握柄角度的變化，均朝著榔頭鎚面的方向彎曲；在與鎚面反向的彎曲角度，目前還沒發現有相關的研究。有鑑於此，本實驗在握柄彎曲角度方面，除了將探討與鎚頭敲擊面同方向彎曲(在此定為正向之彎曲角度)，也將擴展探討反方向彎曲角度(標示為負值)。角度的間隔與設定上，機本上以 Konz 的實驗為基礎，因為其對於榔頭握柄角度的實驗最多。將其所做的三個實驗的結果加以綜合，已決定本研究變因設定之範圍。由於其中二個實驗的結果的最佳值都在 15 度之內；分別是 6 度與 10 度，因此本研究在 0 度到 15 度之間，劃分三個間隔，分別是 5、10、15 度，而反向的彎曲方向，也同樣有負值的三個彎曲角度，加上不彎曲的 0 度，共有七種彎曲角度。為了資料整理的方便，將其編號為 A1、A2、A3、A4、A5、A6、A7 等七個角度之代號，如圖 5-3 所示。



圖 5-3 實驗榔頭握柄角度彎曲設計

5-3-2 重心位置之設計

對於榔頭本體重心改變之設計，本研究經過文獻之研討，以及與榔頭製作廠商諮詢討論之後，再考量實驗樣本的可行性之後，決定以三個不同的重心位置，作為重心設計的變數，分別是原本的 10 公分，以及像握把移動 4 公分與 8 公分。為了實驗進行與資料記錄之方便，將三種重心位置標記為 A、B、C 三個編號，以下詳細說明：

重心位置 A，為對照組榔頭 Plumb 原本的重心位置，經過測量距離頭部約 10 公分，如圖 5-4 標示。

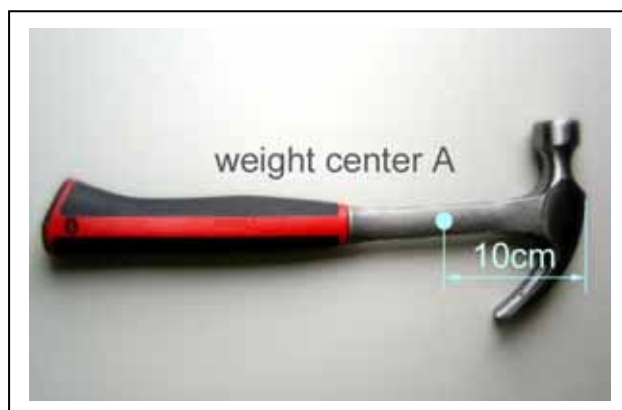


圖 5-4 實驗榔頭重心位置 A 位置

重心位置 B，以對照組為原型，將鎚頭的部分，在不影響強度的狀況之下挖空，並另在把手的尾端加上重量，以便將重心向把手的方向移動，經過測量，新的重心位置，如圖 5-5 所標示位置，約離頭部 14 公分。

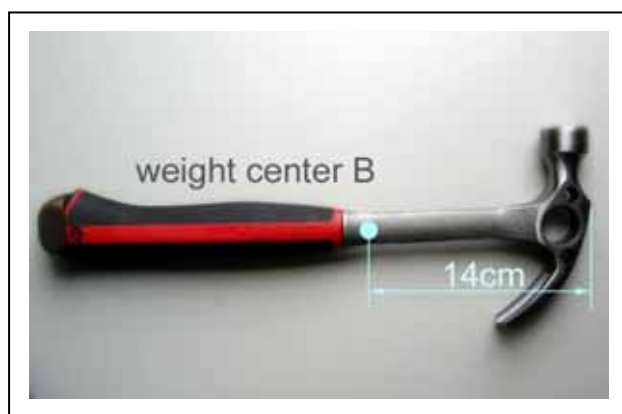


圖 5-5 實驗榔頭重心位置 B 位置

重心位置 C，以對照組為原型，將鎚頭的部分，在不影響強度的狀況之下進一步挖空，並另在把手的尾端加上重量，以便將重心向把手的方向進一步移動，以使新的重心位置，如圖 5-6 所標示位置，約離頭部 18 公分。



圖 5-6 實驗榔頭重心位置 C 位置

5-4 實驗樣本榔頭製作

本實驗所使用之實驗組與對照組，均由海崙公司協助製作完成。以 Plumb 榔頭的半成品，分為角度與重心兩個部分，以人工改造，製作過程如下：

- 一、完成鍛造的半成品榔頭為材料。
- 二、將需要折彎的部分，加熱軟化，並折出需要的握柄彎曲角度。
- 三、將完成握柄角度加工的半成品，以高溫熱處理，使金屬結晶重新排列，如圖 5-7。熱處理之後的榔頭金屬強度，將與一般量產之 Plumb 無異。



圖 5-7 熱處理之後的實驗榔頭半成品



圖 5-8 加裝交套之後的實驗榔頭半成品

四、作表面拋光之加工，並加上握把之膠套，如圖 5-8。使用之膠套為量產原型 Plumb 所使用之膠套。

五、在不影響強度的狀況下，以鑽床挖去些許鎚頭部份，以減輕鎚頭重量，以便將重心向手把部分移動，如圖 5-9。

六、為不影響總重量，在手把的尾端切斷部份的握把，縮短整體長度，再栓上與鎚頭挖去部分相同重量之金屬，如圖 5-10，以調整重心向手把方向移動，而榔頭長度的變化，依梅歲公司所示，仍保持在國際手工具協會所規定，20 盎司重榔頭之許可長度範圍之內。





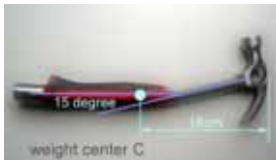

















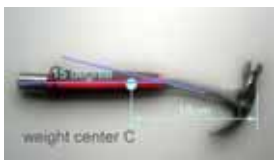
圖 5-9 以挖孔的方式減輕鎚頭的重量



圖 5-10 加上鐵質重物將重心移向手把

以下將 21 把重心、握把角度不同之實驗榔頭樣本，依照重心編號分為 A、B、C 三組，重心位置距離頭部分別為 10、14、18 公分。每一組重心變因配合 7 個不同的握柄彎曲角度，編號由 1 到 7 號，分別為 15、10、5、0、-5、-10、-15 度，如表 5-1 所示。

表 5-1 所有實驗榔頭樣本之重心位置與握柄彎曲角度

變數	重心 A(距離頭部 10cm)	重心 B(距離頭部 14cm)	重心 C(距離頭部 18cm)
角度 1 (15 度)			
角度 2 (10 度)			
角度 3 (5 度)			
角度 4 (0 度)			
角度 5 (-5 度)			
角度 6 (-10 度)			
角度 7 (-15 度)			

5-5 實驗器具

本實驗所用到的器材，除了三、四章所提到的實驗與分析用具之外，還多了量測生理特徵的量側工具，以及在實驗進行中，保護受測者的安全器材，另外，爲了維持實驗的準確度，也自行設計並製作一些輔助工具，以下詳細說明：

5-5-1 測量工具

在本階段的實驗中，也記錄每一位受測者的生理尺寸資料，一方面確認受測者的生理尺寸的平均分布，另一方面可供後續研究，作更深入的分析研究。量測記錄的工具包括皮尺、體重計、體脂計、與握力計。皮尺(圖 5-11)的用途在於量測受測者的肩高、前臂圍、上臂圍、前臂長、上臂長等身體尺寸。測量實行的原則是根據 Albert Damon 等人(1966)所著 *The Human Body in Equipment Design* 一書中所提到的各部位測量定義。



圖 5-11 實驗器具-皮尺

用於量測受測者身體部位尺寸
長 度：160 公分

本實驗亦將體重列入人體計測的項目內，因爲體重與身體的多項生理指標，可能會有相關性，測量時受測者身著輕便衣物，雙腳平均站於體重計上，以測得較準確的體重，作爲後續研究的參考資料。



圖 5-12 實驗器具-體重計

體 重 計：測量受測者體重
單 位：公斤

體脂計(圖 5-13)則用於量測受測者的體脂率，其測量原理為在人體通過微小電流，並測量人體的電阻大小。由於人體內造成電阻的主因是脂肪含量的多寡，因此透過此方法可以計算人體內脂肪比例多寡。此體脂計的使用方式為，設定好身高、體重、年齡、性別之後，將雙手握於兩邊的金屬部分，經過數秒鐘的量測計算之後，將體脂率顯示於螢幕上。



圖 5-13 實驗器具-體脂計

用於測量受測者的體脂肪率

廠 牌：OMRON 體脂肪計

型 號：HBF-302

在王廣松(2003)的研究中，發現握力與榔頭的選用，有某些程度的相關，雖然本研究不探討有關選用榔頭的議題，但仍希望將受測者握力列入基本資料中，以提供日後參考與分析。本實驗所使用之握力計(圖 5-14)為電子式，使用方式簡便，將握力計歸零之後，沿著掌形凹槽握住，手臂自然垂下並用力握緊，鬆開後即可讀取最大握力值，單位為公斤。



圖 5-14 實驗器具-握力計

握 力 計：測量受測者握力

單 位：公斤

5-5-2 安全器材

在本實驗過程中，受測者需要用力將釘子釘入木頭。在打擊的過程中，由於強烈的撞擊與震動，工作檯面上可能會有木屑與粉塵噴出，並伴隨大量的噪音。彈出的木屑與粉塵可能對於受測者的眼部造成傷害；而噪音對其聽力可能造成不良影響。因此在這一階段的實驗中，受測者被要求戴上安全防護眼罩與耳塞，以

達到保護的效果。本實驗所使用的護目鏡如圖 5-15，是強化壓克力所製成之透明護目鏡，能提供清晰透明的視野，同時達到保護眼睛的功能。在耳塞方面，本實驗所使用為拋棄式的海綿耳塞如圖 5-16，可阻絕大部分噪音，且兼顧個人衛生。



護目鏡：

保護受測者眼睛，不被噴起之粉塵或木削傷害。

材 質：壓克力

圖 5-15 實驗器具-護目鏡



耳 塞：

保護受測者耳部，不受噪音傷害。

規 格：拋棄式

圖 5-16 實驗器具-耳塞

5-6 實驗輔助工具

在實驗進行的過程中，原本由受測者自行拿鐵釘，輕敲固定於木頭上，再開始用力敲打，並取得其肌肉收縮之肌電圖。但由於每個人的習慣不同，或是榔頭角度、重心的不同，因此釘子被釘於木頭上的起始深度，以及與木頭表面的角度有所不同，如此敲打每一根鐵釘沒入木條所需的作功，將會有所差異。這些微小的差異，會影響正式敲打之後之完成時間，以及 EMG 資料讀取之可信度。

爲了避免此項誤差，本研究以自行設計之輔助工具，在實驗進行之前，將鐵釘預先釘於木頭上，並且使鐵釘與木頭表面垂直，釘入之深度也一致，以達到使實驗單位擊釘工作相同的目的。

輔助工具爲三個零件之組合如圖 5-17，分別爲編號 1、2、3 之零件，其材料爲高硬度之不鏽鋼，以電腦銑床加工完成，精密度達 0.01mm 之誤差值內。



圖 5-17 實驗輔助工具零件圖

實驗輔助工具的使用程序如下：

(1)用編號 2、3 之組件將鐵釘夾住固定，並放置於柳安木條上，如圖 5-18 所示



圖 4-18 實驗輔助工具使用步驟一

(2)在 2,3 組件上套上編號 1 之組件，使鐵釘露出組件 1 之頂端，如圖 5-19 所示



圖 5-19 實驗輔助工具使用步驟二

(3)以榔頭將凸出 1 號組件頂端的釘子敲入，如圖 5-20 所示



圖 5-20 實驗輔助工具使用步驟三

(4)當鎚面碰到 1 號組件之頂端之後，即停止敲擊，如圖 5-21 所示



圖 5-21 實驗輔助工具使用步驟四

(5)將三個組件依編號順序拆開，留下之釘子即垂直且露出木頭表面 40mm，如圖 5-22 所示



圖 5-22 實驗輔助工具使用步驟五

(6)重複此流程，將所需要釘於木條上之釘子，依序固定於木條上，如圖 5-23 所示



圖 5-23 實驗輔助工具使用步驟六

5-7 實驗流程

本實驗的 26 位受測者，均經事先約談，大致確定其身心狀況良好。並告知實驗完成後，將贈送一把梅歲公司所提共之 20 盎司重 Stanley 榔頭做為酬勞，以增加受測者意願，增進實驗的品質。

由於本實驗所討論肌電訊號，設定為初次使用之狀態，因此在每次更換不同榔頭樣本時，必須確保受測者肌肉並非處於疲勞狀態。實驗的進行中，除了在更換實驗樣本時，給予受測者 1 分鐘之休息時間，另外，在實驗結束後之隔天，也陸續追蹤受測者的疲累程度，若有酸痛或疲勞感，則不用此受測者的量測數據。經過此篩選之後，共得 21 位有效受測者資料。

每一回合的實驗，必須花費 90 分鐘的時間，事先將 63 根鐵釘事先固定於三根木條上，並作肌電圖儀的校正與設定。而受測者實驗的過程約 100 分鐘，合計完成完整實驗程序約費時 3 小時，實驗執行的程序如下：

- 一、將實驗儀器設備裝置妥當。
- 二、將每一位受測者需打擊的 63 根鐵釘，事先釘於 3 根木條上。
- 三、量測受測者之身高、肩高、體重、前臂長、上臂長、前臂圍、上臂圍、握力、體脂率等人體生理計測。
- 四、將實驗作業目的、過程充分向受測者說明。並將榔頭標準打擊動作示範，也讓受測者模擬操作一次，以熟悉榔頭的使用。
- 五、將受測者肌電量測之部位以酒精擦拭，一方面清潔受測者的皮膚，以利黏貼肌電量測電極片，一方面降低皮膚表面的雜訊電位。
- 六、將電極片貼於受測者欲測之部位肌群，兩電極片間之距離為三公分，如第四章圖 4-2、4-3 所示 E1：橈側伸腕肌、E2：橈側屈腕肌、E3：肱

三頭肌、及 E4：肱二頭肌、EL(接地電極)。

七、要求受測者戴上耳塞以隔絕噪音，並戴上護目鏡，以保護眼睛。

八、確定受測者之測試榔頭敲擊順序，將受測之榔頭交與受測者，預備敲擊鐵釘。

九、告知開始訊號，受測者開始敲打鐵釘。當鐵釘完全被敲入木頭時，按下儀器停止按鍵，完成接收受測肌群發出之肌電訊號，以及記錄工作完成之時間。

十、將下一把榔頭交給受測者，重複步驟八與九。

十一、依序完成 21 把榔頭之測試後，即完成一回合的實驗。讓受測者休息五分鐘，以使其肌肉鬆弛並充分休息。

十二、重複八至十一步驟完成第二回合測試

十三、重複八至十一步驟完成第三回合測試。

十四、結束實驗