



國立交通大學
應用藝術研究所
碩士論文

建築用榔頭之人因設計因素研究
— 以『Plumb』為例

An ergonomic research on the design of hammer
– using the hammer“Plumb” as an example

研究 生：侯宇晟 Yu-sheng Hou

指導教授：莊明振 Ming-Chuen Chuang

中華民國 九十三 年 六 月

建築用榔頭之人因設計因素研究 – 以『Plumb』為例

**An ergonomic research on the design of hammer
– using the hammer“ Plumb ” as an example**

研究 生：侯宇晟

Student : Yu-sheng Hou

指導教授：莊明振

Advisor : Ming-Chuen Chuang

國立交通大學

應用藝術研究所

碩士論文



Submitted to Institute of Applied Arts

National Chiao Tung University

In Partial Fulfillment of the Requirements

For the degree of

Master of Arts

In

Design

June 2004

Hsinchu, Taiwan, Republic of China

中華民國 九十三 年 六 月

榔頭之人因設計因素研究 – 以『Plumb』為例

學生：侯宇晟

指導教授：莊明振

國立交通大學應用藝術研究所 碩士班

摘要

由於『家庭 DIY 裝修佈置』市場蓬勃發展，以往只在工地被使用榔頭，漸漸為一般大眾使用。有鑑於工地專業工人與一般大眾之工作模式及體能有所差異，將專業工作手工具市場，與『家庭 DIY 裝修佈置』手工具市場分開，並針對 DIY 手工具市場，設計專用的手工具是有必要的。

本研究先透過實驗，分析在使用榔頭從事榔頭及釘作業時，手部的肌肉收縮狀況，並了解專業與一般人的工作模式的差異。接著改變榔頭重心位置，以及握柄角度兩個設計因素，討兩個變因正交之後，對於使用結果影響；本研究製作 21 把實驗用樣本，分別由重心 10~18 公分(間隔為 4 公分)，與握把彎曲角度-15~15 度(間隔為 5 度)兩項變因的正交而設計。實驗中主要以 EMG 儀測量肌肉收縮的狀況，並以舒適度(由 EMG 儀所測得受測者橈側伸腕肌的收縮百分比值)、使用效率(及入一根鐵釘所需要的時間)、以及專家工作模式趨向(由 EMG 儀所測得受測者肱三頭肌的收縮百分比值)三個指標衡量各樣本的差異。經過實驗、分析、討論之後，得到以下結果：

- (1) 一般使用者與專業使用者在擊釘作業時，工作模式明顯不同。一般使用的手臂揮動幅度較專業使用者小，工作效率較差且手腕的橈、尺偏較大。
- (2) 經過樣本的製作與實驗分析之後，實驗樣本中，在舒適度與專業的姿勢傾向上，重心位置距離榔頭頭部 18 公分，握柄角度-5 度的榔頭，具有最好的效果，而擊釘作業的績效的方面，則是重心位置距離榔頭頭部 14 公分，握柄角度-5 度的榔頭，具有最好的效果(負值的角度為榔頭槌面的反向)。
- (3) 經過回歸分析之後，可得到由舒適度到效率趨勢的變化時，對應於榔頭重心位置與握柄彎曲角度分佈圖形，可提供設計師設計新式樣榔頭時，針對不同舒適度與效率需求，在握柄角度與配重上做調整的參考。

關鍵字：手工具、人因工程、榔頭設計、重心位置、握把角度

An Ergonomic Research on Hammer Design - Using the “Plumb” Hammer as an Example

ABSTRACT

Hammers, the commonly used tools at construction sites, now are gradually implemented in the fixing and decorating works at home. Concerning the difference of muscular strength and performance skill between the professional workers at construction site and general people who seldom use hammer, there may be an urgent need to design a home-use hammer for the DIY market besides the matured professional tool market.

This study has controlled the center of gravity and the handle-angle of a hammer to see how these two variables affect the non-professional users in the task of knocking nails. Twenty-one testing hammers were constructed according to the three different position of center of gravity and seven controlled angles of handle, from -15 to 15 degrees with a 5 degree interval. Non-professional subjects were recruited to complete a nail knocking task in the experiment. We measured the EMG signals as the main indicator to determine the degree of contraction of related subjects' muscles when they were conducting the nail knocking task. Two criteria concluded from analyzing the EMG signals, criteria of comfort and tendency to induce professional posture, as well as the criteria of efficiency, the measured elapsed time to complete a task were adopted to judge the performance of varied hammer designs tested in this experiment. The result of the experiment was summarized as follows:

- (1) Comparing to the professional workers, general people showed a smaller swing of fore-arm movement, as a result, were less efficient and caused more ulnar deviation and radial deviation in hammer operation.
- (2) The hammer with center of gravity located at 18 cm from its head and handle angle of -5 degrees showed the best effect on comfort and tendency to induce professional posture criteria. As efficiency was concerned, the best hammer was the one with the center of gravity located at 14 cm from its head and handle angle of 5 degree.
- (3) By regression analyze, a convenient graph was concluded to tell hammer designer how to design a hammer with proper combination of the two important features of hammer: location of the center of gravity and handle-angle for different users.

Key words: hand-tools, ergonomics, hammer design, location of the center of gravity, handle-angle

致謝

時間過的真快，彷彿才剛在所辦報到，卻已經過了兩三年；修了許多課程，也完成了論文，心理一方面覺得很踏實，一方面對於即將展開的另一段旅程，感到既興奮又緊張。應藝所求學的這段日子，感謝各位師長的提攜指導，解答我課業上的疑惑，也感謝搞笑可愛的同學們在各方面的幫忙，讓我雖在外地求學，卻感受到如家人般的親切與溫暖。

這本論文的完成，雖然歷經千辛萬苦，但若不是許多人的合力幫助，怎能如此順利完成。首先要感謝指導我的莊明振老師，在研究上給我指點迷津，教導我論文寫作的技巧，兩年來學生實在受惠良多。另外，感謝口試委員鄧怡莘老師與許尚華老師，在論文的修改上，提供寶貴的意見，使得拙作可以更趨完善。

與本研究共同參與國科會研究案的海峽公司，對於本論文的完成也是功不可沒，在此要感謝陳永壽總經理、蕭志聰副總與公司的全體員工，支持本研究的經費、並配合精細的實驗樣本製作，讓本研究可以紮實的從事實驗，成果也更具參考價值。

研究期間，EMG 的原理與操作，是個頭疼的問題。幸好中國醫藥大學附設醫院復健科周立偉醫師，在百忙中給我詳細的指導，讓我對於 EMG 更了解，以順利進行實驗，在此由衷感謝。還有實驗進行時，參與實驗的受測者同學、學弟們，辛苦你們了，謝謝你們幫助我完成如此複雜的實驗，並提供寶貴的數據。

最後，要感謝我的家人。謝謝爸、媽的養育、栽培，並給我一個溫暖的家，成為我的後盾，讓我心無旁騖的完成學業。還有感謝雅伶，在我求學的過程中一直支持我、鼓勵我，陪伴我度過辛苦的求學之路。要感謝的人太多，恐有疏漏，在此還是再次感謝幫助過我的人，謝謝大家！

宇晟 謹誌

2004/6

目錄

目錄	A
圖目錄	VI
表目錄	XI
第一章 緒論	1
1-1 研究背景	2
1-2 研究目的	3
1-3 研究範圍與限制	3
1-4 研究架構與流程	5
二、文獻探討	6
2-1 榔頭基礎探討	6
2-1-1 常見榔頭之種類	6
2-1-2 羊角鎚之結構	10
2-2 上肢骨骼肌肉系統與生物力學	12
2-2-1 上肢骨骼系統	12
2-2-2 上肢骨骼肌系統與運作分析	13
2-2-3 從解剖生理學觀點分析榔頭之擊釘作業	16
2-3 肌電圖	17

2-3-1 肌肉的收縮與肌電圖原理.....	17
2-3-2 量測儀器.....	17
2-3-3 操作方式.....	19
2-3-4 EMG 訊號分析方式.....	20
2-3-5 本研究使用之肌電圖儀.....	21
2-4 常見之骨骼肌肉傷害.....	21
2-5 累積性工作傷害的成因分析.....	23
2-5-1 工作速率與工作負荷的影響.....	23
2-5-2 振動力造成的傷害.....	24
2-5-3 重複性作業造成的傷害.....	24
2-5-4 施力不當造成的傷害.....	24
2-5-5 不良工作姿勢的問題造成的傷害.....	24
2-6 使用榔頭之相關累積性工作傷害.....	25
2-7 榔頭打擊作業之操作與介面分析.....	26
2-7-1 握持力量.....	26
2-7-2 人體尺寸與肌力因素.....	26
2-7-3 手部與榔頭界面之摩擦因素.....	26
2-7-4 榔頭尺寸及重量.....	27
2-7-5 打擊方式.....	27

2-8 有關手工具之人因研究.....	28
2-8-1 握柄的長短、角度與直徑.....	28
2-8-2 與手部接觸部分的形狀與尺寸.....	30
2-9 有關榔頭握柄角度之相關研究.....	30
2-9-1 彎曲握柄對握力衰減與手腕橈尺偏的角度的影響(Knowlton RG , 1983)。	31
2-9-2 受測者對握柄角度的主觀喜好。	31
2-9-3 使用榔頭時的肌肉施力情形。	33
2-10 使用榔頭之工作模式研究.....	34
2-11 小結.....	34
第三章 擊釘作業前臂肌力負擔分佈實驗.....	36
3-1 實驗儀器與材料.....	36
3-2 實驗程序.....	39
3-3 實驗結果討論.....	41
第四章 擊釘作業上臂與前臂施力分佈與動作分析.....	43
4-1 實驗設備.....	44
4-2 實驗程序.....	44
4-3 實驗解果分析.....	46
4-4 擊釘姿勢分析.....	47
4-5 小結.....	49

第五章 握柄角度與重心位置對擊釘作業之影響 50**5-1 實驗目的 50****5-2 實驗設計 52****5-3 變因設計 53****5-3-1 握柄角度之設計 54****5-3-2 重心位置之設計 55****5-4 實驗樣本榔頭製作 56****5-5 實驗器具 59****5-5-1 測量工具 59****5-5-2 安全器材 60****5-6 實驗輔助工具 62****5-7 實驗流程 64****第六章 實驗結果分析 66****6-1 資料分析方法 66****6-2 舒適程度分析 69****6-3 工作效率分析 74****6-4 專家姿勢傾向分析 77****6-5 各項指標相關分析 82****6-6 綜合分析 84**

6-6-1 綜合指標設計與分析.....	84
6-6-2 各種傾向迴歸方程式之選擇.....	88
6-6-3 各綜合指標間的比較.....	101
第七章 綜合討論.....	103
7-1 研究成果.....	103
7-2 相關研究比較.....	105
7-3 研究貢獻與相關應用.....	107
7-4 相關研究與建議.....	108
參考文獻.....	109
中文參考文獻.....	109
英文參考文獻.....	111



圖目錄

圖 2-1 一般羊角鎚(左)及一體成形羊角鎚(右).....	7
圖 2-2 一般格狀鎚面農務鎚(左)及一體成形農務鎚(右).....	7
圖 2-3 鐵匠鎚.....	7
圖 2-4 球頭鎚.....	8
圖 2-5 鑿工鎚.....	8
圖 2-6 大鎚.....	9
圖 2-7 橡膠面一體成形軟面鎚(左)，精密加工用軟面鎚(右).....	9
圖 2-8 圖釘鎚.....	9
圖 2-9 水泥匠鎚.....	10
圖 2-10 羊角鎚結構說明圖.....	10
圖 2-11 上肢骨骼結構.....	12
圖 2-12 橋、尺偏的動作.....	12
圖 2-13 肱二頭肌.....	13
圖 2-14 肱三頭肌.....	14
圖 2-15 前臂肌群.....	14
圖 2-16 由腕關節橫剖面所呈現的腕道(左)。通過腕道之神經、血管、肌腱圖(右) ...	15
圖 2-17 手掌的背屈與掌屈動作.....	15

圖 2-16 前臂的伸腕肌群(左), 前臂的屈腕肌群(右).....	15
圖 2-17 肌電圖擷取與分析流程圖.....	18
圖 2-19 心博率與工作速率關係圖.....	23
圖 2-20 Schoenmarklin 所使用的彎柄實驗榔頭.....	33
圖 3-2 實驗耗材-鐵釘	36
圖 3-3 實驗耗材-柳安木條	37
圖 3-4 實驗所用之 Plumb 系列 20 盎司榔頭.....	37
圖 3-5 擊釘作業工作檯.....	37
圖 3-7 實驗設備-肌電圖儀	38
圖 3-8 實驗設備-電腦	38
圖 3-9 肌力分佈實驗之肌電測量電極 E1 黏貼位置.....	40
圖 3-10 肌力分佈實驗之肌電測量電極 E2、EL 黏貼位置	40
圖 3-11 肌力分佈實驗之肌電測量電極 E3、E4 黏貼位置	40
圖 4-1 SONY DSC-P9 數位照相機.....	44
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.....	45
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	45
圖 4-4 專業使用者與一般使用者手臂肌肉施力分配比較圖	46
圖 4-5 專業使用者擊釘作業姿勢說明	48
圖 4-6 一般使用者擊釘作業姿勢說明	48

圖 5-1 實驗二設計與分析架構圖	51
圖 5-2 參考榔頭之重心說明圖	53
圖 5-3 實驗榔頭握柄角度彎曲設計	54
圖 5-4 實驗榔頭重心位置 A 位置	55
圖 5-5 實驗榔頭重心位置 B 位置	55
圖 5-6 實驗榔頭重心位置 C 位置	56
圖 5-7 热處理之後的實驗榔頭半成品	56
圖 5-8 加裝交套之後的實驗榔頭半成品	57
圖 5-9 以挖孔的方式減輕鎚頭的重量	57
圖 5-10 加上鐵質重物將重心移向手把	57
圖 5-11 實驗器具-皮尺	59
圖 5-12 實驗器具-體重計	59
圖 5-13 實驗器具-體脂計	60
圖 5-14 實驗器具-握力計	60
圖 5-15 實驗器具-護目鏡	61
圖 5-16 實驗器具-耳塞	61
圖 5-17 實驗輔助工具零件圖	62
圖 4-18 實驗輔助工具使用步驟一	62
圖 5-19 實驗輔助工具使用步驟二	63

圖 5-20 實驗輔助工具使用步驟三.....	63
圖 5-21 實驗輔助工具使用步驟四.....	63
圖 5-22 實驗輔助工具使用步驟五.....	63
圖 5-23 實驗輔助工具使用步驟六.....	63
圖 6-1 受測者橈側伸腕肌施力百分比統計.....	69
圖 6-2 對舒適度以重心為變數所估算之橈側伸腕肌邊際平均	70
圖 6-3 以握柄彎曲角度為變數所計算之估計邊際平均	71
圖 6-4 以重心為剖面對舒適度作估計平均圖	72
圖 6-5 以角度為剖面對舒適度估計平均圖	72
圖 6-6 最佳舒適度之變因組合榔頭.....	73
圖 6-7 各榔頭整釘時間統計.....	74
圖 6-8 對效率以重心為變數所估算之邊際平均	75
圖 6-9 對效率以重心為變數所計算之邊際平均	76
圖 6-10 最佳效率之變因組合榔頭.....	76
圖 6-11 受測者肱三頭肌施力百分比統計	77
圖 6-12 以重心為變數所估算之肱三頭肌負擔比例邊際平均	78
圖 6-13 以角度為變數所計算肱三頭肌負擔比例之估計平均	78
圖 6-14 以重心為剖面對姿勢指標估計邊緣平均圖	80
圖 6-15 以重心為剖面對姿勢指標估計邊平均圖	80

圖 6-16 最佳姿勢矯正之變因組合榔頭.....	81
圖 6-17 三個分析指標間的關係圖.....	83
圖 6-18 綜合指標之回歸曲面.....	87
圖 6-19 綜合指標之回歸曲面上視圖.....	88
圖 6-20 完全以舒適考量的綜合指標所構成之曲面	90
圖 6-21 完全以舒適考量的綜合指標所構成之曲面的上視圖	90
圖 6-22 80%舒適 / 20%效率指標的綜合分數所構成之曲面	92
圖 6-23 80%舒適 / 20%效率指標的綜合分數所構成之曲面之上視圖.....	92
圖 6-24 以 60%舒適，並加上 40%效率指標的綜合分數所構成之曲面.....	94
圖 6-25 以 60%舒適 / 40%效率指標的綜合分數所構成之曲面之上視圖.....	94
圖 6-26 以 60%效率， 40%舒適指標的綜合分數所構成之曲面.....	96
圖 6-27 以 60%效率 / 40%舒適指標的綜合分數所構成之曲面之上視圖.....	96
圖 6-28 以 80%效率 / 20%舒適指標的綜合分數所構成之曲面.....	98
圖 6-29 80%效率 / 20%舒適指標的綜合分數所構成之曲面的上視圖.....	98
圖 6-30 完全以效率考量的綜合指標所構成之曲面	99
圖 6-31 完全以效率考量的綜合指標所構成之曲面的上視圖	100
圖 6-32 各種指標回歸曲面之上視圖	101
圖 7-1 19 號榔頭.....	103
圖 7-1 10 號榔頭.....	103

表目錄

表 2-1 榔頭擊釘動作分析表.....	16
表 2-2 常見上肢累積性工作傷害	22
表 2-3 penny 系統與英制系統的對照表	32
表 3-1 一階段前測實驗臂肌肉施力分佈平均直條圖	41
表 3-2 擊釘作業時前臂肌肉施力相關統計	41
表 5-1 所有實驗榔頭樣本之重心位置與握柄彎曲角度	58
表 6-1 受測者生理指標敘述統計	66
表 6-2 重心與角度對舒適度影響之顯著性分析	70
表 6-3 對舒適度同時以重心與角度為變數所估算之邊際平均	71
表 6-4 重心與角度對效率影響之顯著性分析	75
表 6-5 對效率同時以重心與角度為變數所估算之邊際平均	76
表 6-6 重心與角度對姿勢影響之顯著性分析	78
表 6-7 對肱三頭肌同時以重心與角度為變數所計算之估計邊緣平均	79
表 6-8 三個分析指標對應於各榔頭估計邊緣平均之 Z 分數	82
表 6-9 舒適度、姿勢、效率之相關分析	83
表 6-10 所有樣本所對應之變數與平均綜合指標之 Z 分數	85
表 6-11 綜合指標方程式係數之估計值.....	86
表 6-12 各變項組合所對應之平均綜合指標分數估計值	87

表 6-13 完全以舒適考量的綜合指標回歸估計值	89
表 6-13 以 80% 舒適，並加上 20% 效率指標的綜合分數估計值.....	91
表 6-14 60% 舒適 / 40% 效率指標的綜合分數估計值	93
表 6-15 以 40% 舒適，並加上 60% 效率指標的綜合分數估計值.....	95
表 6-16 20% 舒適 / 80% 效率指標的綜合分數估計值	97
表 6-17 完全以效率考量的綜合指標回歸估計值	99



第一章 緒論

雖然近年來科學與技術的進步，使得許多以往必須靠人力、手工具完成的工作，已經被自動化或是電動的機械取代。但在日常生活中，還是有不少工作需要以人力操作手工具來完成。例如建築、水電工地中的工作，或是近來流行的『家庭 DIY 佈置裝修』，有許多部份，都需要以榔頭敲打完成。以往榔頭的設計，並沒有確切考慮人因工程的因素，造成使用者必須屈就於榔頭，或經常會選擇了不適合的榔頭，並且憑經驗作出不適當的動作，或是因為對工作的安全知識不足，而超限度工作，因而造成不必要的疲勞與工作傷害。

根據勞委會勞工安全研究所統計，經常發生的職業傷害包括：手部酸痛、肩部酸痛、背部疲勞。而工作時間過長或是不適當的工作姿勢，也會產生累積性疲勞傷害，如腕道症候群（carpal tunnel syndrome）、肌肉骨骼酸痛等。

而根據美國 1986 年職業疾病報告，累積性肌肉骨骼傷害已躍居首位。統計資料顯示，這些傷害以手肘、肩部、背部、膝等處最為常見(NOISH, 1986)。這些傷害發生比例在美國有 61%；日本佔有 55%。而根據台灣勞委會勞工安全研究所於民國 83 年統計，則有 38.59% 骨骼肌肉酸痛症狀發生(勞工安全衛生研究所, 1995)；而民國 87 年在大台北地區 531 位建築工人中，最常見且嚴重，需要就醫處理的骨骼肌肉傷害，依序為下背部、右肩、右手等處的傷害。然而這些累積性傷害已隨著『家庭 DIY 裝修佈置』盛行後，在這些非專業的族群中普及；由於缺乏專業的訓練及知識，DIY 族群更容易在工作中受到傷害(李芝慧, 1999)。

要降低使用手工具造成的職業傷害，除了提供良好安全的工作環境、完整的訓練、適當的休息外，合乎人因工程的工具設計，更是十分重要的一個因素。因此，本研究將探討常用的手工具 – 榔頭的人因設計。而在榔頭的設計中，握柄的角度與重心的位置，是兩個較重要的設計因素，也是本研究的探討要點。本

研究以 DIY 族群作為研究的對象，透過文獻探討、測試榔頭樣本製作、實際敲打實驗、使用者工作時肌電圖分析等研究程序，找出建築用榔頭在設計上，適當的重心位置與握柄角度，以改善使用者作業時肌肉的施力狀態，進而降低傷害的發生。透過此研究，為將來 DIY 族群專用之榔頭設計，提供一個安全健康的設計規範，以提升我國手工具產品在世界市場上的競爭力。

1-1 研究背景

由於『家庭 DIY 裝修佈置』市場蓬勃發展，不少以往只在工地被使用的人力手工具，開始廣為一般大眾使用。有鑑於工地專業工人與一般大眾之工作模式及體能有所差異，將專業工作手工具市場，與『家庭 DIY 裝修佈置』手工具市場分開，並針對 DIY 手工具市場，設計專用的手工具是有必要的。



海歲公司為國內手工具生產大廠，主力產品為各式的榔頭。在多年的市場經驗中，其認知到手工具產業發展，目前已達相當成熟的高原階段，必須在研發設計上求取突破。而近年來全球『家庭 DIY 裝修佈置』風氣興起，對於手工具業造成不小的影響(根據海歲公司總經理陳永壽先生表示：未來 DIY 手工具市場潛力預估將佔有整體手工具市場的 60%)。面對這種環境轉變，未來手工具產業，將導向以符合人因工程為訴求，針對 DIY 族群設計合適的手工具，以提高全球競爭力。

海歲公司以往在人因工程研究較缺乏經驗，因此透過國科會，藉由產學合作計畫，與交通大學應藝所人因工程小組建教合作，共同從事手工具人因工程基礎研究。目前已完成榔頭作業的最工作佳模式探討，本研究則將繼續探討榔頭設計中兩重要因素 – 握柄角度與重心位置對榔頭操作的影響，並將成果應用在榔頭的設計上，使其能提升工作績效，並兼顧使用的舒適性。

1-2 研究目的

由於以往榔頭的設計，多以建築工地之作業為主，來考量設計要點。然而，一般『家庭 DIY 裝修佈置』為主的家庭工作環境，畢竟與工地不同。建築工地的工作者，與一般 DIY 手工具使用族群比較起來，對於工作的常識與經驗也有極大的不同。根據初步的訪談，建築工地的專業使用者，不但有較好的肌耐力、體能、工具使用技巧，對於工作與休息之間的調整，也比較有心得；而一般使用者，在此方面則較缺乏。因此為專業人士設計的手工具，未必適合 DIY 使用族群。而隨著 DIY 族群的逐漸普及，若能針對 DIY 的工作特性，設計出符合人因工程的一般使用榔頭，則可讓沒有專業訓練的人，在工作時更好上手，也更不容易受到工作傷害。

為『家庭 DIY 裝修佈置』手工具的市場來設計，必須針對 DIY 使用族群作相關之研究；內容包含其使用手工具時，肌肉的施力狀況、使用手工具時的姿勢、手工具設計的變化對 DIY 使用者工作效率與舒適度的影響。因此，本研究目的可歸納如下：

- 一、了解專業使用者與一般使用者工作時，肌肉施力分布的差異。
- 二、研究如何在一般使用者工作模式下，決定榔頭握柄角度與重心位置之重要參數設計，使舒適與安全性提升，並兼顧到榔頭作業效率。

1-3 研究範圍與限制

本研究以海歲公司所提供之樣本，型號為『Plumb』之榔頭為研究與改善對象。『Plumb』是專為建築工地作業設計之榔頭系列，其尺寸規格依重量分為 16、20、22、28 盎司(oz)等四個等級。本研究使用之實驗量測工具，主要為表面式肌電圖儀，其容易受到皮下脂肪的影響，因此本研究之受測者選定為男性；因為男性皮下脂肪較薄，較不會影響表面式肌電測量之準確度，且男性肌肉線條較明顯，在

貼肌電圖儀之電極貼片時，比較容易定位。而在初步的資料收集探討中，20 盎司重量之榔頭銷售量最多，可見其普遍性最高，因此本研究樣本榔頭重量的選擇為 20 盎司。

本研究的主要對象為『家庭 DIY 裝修佈置』的一般使用者族群，其定義為在一個月當中，使用榔頭的次數少於兩次，且每次作業在半小時以下者。以此來區分一般使用者與專業使用者的原因，在於考量人體肌肉與技巧被訓練到有明顯效果，所需要的時間與頻率。一般人體骨骼肌因負荷的刺激而增強的頻率約為一周，也就是超過一周以上間隔之負荷刺激與激勵，肌耐力成長空間就減少。而每次有效刺激的持續時間，因負荷的不同有所區別，通常每次工作持續半小時，可以增加工作技巧及肌耐力。所以，若在此操作頻率與持續時間以下使用榔頭者，其使用榔頭的技巧與肌耐力將不會有所增長，本研究即將其定義為『一般使用者(非專業使用者)』。



在實驗的過程中，以 Plumb 之 20 盎司榔頭為對照組，比較不同參數設計的榔頭，對擊釘作業的影響。而基於文獻分析結果，以及時間、經費因素的考量，本研究只針對榔頭的握柄角度與重心位置兩個因素為變量來探討，而不考慮如握柄形狀等其他的因素。因此研究結果能應用於『Plumb』系列榔頭，或是材質、用途、形狀與其相近的榔頭之改善設計上，以提升其使用績效與使用舒適度。而在一般榔頭應用上，須再進一步考量。

在實驗的過程中，有些無法在短時間改變與控制的誤差將被忽略，或作最適合的控制。這些誤差包括：儀器精確度所產生的誤差、實驗用鐵釘本身材質與結構些微差異所產生的誤差、實驗中作為擊釘作業用木材本身材料均勻程度之些微差異所造成的誤差、受測者對於榔頭使用學習能力上差異所造成的誤差、實驗用榔頭樣本精準度的誤差等。

1-4 研究架構與流程

本論文的架構分為以下幾個章節：第一章為研究動機與目的、方法與架構、範圍與限制之闡明；第二章的文獻探討主要討論榔頭之基本結構、人體手部肌肉骨骼的基本研究、先前人因工程運用於手工具之相關研究等。第三章為本研究前測的第一個實驗；主要探討操作榔頭擊釘時，前臂肌肉施力的分佈。第四章為前測的第二個實驗；主要探討擊釘作業時，上臂與前臂肌肉施力的分佈，並比較一般使用者與專業使用者間的差異。此實驗測量改變榔頭重心位置與握柄角度之後，受測者擊釘作業之效率、舒適度、及打擊姿勢的影響。第五章為本研究主要的實驗，透過基電圖的解讀與分析，探討改變榔頭的握柄彎曲角度與重心的位置後，對使時者舒適度、效率、姿勢的影響。第六章為第五章實驗結果分析討論，針對實驗所得的數據資料，根據舒適度、效率、姿勢及綜合指標等項目，以科學的統計方法分析解釋。第七章針對第六章的分析做綜合的討論，並與相關研究作比較，提出具體研究成果與結論，以及後續研究的建議。



本研究的架構與流程包括：

- 一、從相關文獻的探討，了解目前榔頭設計上可能發生的問題，並提出研究目的與研究範圍。
- 二、針對研究目標設計建構所需要的測試榔頭樣本，安排與設計實驗器具以及適當的實驗流程，並以模擬的前測方式，確認實驗程序是否合適可行。
- 三、進行擊釘實驗並收集實驗資料。
- 四、將實驗的相關資料以科學的設計方法分析，提出適合一般 DIY 族群使用之榔頭，在握柄彎曲角度與重心位置設計的建議。
- 五、提出研究結論以及後續研究的建議。

第二章 文獻探討

本章主要針對本研究相關文獻，作蒐集、分析與整理，內容包括：(1)榔頭的基礎探討、(2)上肢骨骼肌肉系統與生物力學、(3)肌電圖、(4)常見之前臂與肩部累積性傷害、(5)對於榔頭結構設計之相關研究。以下逐一探討。

2-1 榔頭基礎探討

榔頭又稱為鎚子，是人類最早開始使用的工具之一。早在石器時代，人類就開始使用『鎚』這樣的工具，主要用來敲打、敲開、移動物體。經過了數萬年的演進，基本上榔頭外形並沒有太大的改變，原理也依然一樣，均利用一長柄以及尾端的鎚頭，將人類手臂敲擊的力量延伸、擴大，並避免敲擊時，手部直接與敲擊面碰撞，減少傷害。而由於材料技術的持續進步，以及工作模式的多樣化，近來發展出各種因應不同工作需求的榔頭。



2-1-1 常見榔頭之種類

榔頭在歷經數萬年的演進之後，已發展成數千種不同的形態，但大致上還是可依其所配合的不同工作需求，將其歸類為幾種常見的類型。以下將一般市面常見的榔頭，依其類型特徵與功能加以詳細介紹(Stanley hand tools company, US)：

- (1) 羊角鎚(claw nail hammer)，重量在 16~28 盎司之間，適合單手操作，在鎚頭的後方有彎曲的雙爪(圖 2-1)，可用於木工用途的拔釘功用；彎爪角度越大者可拔起釘長越長。一般於木工場合使用，目前在『家庭 DIY 裝修』的市場中，也有越來越廣泛被使用的趨勢。其可分為一體成形與一般槌頭與握柄組合的形式。本研究以此榔頭為研究對象，但為一體成形的形式，也就是鎚頭與握柄的部分是以鑄造的方式一體完成(圖 2-1 右)。



圖 2-1 一般羊角鎚(左)及一體成形羊角鎚(右)

(2) 農務鎚(farming hammer)重量至少在 22 盎司以上，有較長的握柄，可提供較長的力臂，達到強大的揮擊力(圖 2-2)，適合粗重的農業用途。其鎚面多半有格狀花紋的凸起，以增加打擊的破壞力；鎚面後方有鉤爪，可以作為撬、鏟的用途。少數平面鎚面的農務鎚則用於非破壞性農務，目前亦有一體成形的農務鎚(圖 2-2 右)。

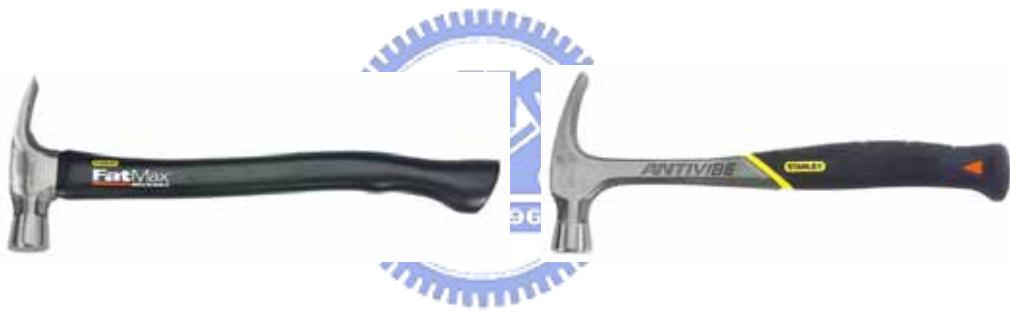


圖 2-2 一般格狀鎚面農務鎚(左)及一體成形農務鎚(右)

(3) 鐵匠(錐頭)鎚(blacksmith hammer)重量在 2~5 磅之間，屬於大型的榔頭。其鎚頭的後端呈尖錐狀，適合鐵匠的釘铆作業(圖 2-3)。



圖 2-3 鐵匠鎚

(4) 球頭鎚(ball pain hammer)鎚頭的後端為球狀面，用於打中心孔及板金的敲打工作(圖 2-4)，其重量在 10~30 盎司之間，以配合不同精密度及施力程度作業的需求。



圖 2-4 球頭鎚

(5) 鑿工鎚(drilling hammer)有較重的鎚頭以及較大的打擊面積(圖 2-5)。其重量以磅計算，約在 2~4 磅之間，用來敲打石造建築的釘子和鑽頭，或是鑿開大塊的石材。



圖 2-5 鑿工鎚

(6) 大鎚(sledge hammer)是榔頭中尺寸與重量最大的，鎚頭重量在 6~16 磅之間，約 21 公分高(圖 2-6)；巨大的槌頭用於非常粗重的打擊工作，如拆牆、打樁等。使用時必須以雙手操作，因此握柄長度很長(約 80~100 公分)，以提供較長的力臂，產生強大之力矩，使得敲打的衝擊力可以提到最高。



圖 2-6 大鎚

(7) 軟面鎚 (soft face hammer) 的鎚頭一般而言特別巨大，目的在於提供較大的敲擊面。敲擊面是軟的材質，以使敲打時力量平均分散於鎚面，不會傷及工作物表面(圖 2-7 左)。其重量從 10 盎司到 5 磅，以配合不同施力等級的工作。常用於家具的組裝、木工裝修或軟金屬的板金作業。另有種軟面鎚，是針對更精密的工業環境所設計的，其透過特殊的吸振結構，讓撞擊面的受力更平均(圖 2-7 右)。



圖 2-7 橡膠面一體成形軟面鎚(左)，精密加工用軟面鎚(右)

(8) 圖釘鎚 (magnetic tack hammer)有較輕的鎚頭與較小的鎚面(圖 2-8)，重量約在 5 盎司左右。其鎚頭有磁性，用於敲擊較小的圖釘、釘子及家具配件，或是進行較精密的輕微敲擊加工。



圖 2-8 圖釘鎚

(9) 砌磚(水泥匠)鎚 (bricklayer's hammer)重量約 24 盎司，鎚頭的上方呈楔型(圖 2-9)，適用於磚頭的切割和水泥牆面之鋪設。



圖 2-9 水泥匠鎚

2-1-2 羊角鎚之結構

作為本研究對象之榔頭，為海歲公司所生產之 Plumb 系列，一體成形羊角鎚，重量有 16、20、22、28 四種尺寸。所謂一體成形，是指鎚頭與握柄為一體的結構，製造時以鑄造的方式一體完成。以下配合圖 2-10，針對羊角鎚的基本結構作圖解說明：

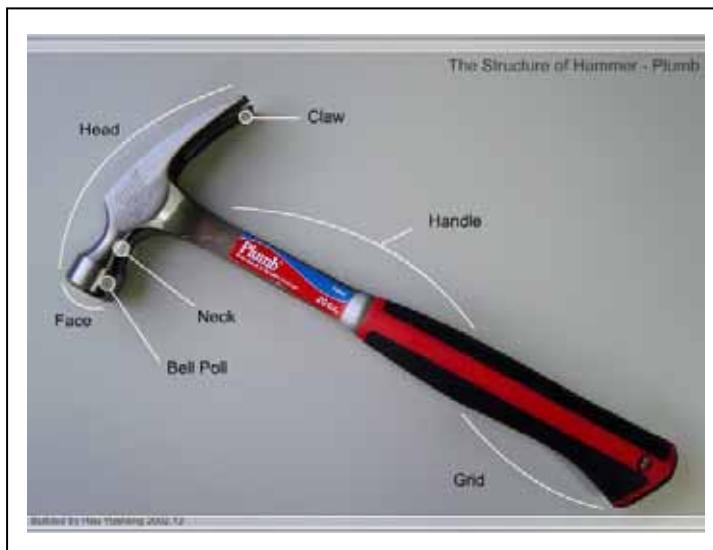


圖 2-10 羊角鎚結構說明圖

face(敲擊面)：也就是榔頭執行敲擊工作時，與被敲擊物體之接觸面

neck(頸部)：自敲擊面內縮的形狀，可以將施力集中，並傳至敲擊面。

bell poll(鍾)：敲擊碰撞之主要部份，承受敲擊面所遭受之撞擊。

claw(爪)：用途為拔釘，其結構上 V 形的倒勾可以將任何尺寸的釘子牢固夾住，並以拔除。

handle/grid(握柄/把)：使用者手握持的位置，是榔頭使用時唯一與人體接觸之部分，以提供使用者一個施力點。其材質與形狀的設計，在人因工程上有很大的意義，不但可以讓施力更有效率、增加減震效果、也可以保護使用者的手。

握柄與握把，是榔頭與操作者接觸的部位，使用者在操作時，直接由此感受到回饋。因此本研究即以此系列一體成形榔頭，在握柄部份的彎曲角度，作為實驗之研究重點之一。而榔頭的作用原理，是利用鎚頭部份的硬度與重量，將目標擊入或擊碎。若重量集中於頭部，應有助於利用鎚頭的重量來增加工作效率。但如此的設計也可能會對使用舒適度與安全性造成影響，因此權衡之下，最佳重量的分佈(重心的位置)應為何？有待進一步的探討。因此，榔頭重量分佈，也就是重心位置，是本研究探討的另一個重要主題。

2-2 上肢骨骼肌肉系統與生物力學

榔頭的操作主要由手部完成，因此要研究榔頭的設計，就應該先對於人體手部，及與榔頭操作相關的肌肉作基本的了解，以設計更適合人體的榔頭。本節以手部的生理結構為主軸，分別探討手的生理結構、運動分析、以及從生理解剖角度分析操作榔頭的揮擊動作。

2-2-1 上肢骨骼系統

上肢分為上臂與前臂。上臂以肱骨(humerus)為骨架。而前臂以橈骨(radius)與尺骨(ulna)為骨架，並以碗關節連接手掌；以肘關節與上臂的肱骨相接。圖 2-11 為上肢的骨骼相對位置，上肢上的多條肌肉與相關動作的命名，皆與骨骼有關。



圖 2-11 上肢骨骼結構

例如在水平面上靠大拇指側運動，也就是偏橈骨方向的運動，我們稱為橈偏 (radial deviation)；向小指側之運動，也就是偏尺骨方向的運動，則稱之為尺偏 (ulnar deviation)，如圖 2-12 所示。

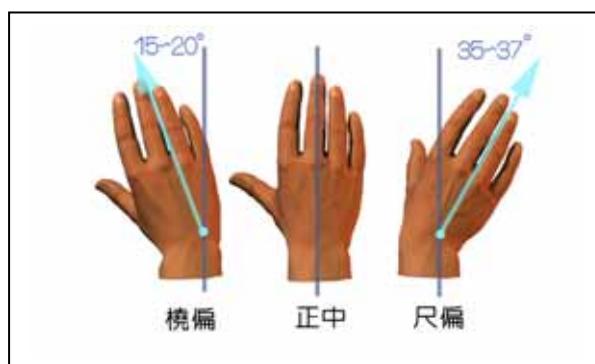


圖 2-12 橈、尺偏的動作

2-2-2 上肢骨骼肌系統與運作分析

控制上肢肌肉系統乃由骨骼肌 (skeletal muscles) 施力於肌腱 (tendon) 造成肌肉收縮 (contraction)，進而產生肢體動作。上肢動作分別由以下三種肌群同時發動完成：

- (1) 主動肌 (prime mover)：產生意識動作與收縮的肌群。
- (2) 抗拒肌 (antagonist)：負責相對鬆弛與收縮，以控制速度的肌群。
- (3) 協力肌 (synergist)：穩定肢體與提高效率的肌群。

肌群的收縮力量與手臂之執行動作有關，一般量測收縮型態方式有二種：

- (1) 靜態 (static) 狀況：對固定目標物所施之力持續增加，但肢體肌肉位移極微小，稱為等長肌力 (isometric strength)。
- (2) 動態 (dynamic) 狀況：量測在運動中的肢體所獲得之施力，稱為等張肌力 (isotonic strength)。在此時肌肉長度縮短，而肌肉張力維持不變。

上臂肌肉包括肱二頭肌、肱肌、肱橈肌、肱三頭肌、肘肌、旋前肌、旋後肌等。肱二頭肌、肱肌、肱橈肌收縮時產生下臂屈曲動作；旋前肌與旋後肌則是產生下臂內轉與外轉之動作。但是下臂屈曲的動作，主要肌肉還是由肱二頭肌(如圖 2-13)驅動；而肱三頭肌則是產生前臂延伸的主要肌肉如(圖 2-14)。



圖 2-13 肱二頭肌

肱三頭肌

圖 2-14 肱三頭肌

前臂之肌肉包括屈腕肌、伸腕肌、掌長肌、屈指肌、伸指肌、內收拇指長肌、外展拇指長肌及屈拇指長肌等，如圖 2-15。



圖 2-15 前臂肌群

手腕是一個相當複雜之關節，連接手掌與前臂。腕道（carpal tunnel）位於手腕之空穴，與許多小骨骼與韌帶連結，如圖 2-16 所示。腕道中有數條重要之神經、血管、肌腱通過此通道，使得手掌可以產生各種動作。根據人體解剖學的研究中發現，一般人手部橈偏動作可達 15~20 度；尺偏動作可達 35~37 度；掌屈伸展動作可達 85~90 度；背屈曲動作可達 75~80 度(圖 2-17)。由於腕道有大量之神經、血管通過，若過度的橈尺偏，或偏轉時不當施力，將使神經、血管受到壓迫，並造成受損，這種症狀稱為『腕道症候群(carpal tunnel syndrome)』(Armstrong, 1983)。

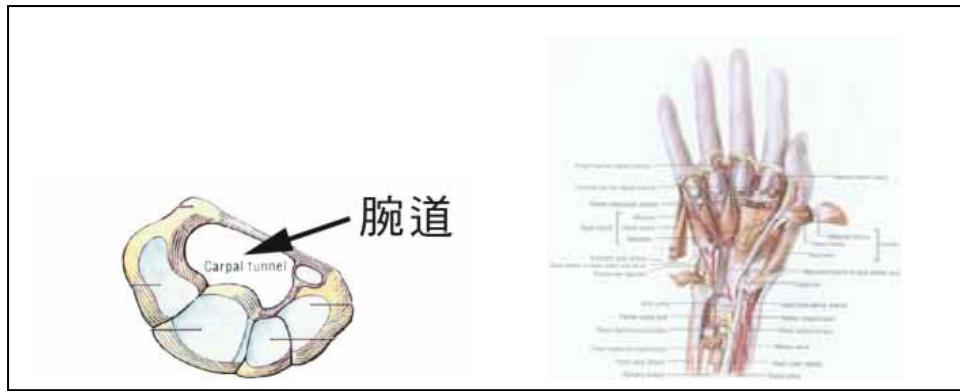


圖 2-16 由腕關節橫剖面所呈現的腕道(左)。通過腕道之神經、血管、肌腱圖(右)

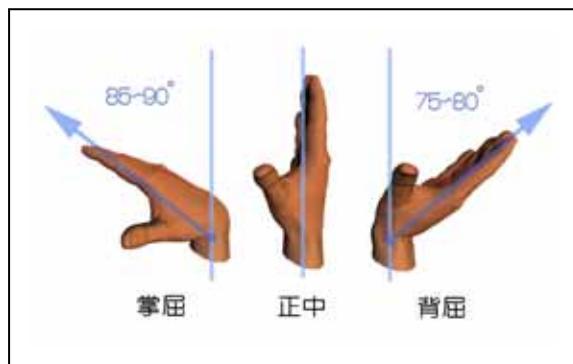


圖 2-17 手掌的背屈與掌屈動作

橈偏、尺偏與屈、背屈運動的產生，主要由兩個肌群控制，可分為伸肌群與屈肌群。橈側伸腕肌(extensor carpi radialis)、尺側伸腕肌(extensor carpi ulnaris)兩條伸腕肌如圖 2-16(左)，負責手腕向外伸展的動作，兩條肌肉均以其中一端附著於上臂肱骨，而另一端分別附著於前臂的橈骨與尺骨，因此而命名。橈側屈腕肌(flexor carpi radialis)、尺側屈腕肌(flexor carpi ulnaris)如圖 2-16(右)所示，其命名方式也與伸肌的命名方式相同。

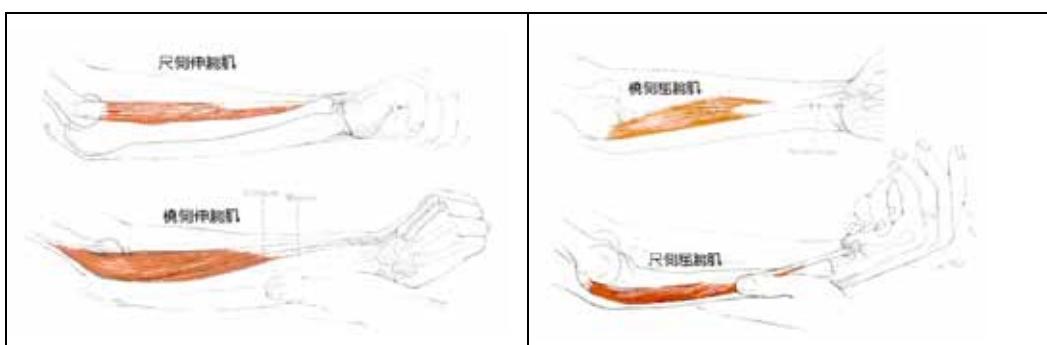


圖 2-16 前臂的伸腕肌群(左)，前臂的屈腕肌群(右)

2-2-3 從解剖生理學觀點分析榔頭之擊釘作業

使用榔頭敲擊鐵釘時，肢體主要物理機械運動有二種：一為肢體曲線 (curvilinear) 上任何點，做來回方向之平移運動，稱為『交互運動』(reciprocating motion)；一為肢體做來回方向旋轉運動，稱之為『擺動』(oscillatory motion)。以生物運動學而言，這兩運動乃肩屈曲與肘屈曲。交互運動為由肩部肌群控制的肩屈曲，主要由被擴肌等肌群控制。另外，由上臂肌群控制的肘屈曲擺動，主要為肱三頭肌與肱二頭肌收縮。而腕關節部份的轉動，主要由橈側伸腕肌、橈側屈腕肌、尺側伸腕肌、尺側屈腕肌等肌群控制。這些動作均由二個以上運動肌群控制。榔頭自高處往下擊 (down swing) 敲擊，敲擊完畢後再敲擊面將榔頭上揚 (up swing) 自最高點，下擊佔整個週期之三分之一，為加速階段提供敲擊所需之力；上揚則為減速過程，使肢體恢復至所需之高度。如此的反覆進行，完成複雜榔頭打擊作業。整個敲擊的作業中，肌群發動進行過程如表 2-1 所示：

表 2-1 榔頭擊釘動作分析表

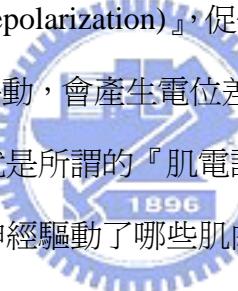
下 擊	部位	動作	運動肌肉	上 揚	部位	動作	運動肌肉
	上臂	肩屈曲→伸展	肩部肌群		上臂	伸展→肩屈曲	肩部肌群
	前臂	肘屈曲→伸展	上臂肌群		前臂	伸展→肘屈曲	上臂肌群
	腕關節	橈偏→尺偏	前臂肌群		腕關節	尺偏→橈偏	前臂肌群

2-3 肌電圖

本研究的實驗，主要利用肌電圖儀來偵測手臂使用榔頭時，肌肉的收縮狀況。因此，我們必須對於肌電圖的基本原理與操作方法，作基本的了解，本節以肌電圖為主軸，介紹其原理、種類、操作方式、以及訊號分析的方式，並介紹本研究實驗所使用的肌電圖儀。

2-3-1 肌肉的收縮與肌電圖原理

當腦部決定喚起某一肌肉收縮時，會利用神經將訊號傳至肌肉之運動神經，喚起所管轄的肌肉。肌肉中『運動終板(motor end plate)』誘發『去極化(depolarization)』與『再極化(repolarization)』，促使肌纖維收縮。在收縮的過程中，肌肉組織液中的鈉、鉀離子移動，會產生電位差。這些電位差的變化可以經由電極片傳導到儀器記錄下來，就是所謂的『肌電訊號(EMG, electromyography)』。所以肌電圖可以告訴我們，神經驅動了哪些肌肉收縮，以及肌肉收縮的程度。



2-3-2 量測儀器

個別肌肉或肌肉群收縮情況的量測方法之一，就是利用肌電圖儀量測刺激肌肉活動之電位變化。量測時將電極片裝置至於肌肉表面皮膚（surface）或針入肌肉內部（indwelling），以量測肌肉在活動時之微弱電流變化，再藉由增幅器加以放大記錄。量測肌電波之變化，可以得到下列資訊：

- (1) 特定肌束的活動水準。
- (2) 肌肉在活動過程中的發動順序。
- (3) 肌肉疲勞或疾病的識別或預測。

(4) 對於骨骼肌運動神經受損狀況之檢定

早在 1973 年 Khali 便提出肌肉之肌電訊號波形圖的繪製，其利用電極記錄肌電訊號（EMG）將之數量化，並提出解釋。一般而言，肌電波越大，參與活動之肌肉運動單位則越多，所以利用肌電圖可以推測局部肌肉活動的劇烈程度。而目前較常用的肌電圖儀可分為兩種電極形式，一種是以針狀電極作侵入式檢測；另一種是以表面金屬電極量測電位差之變化。針狀電極的運作方式為直接將電極針插入欲量測之部位，其可感測極細小區域的電位差變化，經過訊號處理，可以較精確了解肌肉收縮時，肌電圖所呈現出來的波形，一般用於肌肉與神經疾病之檢測。而表面電極（surface electrodes）的測量方式，是將電極貼在皮膚表面上，並在電極銀版與皮膚表面上塗上糊狀電解質(通常是氯化銀)，以接收皮膚下方表面肌肉活動電位變化，並將收集到之 EMG 訊號送入電腦系統計算，進行編輯分析解釋，整個過程如圖 2-17。所獲得之肌電圖，實際上是許多運動單位的活動電位總和，一般用於運動相關實驗與肌肉之觀察。過去研究中證實，使用表面電極片的測量可信度非常高，敏銳度也與針狀電極片一樣好(Horstman,1988)，且不必作侵入式的量測。因此許多學者認為，表面電極片是評估肌肉整體負荷的最佳方法(Hagber and Jonson,1975)。

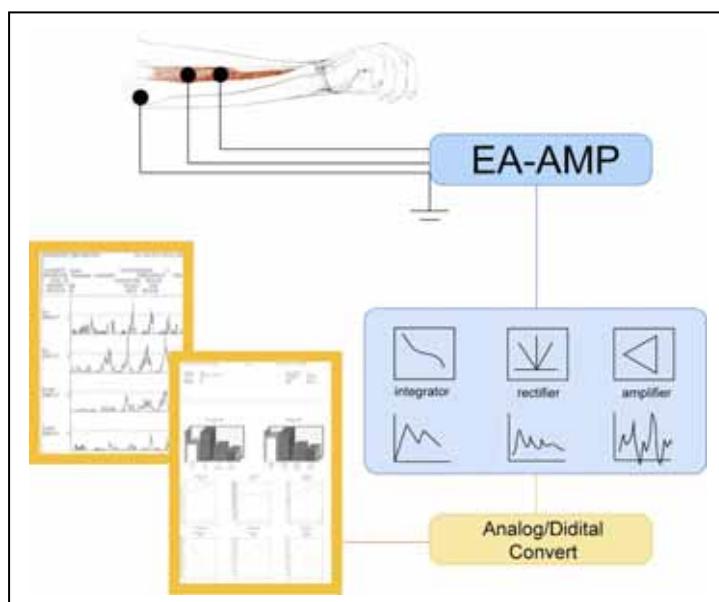


圖 2-17 肌電圖擷取與分析流程圖

2-3-3 操作方式

基於不同的需求，我們必須選擇適合的 EMG 儀。一般針狀電極 EMG 多半用於醫院的診斷工作，因為其需要作將電極插入肌肉深處，需要有長時間的訓練以及充足的醫學、解剖背景知識者才能執行測量；且轉換出的 EMG 波形必須即時被解讀，一般須由專業之醫務人員執行，因此不適合本研究之肌電測量。

本研究利用表面電極式 EMG 記錄肌肉活動電位，可以得到數條肌肉同時收縮時的狀態比較。其操作方式與針狀電極式 EMG 儀不同，我們可經由以下 EMG 之操作程序，獲得所需要之肌電訊號並加以分析：

- (1) 在受測者身上，選擇受測肌肉的皮膚表面，用酒精將其上面的雜質去除，並在肌腹上作記號。所謂肌腹是指肌肉最寬的部位，一般以觸摸的方式尋找。必須注意的是，大部分人的肌肉形狀與成長的方向，會因不同的生長環境，而有些許的差異，且肌肉上方的脂肪，也經常干擾肌肉位置的判斷。因此在判斷肌肉、肌腹的位置時，必須讓受測者重複作出該肌肉負責之相關動作，或是使該部位反覆出力，以免判斷錯誤。
- (2) 接著將自粘性正負電極貼片貼於肌腹上，相距約 3 公分(表面電極式肌電圖儀的電極，通常為正、負分開，因此量測某一肌肉時，必須同時將兩個電極黏貼於肌肉位置的表面皮膚，以獲得完整訊號)。作動態量測時可以用透氣膠帶加強固定，以免電極片鬆脫、移位，影響測量數據。
- (3) 將接地的參考電位電極貼片貼於沒有肌肉附著的部位，如膝蓋、手臂。
- (4) 將 EMG 儀歸零，並設定需要的頻道、取樣頻率、放大倍率、以及資料處理的方式。
- (5) 讓受測者開始動作，同時開始收錄訊號。此時 EMG 儀會同步將類比訊

號轉換為容易分析的數位訊號，並儲存分析結果。

2-3-4 EMG 訊號分析方式

EMG 訊號之分析處理包括前置處理與後段分析。Winter (1979) 將 EMG 訊號前、後置處理分為如下分類：

(一)、前置處理：

- (1) 全波形整流：將全部訊號轉換為正的數值。
- (2) 線型包絡：將整流過之訊號通過低濾波取得外型包絡。
- (3) 積分法：將全時段之訊號全波整流，然後將之積分處理，取得相對於時間的累積肌肉電流活動量。

(4) 固定時段積分法：類似積分法，但積分時間為一固定時段，一達到預定時段後，即將數值歸零。

(二)、後段訊號分析法：

- (1) NEMG (normalize EMG) (Lavender 1992, Mirka 1991)：利用個人肌群之最大肌電訊號作為基礎，將其他的肌電訊號，轉換為其相對百分比。經轉換為正規化的電位差單位(如 μV)，可供進一步分析之用。
- (2) APDF (Amplitude Probability Distribution Function) (Hagberg 1981, Johnson 1982)：將某一工作時段之肌電訊號收集後，依肌肉之振幅大小排序，成為振幅的累積分配函數 (APDF)，並依不同肌群給予不同負荷標準作為負荷參考。

2-3-5 本研究使用之肌電圖儀

本研究在實驗中所使用的肌電圖儀，是由 noraxon 公司所生產的，型號為 MIOSYSTEM 1200，最多支援 8 個頻道(channel)，取樣頻率可達每秒 3000 次，並可依照不同的需求加以調整。而各頻道所接收的訊號，可透過內建的處理器，作輸出前的計算與分析，也可以在輸出訊號時將各頻道的資料，作相互的比對與分析，屬於應用性十分廣泛的機種。在內定的程式中，針對不同的人體部位，均有設定標準的評估程序；但多半為用於運動與醫學用的動作分析與評估。由於內定的程序並沒有與榔頭使用相關的動作分析，因此本研究自行在其程式中編寫適合本實驗的程序，設定 4 個頻道，並調整適合的取樣頻率與放大倍率。

2-4 常見之骨骼肌肉傷害

根據 85 年勞工安全衛生研究報告(勞工安全衛生研究所，1986)，通常手部骨骼肌肉之職業傷害可分為：



- (1) 立即性傷害：瘀傷、裂傷、壓傷、扭傷等。多半由於不當的工作方式、經驗不足、不良的工具設計，以及不良的工作環境，在瞬間造成人體的明顯立即性傷害。由於其症狀顯著，較容易得到立即性的醫治，不易留下嚴重之後遺症。
- (2) 累積性傷害：肌腱傷害 (tendinitis) 如肌腱炎、腕道症候群(carpal tunnel syndrome)等。受傷部位通常感到麻木、發白(血液循環不良)、疼痛、喪失肌肉控制能力，或對冷熱敏感度降低等。這些多半是在不知不覺的情況下，長期以不當的姿勢工作，或使用設計不良的工具工作，使得身體持續受到累積性的傷害。由於其初期症狀不明顯，因此常被人們忽略，而在長時間累積之後，產生難以彌補的病變，或留下難以醫治的後遺症。

根據美國國家安全會議(the National Safety Council)在1973年的調查發現，使用手工具所引起的上肢傷害，佔所有工作傷害的6%。使用不同手工具，造成傷害部位、類型也不相同。

Aghazadeh 與 Mital 在1987年曾對由手工具引起之傷害做問卷調查，以瞭解相關手工具之發生頻率及嚴重性，並確定不同類型工具所造成之傷害問題。關於累積性傷害的發生類型，發生於手部與腕部傷害有肌腱炎、腕道症候群、白指症；發生於手臂與肘部的有網球肘、橈道併發症與伸肌肌腱滑膜炎；發生於肩部的有崗上肌肌腱炎。Kroemery 在1987年針對肢體運動與工作種類，所可能引發之累積性傷害製作成表 2-2。從表中我們可發現，除了反覆性的工作外，不當的運動方式如打網球，或是使用樂器如彈鋼琴等，也會造成累積的骨骼肌肉傷害(林合懿，2001)。

表 2-2 常見上肢累積性工作傷害



累積性工作傷害	上肢運動情形	工作種類
腕道症候群	反覆性屈曲或伸展 快速腕迴轉 強烈的腕運動與側偏 橈、尺側偏	榔頭操作 包裝 使用樂器 屠宰
肱上髖炎(網球肘)	反覆性旋前與旋後 強烈旋前伴隨伸展 強烈腕伸展	榔頭操作 零件組裝 旋轉螺絲起子 打網球
橈道併發症	反覆性腕屈曲伴隨臂旋前或旋後	使用手工具
白指症	握持振動性手工具 操作易阻礙血液循環的手工具	激烈榔頭敲擊 電動鋸

大多數的人會在意立即性的工作傷害，卻常常忽略了因長時間不當工作，所累積下來的傷害。然而，累積性傷害所造成的損傷，往往是難以彌補的。以人因工程的角度而言，累積性傷害是迫切的研究課題，其目的在瞭解傷害的發生原因，進而建立人因工程設計準則，並應用於手工具設計，與工作場所操作設置，以使其符合人因工程的考量，減少累積性傷害的產生。

2-5 累積性工作傷害的成因分析

累積性工作傷害，大多由於長期不當的工作方式，或使用設計不良的工具所致，以下將傷害的成因分為五個部份討論：

2-5-1 工作速率與工作負荷的影響

在合理工作速率下工作時，心搏率上升到某種程度後，就會維持在一定水準不變；而在較高速率工作時，心跳率則呈持續增加現象，如圖 2-19 所示。然即使在最佳工作條件下，人體勞動效率也只有 30%；其餘 70%的能量轉換為熱量消耗。一般的作業中真正活動效率連 30%都未達，其餘的能量，皆消耗在對付一些沒有效率的工具設備或工作方法。工作效率之基本公式如下：

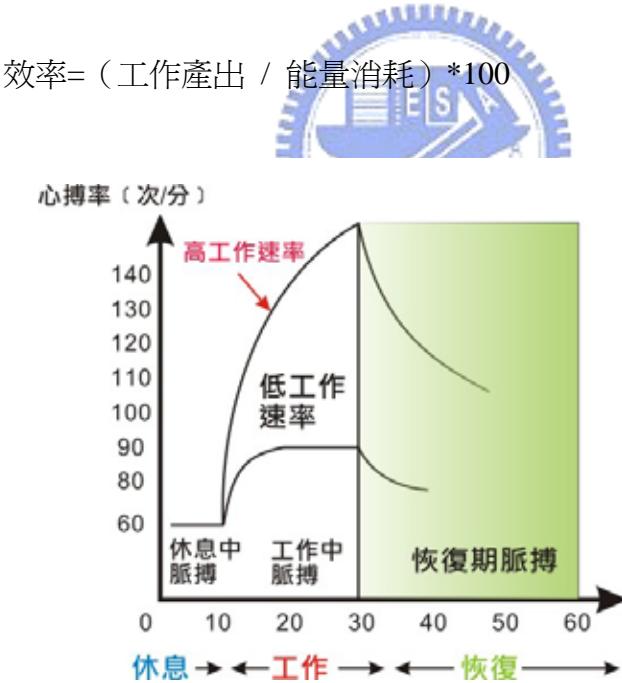


圖 2-19 心搏率與工作速率關係圖

不當的體力工作負荷，不僅無法有效增進績效，反而可能因為長時間過度體力負荷，而導致累積疲勞發生，甚至造成工作傷害。因此在工作的方式上，應該針對個人的身體狀況，選擇適當的工作模式，以免傷害身體。

2-5-2 振動力造成的傷害

大多的手工具在作業時，會有回饋震力產生，故許多操作者往往抱怨，電動或氣動手工具產生的振動力太大，直接對手部產生疲勞影響。由於使用震動力大的手工具，操作者必須施更大力量來維持平衡與握持，因此工作績效也相對降低。Armstrong、Radwin 與 Chaffin(1987)分析電動手工具振動對握力影響，發現振動頻率由零增加為 40Hz 時，平均握力增加 27%；而荷重由 1.5 公斤增加為 3 公斤時，握力增加 56%。握力的增加，代表的是肌肉必須負荷多餘的施力，不但工作效率降低，疲勞度也會增加。

2-5-3 重複性作業造成的傷害

作業的重複性頻率越高，其對相關的肌腱、韌帶、神經等組織的磨損越大，恢復疲勞所需的時間也越久。即使工作所需之力不大，但因『重複性』或『過度』的操作，也容易導致累積性工作傷害的發生。這種情況常發生在電腦鍵盤、滑鼠的長時間使用者，或是長時間工作的音樂工作者。(勞工衛生研究所,1997)

2-5-4 施力不當造成的傷害

操作工具時所施力量的大小，與整個上肢酸痛或傷害，有密切之關連。榔頭作業、木工鋸切作業等，都需靠手部、手腕、手臂來施與動力。不當的過大施力，容易在一瞬間造成肌肉組織的拉傷，成為立即性的傷害。而長期的過大施力，不但增加肌肉的負荷，容易造成肌肉、神經的累積性傷害。(勞工衛生研究所,民 86)

2-5-5 不良工作姿勢的問題造成的傷害

有時候由於手工具設計的不當，導致使用者必須以較大之施力，或是以不良的工作姿勢，甚至危險動作來操作工具。長時間不當的工作姿勢，除了降低工作

效率外，也容易造成累積性工作傷害。因此，有許多改良型的工具設計，如尖嘴鉗、彎柄鐵鎚、醫療注吸器、麗奇牙刷等，皆是為了讓使用者能有更佳更安全與省力的工作姿勢而設計（李芝慧，1999）。因此本研究也將以人因工程的角度，探討榔頭在改變設計之後，對於工作姿勢的影響。

2-6 使用榔頭之相關累積性工作傷害

在一項針對非動力手工具之使用狀況調查顯示，木工製造業中使用榔頭比例為 25.4%；機械製造則為 16.2%。而引起累積性傷害之手工具，木工製造業中，榔頭佔有 50%；而機械製造業中則榔頭佔有 40.4%（林合懿，2001）。

而在此調查中也顯示，上述二行業在右手腕傷害佔有 14.3~26.7%；右肩膀傷害佔 9.5%~18.8%。在上述的討論中提及，『重複性』與『過度的』工作會引起肩膀、手肘、手腕等部位的累積性作業傷害。其形成原因是長期不當壓迫上肢軟性組織所導致，這些組織包括肌腱、韌帶、神經、血管等。通常因職業上的不當因素所造成的機會較大，包括反覆性施力、過度施力、靜態肌肉負荷過大以及震動等因素。

由於榔頭設計為產生較大敲擊力，重心大多偏於前端。用此工具於敲擊前預備動作時，前臂產生前旋動作，腕關節產生橈側偏與背屈曲，容易造成網球肘；而於打擊瞬間，前臂強烈的旋前，且腕關節產生強烈尺側偏，此時容易造成肌腱炎。

使用者必須被訓練與學習，才能適應不同的工具與操作環境，進而增進操作技能。然而不良手的工具設計，事實上已經潛伏傷害或危險因素，即使經過訓練與學習，使用者可能仍不能因適應而除去這些傷害或危險因素。因此設計榔頭時，應分析榔頭的危險因素，設法將其排除，並建立標準作業手則，以利於使用者學習與健康維護，避免發生危害。

2-7 榔頭打擊作業之操作與介面分析

從上述之文獻討論可得知，榔頭打擊的作業是應用人體肌肉骨骼，與榔頭的介面和結構協調運作，所完成之結果。因此，人體與榔頭等因素，均會互相影響，而改變打擊的效果。以下討論使用榔頭打擊作業時，人體以及榔頭間會相互影響之因素，分為五個項目來討論。

2-7-1 握持力量

操作榔頭時，須以手掌施力握持。適當之握持力量，不僅可提高動作效率，也可增加敲擊之準確性。Plagenhoef(1982)指出，打擊前太早(約前 0.2 秒)增加肌肉張力，將導致疲勞並失去準確性；若太晚增加握力，則會影響打擊動作，且敲擊力量無法在連續動作中形成。握持力量之大小由屈指肌群作用產生。打擊力量越大，所需之握持力也相對增加。

但由於屈指肌群的施力不易單獨以 EMG 儀測量觀察，故本研究並未以握持力的量測，作為觀察施力的指標。

2-7-2 人體尺寸與肌力因素

手掌的長寬、肩高、手臂長度等人體尺寸因素，均會影響榔頭作業的結果，例如手臂較長者，可以提供較長的力臂，得到較大的衝擊力。而身體的肌力與耐力，也會影響操作時的工作表現。例如肌耐力強的人於榔頭打擊作業時，比較不易疲倦，並能維持良好的工作姿勢。

2-7-3 手部與榔頭界面之摩擦因素

為了增加榔頭在打擊作業中握持之舒適性，並避免握持榔頭鬆脫，需增加榔頭握柄表面之摩擦係數。因為摩擦力決定於摩擦係數與垂直作用力之大小，所以

握持表面材質及手部汗水都會影響到摩擦力。因此，應選擇軟質、抗汗及摩擦係數較大之握柄表面材料。

本研究所使用之實驗榔頭，均為軟質橡膠握把，並有止滑的紋理設計，在使用時以提供適當的摩擦力，增加施力時的穩定度，讓手部因握把材質不同所造成的誤差降到最低。

2-7-4 榔頭尺寸及重量

榔頭人因設計設計的造形因素包括：握把長度、握把斷面形狀、斷面尺寸，以及握把造形。握把長度會影響到榔頭端點敲擊力量大小、速度及準確性，也會影響手部負荷。若用於木工性質工作，榔頭握把應設計在 30 公分左右較為合宜。榔頭重量對腕部之橈一尺偏會有影響，相對也會影響手部負荷。其除了影響到工作效率外，也可能會對手部肌肉造成不健康的影響。

雖然尺寸與重量是影響操作的重要因素之一，但目前的榔頭設計中，不同重量的榔頭，多半被賦予不同的功能。同一型號不同重量的系列榔頭，主要的重量差異在鎚頭的部分，有時握柄長度也有差異，因而重心的位置也隨之改變。本研究將以同一型號同重量的榔頭為研究對象，改變其重心位置與握柄彎曲，如此可以將榔頭的型態限制於 DIY 族群的專用榔頭，且可以探討不同重心位置所造成的力矩，對於擊釘作業的影響。

2-7-5 打擊方式

擊釘作業時打擊力量的傳遞，從手、腕部送至榔頭，再由敲擊點送至鐵釘。因此，打擊點、打擊高度與工具在最高點時與鐵釘所呈的傾斜角，都會影響打擊效率。當目標物在身體中線正前方，打擊時手部會有尺偏及旋前動作，敲擊點位於視覺焦點上時，敲擊準確性可增加，因而提高敲擊效率。

本研究的第一階段實驗中，將更深入探討專業使用者與 DIY 使用者，在從事擊釘作業時姿勢的差異。並透過 EMG 值分析，了解此差異在舒適度與效率表現上之影響，以作為第二階段實驗分析的指標。

2-8 有關手工具之人因研究

目前手工具的人因研究多半針對手工具本身的設計來討論，透過了解使用者工作時，手部與工具介面的互動，從工作姿勢、肌肉的狀況，到使用者整體的舒適度等，來了解手工具是否對於人體有不良影響。本節分為以下幾個部分，討論有關手工具設計的研究：

2-8-1 握柄的長短、角度與直徑

握柄是手工具傳導力量的重要部份，他的長短關係到力臂的大小；而彎曲的角度，則對應於人體手掌與工作目標物的相對位置，對於操作的結果產生影響。不當的長度與角度設計，不僅減低工作效率，若常長時間操作，更容易造成骨骼肌的累積性傷害。

常見的例子如鍋鏟與炒鍋握把；經常炒菜的家庭主婦或廚師，即容易因不當的姿勢或選用設計不良的鍋鏟，而導致手腕肌腱炎的發生(蔡長昇，2001)。蔡長昇(2001)探討手柄長度(20、25、30 和 35 公分等四種)與提舉角度(15、25、35 和 45 度等四種)對於炒菜、翻菜和鏟菜的作業績效、疲勞程度和主觀偏好的效應。共有 16 位具有烹飪經驗的受試者(男性 8 位，女性 8 位)參與實驗，結果發現：(1) 鍋鏟手柄長度對於炒菜、翻菜和鏟菜績效均有顯著影響，炒菜以 20 公分最佳，35 公分最差；翻菜以 20 公分最好，35 公分最差；鏟菜則以 25 公分最優，35 公分最差。(2) 鍋鏟提舉角度對於炒菜、翻菜和鏟菜績效均有顯著影響，炒菜以 15 度最佳，45 度最差；翻菜以 15 度最好，45 度最差；鏟菜則以 25 度最優，45 度最差。(3) 在主觀偏好方面，受試者較偏愛的手柄長度為 25 公分，其次為 20 公

分，而提舉角度則較偏愛 25 度，其次為 15 度。

在炒鍋握把方面，在一項針對握柄角度與直徑的研究，以握環傾斜角度(0 度、30 度、60 度與 90 度)、握環直徑(0.67 公分與 1.2 公分)與翻炒物重量(200 公克與 400 公克)，對執行翻鍋作業時的效應進行實驗。實驗結果顯示握力下降比例，會隨握環傾斜角度的增加而遞減，且實驗所得出最易用來執行翻鍋作業的為握環傾斜角度 90 度及握環直徑 1.2 公分炒鍋；與市面上握環傾斜角度為 60 度及握環直徑為 0.67 公分的傳統炒鍋有明顯不同(黃世豪，2002)。

另外一個例子是刀具，尤其是常用的肉品處理刀。經常用於處理冷凍肉品及帶筋骨的肉品，若以不當的姿勢使用，或使用設計不良的產品，對於使用者手腕部分的肌腱，均會造成不良的影響。因此，改變握把的設計如彎曲角度，以減少手腕部分的橈、尺偏，將有助於減少使用者手部酸痛的症狀(王茂駿等，1996)。

在工作手工具方面，一項針對銼刀的研究(陳元和，1997)，針對操作姿勢、作業速度、作業精度、握力損失與受測者偏好評比五種效標，比較傳統直柄式平銼刀與人因彎柄式銼刀之差異。實驗結果顯示彎柄式平銼刀在受測者之右手腕作業姿勢、右手臂疲勞程度與受測者主觀偏好評比，均優於傳統直柄平銼刀。研究建議握柄為 50 度至 70 度之彎度較適合操作；其中又以 50 度為最佳，能保持手腕正直之作業姿勢。

另一項手工具的研究，是有關於木工手鋸握把設計對於使用者手部的影響(楊墩義 2002)。其針對市售常見的四種手鋸的握把，作舒適滿意度的研究；並以改良握把設計的實驗手鋸，作相同的舒適滿意度測試，結果發現改良後彎曲的握柄，使用者在使用後均有較佳的滿意度。

綜合以上的研究，我們可以發現手工具握把的角度，明顯與工作時手腕部分的橈尺偏有很大的關係。通常握柄的設計，若可以使工作時手腕部位保持正直，不但容易施力，而且可以減少手部的累積性工作傷害。

2-8-2 與手部接觸部分的形狀與尺寸

手工具的握把部分，是與使用者接觸最多的部分，也是操作時，施力傳遞的部位。然而，手掌是人體表面神經密集的區域，對於壓、痛覺十分敏感，因此使用握把設計不良的手工具時，通常手掌會有明顯的不適。一項對於手掌持續表面壓力(EASP)忍受度的實驗(Charlotte Franson-Hall & Asa Kilbom, 1993)，發現手掌中心的區域，是整個手部最敏感的地方，也就是對於持續壓力的忍受度最低的區域，其次是大拇指基部靠近手心的區域，再其次是手指的部位。因此，握把的形狀、尺寸設計的好壞，對於使用者的績效與舒適度，有可觀的影響。設計時應避免對於手掌施加過大的表面壓力，以免造成使用者的疼痛感。以下分為形狀與尺寸二個部分討論握把的設計。

握把的形狀最好可以符合人體手掌握持時，手心部分的彎曲弧度，以增加施力面積，減少疼痛(王茂駿等, 1996)。王茂駿(1996)在實驗中以 EMG 儀測量肌肉施力的狀況，發現握把符合手掌弧度的刀具，在使用中將減少手掌肌與屈指肌的負荷，且在『安全性』、『舒適度』、『省力程度』、『工作效率』四個項目的主觀評量中，均有改善的成果。

尺寸方面，握把的粗細，與使用者手掌的相對大小有很大的關係。較大的直徑可以增加工具的力臂，產生較大的力矩；但是太大的握把直徑（相對於手掌尺寸），也容易造成握持不穩定。太小的握把直徑，會造成施力接觸面積過小，引起手部疼痛。因此手工具握把粗細的設計，必須參考使用者的手掌尺寸統計，作適當的尺寸選擇，並配合工作需要，設計適當的尺寸。

2-9 有關榔頭握柄角度之相關研究

與前面小節所討論的手工具研究相似，榔頭相關的研究大都以榔頭握柄的彎曲角度作為其研究的對象；而評估的效標多半以手腕橈偏、尺偏的程度、工作後

的主觀喜好、及執行工作時的工作效率為主。這是由於使用榔頭時，通常伴隨強烈的橈偏與尺偏方向衝擊力，並在手掌上造成強大之壓力。長時間工作者也經常患有手腕部相關的『累積性骨骼肌肉傷害』，而這方面的議題，也經常成為榔頭設計研究重點。以下分別以研究分析評估的方式之不同，介紹國內外的榔頭設計相關研究。

2-9-1 彎曲握柄對握力衰減與手腕橈尺偏的角度的影響(Knowlton RG, 1983)。

Knowlton RG(1983)曾比較使用直柄與彎柄榔頭後，握力的衰減與手腕橈尺偏的程度。以直柄榔頭為對照組，彎柄榔頭為實驗組，為向榔頭鎚面方向彎曲約 19 度的握柄。實驗方式為讓 16 位受測者敲打 20 支事先固定於木板上的鐵釘(box nail)，記錄完成工作時間以及敲打次數，並比較其受測前後之握力。經過統計之後，發現使用彎柄榔頭後，握力衰減的程度較使用直柄榔頭後少 42%。可見彎柄榔頭在使用時比較不會造成手部屈指肌的疲倦，因而握力衰減程度較低。在橈偏與尺偏方面，發現使用彎柄榔頭時，受測者平均的尺偏角度是 3 度，較使用直柄榔頭時的 10.8 度小。因此推論使用約 19 度彎柄的榔頭，可以減少工作時手腕的尺偏達 6 度，對於手腕部分的肌腱、關節，有較好的影響。

2-9-2 受測者對握柄角度的主觀喜好。

Konz (1986)做了三個實驗，均為針對榔頭握柄角度對使用者主觀喜好的影響。實驗一中以一把 Stanley 直柄榔頭為對照組，長、短彎柄榔頭(Bennett 彎柄)各一把為實驗組，彎曲的角度均為向鎚面的方向彎曲 19 度(此角度為 John Bennett 在 1977 年修正托把握柄角度時所訂，後來 Bennett 陸續將 19 ± 5 度運用於其他手工具或運動用品手把設計，因此這角度的彎柄稱為 bennett 彎柄，但並沒有任何文獻指出當初 Bennett 如何求得此角度)。實驗的方式為要求受測者分別用這三把榔頭，以每分鐘 72 次的速度，敲擊事先固定於鋸檯上木板的 2-、4-、6-penny 釘

子(penny 為另一種釘子的編制系統，始於 14 世紀的英格蘭地區，當初的用意是買 100 根釘子所需要金錢，由於釘子的長短、形式不同，所用的材料多寡也不同，因此以 100 根某尺寸釘子的價錢，作為釘子的編制系統。由於近代材料發展迅速，釘子的種類已多樣化，penny 漸漸變為釘子長度的單位，與英吋的系統(英吋)共同為釘子的編制系統，其符號為 d，表 2-3 為英制單位與 penny 單位系統的對照表，因此本實驗所使用的 1.5 吋釘，以 penny 系統表示為 4 penny)。在實驗完成後，以語意差異問卷調查受測者的主觀喜好。經過統計之後，長、短兩把 Bennett 彎柄榔頭的主觀喜好度，均優於直柄的 Stanley 榔頭。

表 2-3 penny 系統與英制系統的對照表

Size	Length	Size	Length	Size	Length
2d	1"	8d	2 1/2"	30d	4 1/2"
3d	1 1/4"	9d	2 3/4"	40d	5"
4d	1 1/2"	10d	3"	50d	5 1/2"
5d	1 3/4"	12d	3 1/4"	60d	6"
6d	2"	16d	3 1/2"	80d	7"
7d	2 1/4"	20d	4"	100d	8"



實驗二則以一把 Stanley 直柄榔頭為對照組，五把握柄向鎚面彎曲 10、15、21、26、32 度的榔頭為實驗組(在研究的發表中，Konz 提及六把榔頭由於製作彎曲握柄的原因，造成重心有些微的差距，但並未討論由於重心位置的不同對於受測結果的影響)，並以受測者主觀喜好為評斷其優劣的標準。實驗的方式為要求 8 位受測者分別以各榔頭敲擊 2 支 4 penny 釘子，工作結束後以語意差異問卷調查受測者的主觀偏好。經過統計後，把握彎曲 10 度的榔頭，得到最高的喜好度，而經過回歸分析之後，則指出最理想的角度是 6 度左右。

實驗三以 30 位男學生為受測者，使用握柄角度分別為 0、10、15 度的榔頭，實驗中敲打 10 支 8-penny 的鐵釘各一下。工作完成後測量鐵釘被釘入的深度，並調查受測者的主觀喜好。經過統計之後，發現握柄角度的彎曲對於釘子被釘入的深度影響不大。但是主觀喜好的調查中，把握彎曲角度 10 度的榔頭，仍然最

受喜好。

經過三個實驗，Konz 歸納榔頭最佳的握把彎曲角度在 5~10 度之間，原因是彎曲的握把可以減低手腕橈尺偏的程度，使得使用時舒適度提高。

2-9-3 使用榔頭時的肌肉施力情形。

Schoenmarklin(1989)以直柄榔頭為對照組，握把向鎚面方向彎曲 20、40 度之榔頭為實驗組(圖 2-20)，要求 8 為受測者以每分鐘 57 次的速度敲打裝置在測力儀器上之鐵釘。並以 EMG 儀測量手部肌肉的施力狀態，同時測量手腕的角度。研究發現握柄的彎曲對於敲擊的力量並不會有太大之影響，對於手部肌肉疲勞度的影響也不明顯；但對於工作時手腕的角度，有明顯的影響。直柄的榔頭造成較小的橈偏和較大的尺偏；而隨握柄角度的增加，橈尺偏的程度則相互消長。

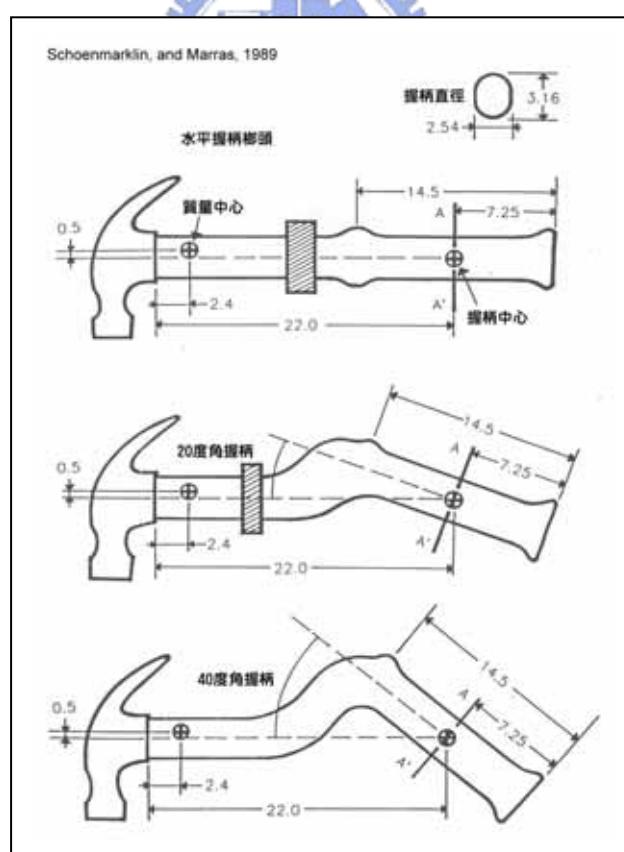


圖 2-20 Schoenmarklin 所使用的彎柄實驗榔頭

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，繪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(握柄向鎚面方向彎曲)，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鎚面的方向；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鎚面反向彎曲的榔頭，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，則增加與榔頭鎚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 羊角鎚為對照組，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 以量測擊釘作業時，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。

