

第六章 實驗結果分析

6-1 資料分析方法

本實驗之 21 位受測者，均為非專業之榔頭使用男性，也就是之前所定義之『DIY 使用者族群』。其相關之基本人體尺寸與生理指標，經過初步的測量統計，大致上呈常態分佈。但若與勞委會主計處所製作之『台灣地區勞工人口人體計測資料庫』中的統計資料比較，本研究之受測者在身高、體重、上臂圍、前臂圍、上臂長、與前臂長等平均尺寸，有些許之差異。推測可能是取樣差異所造成。由於本研究之受測對象為『DIY 族群』，且為了顧及實驗成本，所選之受測者均為交通大學學生，與一般勞工或許有些許差異，且年齡層的分佈也較狹窄，這可能是造成上述統計量差異的主要原因。但由於各受測者分佈仍在本研究探討之『DIY 族群』範圍內，對於本研究之影響不大，因此為有效之受測者。各項生理指標統計表如圖 6-1。



表 6-1 受測者生理指標敘述統計

項目	上臂長 (公分)	上臂圍 (公分)	身高 (公分)	肩高 (公分)	前臂長 (公分)	前臂圍 (公分)	握力 (公斤)	體重 (公斤)	體脂率 (%)
平均值	28.29	25.64	171.81	143.29	25.07	24.95	113.14	63.95	17.14
標準差	1.62	2.99	5.75	5.13	2.15	2.04	19.14	8.52	3.47

除了取得上述之生理指標作為參考之外，實驗中同時用肌電圖儀與電腦，記錄受測者使用每一把不同的榔頭擊釘時，手臂上受測的四條肌肉(橈側屈腕肌、尺側伸腕肌、肱三頭肌、肱二頭肌)，完成敲擊一根鐵釘入木頭，分別所負擔的百分比，及所花費的時間。在實驗中受測者均被要求作三個輪迴的極釘作業，實驗之後經初步的觀察，發現第一回的實驗數據普遍與第二、第三次的數據差異較大，因此本研究將捨棄第一次的實驗數據，以第二、三次數據的平均，作為統計分析的資料。這些資料以統計軟體 SPSS『重複量數』模式的二因子多變量分析，討論握柄角度與重心位置兩變因，對榔頭擊釘作業的影響。下面以三個部分來分

析討論討論：

第一個部份是『舒適度』的分析。第一階段的實驗中，我們了解一般使用者，在使用榔頭敲擊鐵釘時，手部四條受測肌肉中，負擔比例最大的，是前臂上的橈側伸腕肌，也是造成使用後前臂酸痛的主因。所以，本研究將『降低橈側伸腕肌負擔』，解釋為『舒適度的指標』；也就是以橈側伸腕肌負擔的程度，判別某一把榔頭是否為『使用舒適』之榔頭。

第二部份是『效率』的分析。將受測者使用某一把榔頭時，將一根釘子完全敲入木頭所花費的時間，作為判斷『工作效率』的指標。在此次實驗的過程中，同一位受測者在充分的休息之後，經過肌電圖測量，個人的肌電峰值並沒有明顯增加，表示肌肉並沒有顯著疲累，且擊釘作業不夠多到會使技巧增進。因此，比較同一個受測者，分別使用 21 把榔頭的工作時間，便可以選出相對有效率之榔頭，並進一步統計最具有工作效率之榔頭編號。

第三部份是『姿勢校正』的分析。在實驗一中，我們了解一般使用者與專業使用者之間，在使用榔頭上的差異，於肱三頭肌的使用程度。所以，本研究將分析受測者在使用不同榔頭時，上臂肱三頭肌的負擔比例，以此來衡量受測者傾向專業姿勢的程度。當上臂肱三頭肌使用比率高時，代表受測者手臂有較大的擺動，相對趨近於『專業使用者』的工作模式。若受測者在相同條件下，使用某一編號榔頭之後，在工作姿勢上有傾向『專業使用者』之改變，則表示此榔頭對於工作姿勢的矯正，有正面之影響力。

因為本研究之實驗設計為完全受試者內(within subject)，其變異數分析要用『重複量數多變量分析法』屬於多變量分析的一種模式，其分析的方式為：指定實驗因子，則這些因子會將母群分成數個組別。用這個一般線性模式程序，來檢定受試者內因子效應的虛無假設。也可以研究因子之間的交互作用，以及獨立因子的效應。除此之外，也可以研究常數共變量的效應，以及共變量跟受試者間因

子的交互作用。

本研究在各受測者相對應之 21 組 EMG 資料中，將 3 個重心位置與正交的 7 個握柄角度定義為分組變數，以 Pillai's Trace、Wilks' Lambda 變數選擇法、多變量顯著性檢定、Roy 的最大平方根等四種方法，計算兩個變因分別與交互影響下的相關係數，以檢定各變因對舒適度影響的相關程度。除此之外，將對舒適度指標計算其邊際平均，並繪製其單一變數與交互影響之下之剖面圖，以分析改變變因之下，舒適度改變的情形。

在做完舒適度、效率、姿勢三項變異數分析之後，本研究將以相關分析，了解在實驗中的兩個變因的影響下，舒適度、效率、姿勢三項指標之間，是否存在相依或相斥的關係，並作綜合的討論。若三者存在明顯之相關，則表示舒適度、效率、姿勢三項指標間，有互相關聯之效應，由其中之一的指標就可找出兼具舒適度高、良好效率、姿勢矯正的榔頭。若相關程度不高，則表示本實驗中，各樣本間在三項指標之間，必須針對各指標分開個別解釋之，以找出在各項指標中優勢的樣本。

在了解各指標之間的關係後，本研究將以設計適合的綜合指標，以回歸分析法，針對榔頭重心位置與握柄彎曲角度，求出其對於兩變項之間的關係式，在實驗變數範圍內(握柄彎曲角度-15~15 度，重心位置距離頭部 10、14、18 公分)，以及合理的樣本外部，預測最佳的變因組合，以作為設計的參考。

6-2 舒適程度分析

本研究舒適度的檢定，以橈側伸腕肌在四條受測肌肉中的收縮比例作為指標；比例越小，表示其負擔越少，由實驗一的分析中，定義其為舒適度較高。經過初步的資料處理之後，將所有受測者肌電圖資料，以榔頭編號分組，計算平均數與標準差，並表示如圖 6-1。

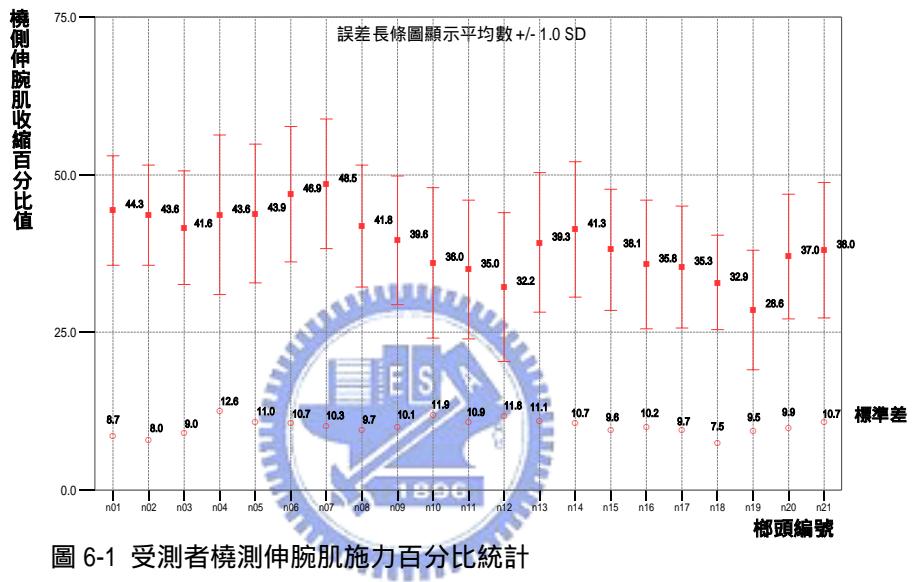


圖 6-1 受測者橈側伸腕肌施力百分比統計

在圖 6-1 中，不同編號榔頭對應平均數差異頗大，表示舒適度指標在不同榔頭間存在著差異。而標準差在 7.5 到 11.9 之間，表示各受測者使用同一把榔頭時，所測出之數集中程度低，受測者間差異大。原因可能是由於每一位受測者生理的差異，再加上對於敲擊鐵釘之動作，有不同的本質上差異所致；因此橈側伸腕肌的收縮程度不盡相同。

為了解榔頭握柄角度，以及重心位置兩個變數，對於敲擊鐵釘的動作中，受測者橈側伸腕肌的工作負擔比例，是否有顯著的相關，我們以 SPSS 軟體做進一步的多變量分析，以『重複量數』模式作變異數分析，以 Pillai's Trace、Wilks' Lambda 變數選擇法、多變量顯著性檢定、Roy 的最大平方根等四種方法分析之後，得到多變量檢定表如表 6-2。

表 6-2 重心與角度對舒適度影響之顯著性分析

效應項	F 檢定	顯著性
重心	97.548	.000
角度	51.689	.000
重心*角度	7.704	.002

表 6-2 中，重心位置的項目經各種方式之統計，顯著性 $P=0.00<0.05$ ，表示榔頭重心位置，對於橈側伸腕肌的負擔百分比，有顯著的作用。而握柄角度的項目，顯著性 $P=0.00<0.05$ ，亦表示角度變化項目，對於橈側伸腕肌的負擔百分比，有顯著影響。若討論重心位置與握柄角度之交互作用，則 $P=0.02<0.05$ ，顯著程度雖稍降低，但仍可以解釋為有顯著影響。因此，本研究結著分別針對握柄彎曲角度、重心位置兩項變因，以及其交互影響之效果，估算其邊際平均，並繪製線型圖，以了解各變因變化時，對於舒適度指標影響的趨勢。

經過計算之後，單以重心為變量，或單以角度為變量，橈側伸腕肌工作負擔比例的估計邊緣平均數，可整理為圖 6-2、6-3。從圖中數值的變化，可以觀察單獨變項對舒適度的影響。

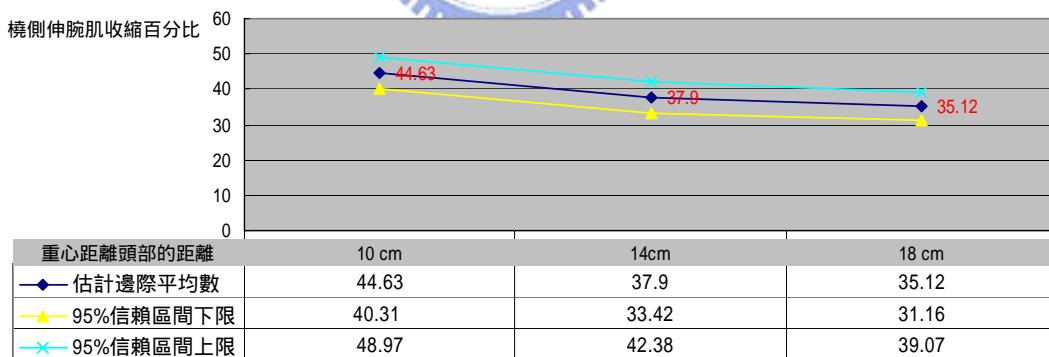


圖 6-2 對舒適度以重心為變數所估算之橈側伸腕肌邊際平均

從圖 6-2 中，可以看出若單以重心位置為變數，其對應之邊際平均，隨著重心向握把部分的偏移，從 44.6 降到 35.1，有明顯的下降之趨勢。此結果可以解釋為：以相同握柄角度角度之榔頭而言，榔頭重心向手把部份移動，對橈側伸腕肌的負擔，有降低的效果；也就是具有較佳的舒適度。

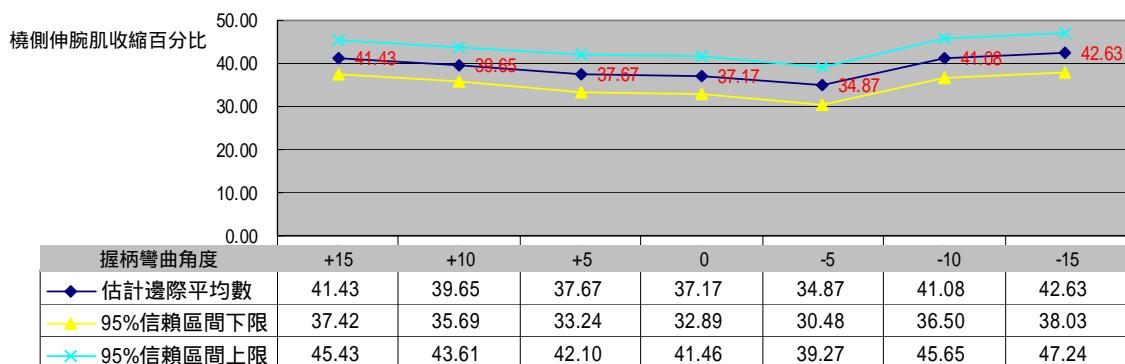


圖 6-3 以握柄彎曲角度為變數所計算之估計邊際平均

而單就角度而言，從圖 6-3 的估計平均中，可以看出其隨著角度的變化，呈現先遞減後增加的趨勢，在-5 度時，為估計平均之最低值。也就是使用握把彎曲角度-5 度的榔頭敲擊鐵釘時，可使橈側伸腕肌的工作負擔百分比降到最低，得到較佳的舒適度。而隨著握柄向-5 度前後兩個方向的角度彎曲變化，受測者擊釘時橈側伸腕肌的工作負擔百分比，都有增加的趨勢(舒適度降低)。

將握柄角度變化，以及榔頭重心位置變化兩項因，合併作交叉影響的分析，並估算其邊際平均值。將所有數值以榔頭重心分為三組，每一組有 7 個不同的角度，依編號分別是 15、10、5、0、-5、-10、-15 度，並將對應之邊際平均數整理為表 6-3。

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

		重心距離頭部距離		
		10	14	18
握柄彎曲角度	15	44.333	41.810	38.143
	10	43.571	39.619	35.762
	5	41.619	36.048	35.333
	0	43.619	35.000	32.905
	-5	43.857	32.190	28.571
	-10	46.905	39.286	37.048
	-15	48.524	41.333	38.048

另外，依照其邊際平均值，分別以重心、角度為剖面製作剖面圖，如圖 6-4、6-5，以觀察變數改變時，舒適度指標隨之改變的趨勢，以及各變數間的交互影響。

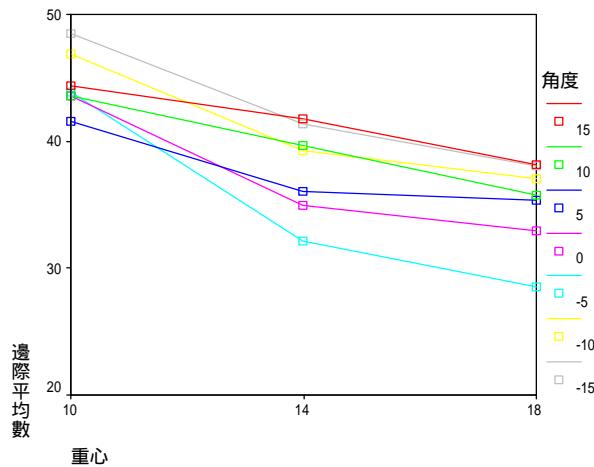


圖 6-4 以重心為剖面對舒適度作估計平均圖

由圖 6-4 中，各線條代表同一握柄角度，但不同重心系列之實驗榔頭的資料，各線條隨著重新位置向握把方向偏移而向下傾斜。以個別角度而言，最能讓橈側伸腕肌工作負擔比例降低的角度是-5 度，也就是向鎚面反向彎曲 5 度的榔頭。而從圖中可以發現，此角度必須配合重心分別距離頭部 14 與 18 公分，才可增加使用的舒適度；若與重心距離頭部 10 公分搭配，並非最良好效果。另外，從線條交錯的情況也可以發現，在重心與角度的交互作用中，以心距離頭部 10 與 14 公分兩組較明顯，顯示兩個變因的交互作用，其介入較為顯著。

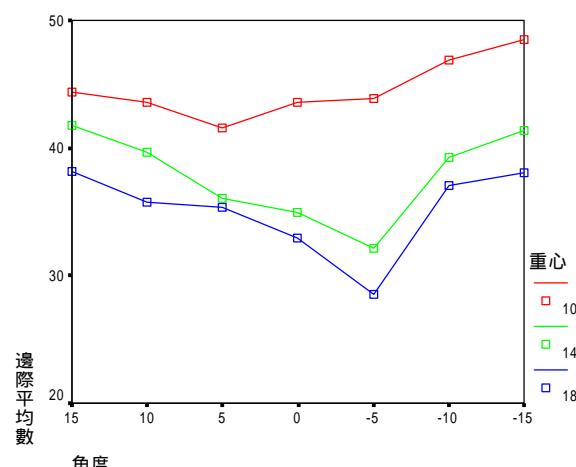


圖 6-5 以角度為剖面對舒適度估計平均圖

由圖 6-5 中，三條線代表三種不同重心位置的系列榔頭之測量結果，線條位置的由高而低分別為重心距離頭部 10, 14, 18 公分的系列。由三條線的位置來看，重心距離頭部的距離，與橈側屈腕肌的負擔為負相關，也就是重心距離頭部越遠，受測者橈側屈腕肌的負擔就越小，為舒適度高。就線條型態而言，重心 14 公分與重心 18 公分線條的形狀較相似，而與 10 公分較不相似，表示角度的變化，在重心距離頭部 10 公分時，才有顯著之交互影響。重心距離頭部 10 公分時，再配合-5 度的握把彎曲時，會使橈側伸腕肌負擔最低。但在重心距離頭部 14 及 18 公分時，配合各種角度變化，有較相近的變化模式，都以-5 度為最佳舒適角度。而就整體交互影響而言，在所有的實驗樣本中，重心距離頭部 18 公分與握柄彎曲為-5 度的組合(圖 6-6)，為最佳舒適度的組合。

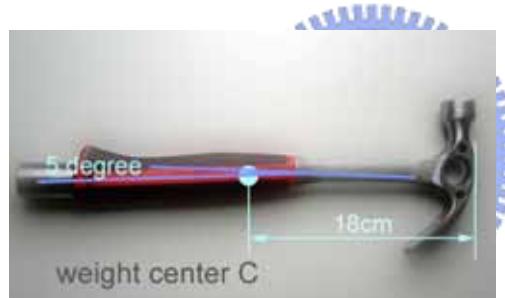


圖 6-6 最佳舒適度之變因組合榔頭

6-3 工作效率分析

本研究工作效率的檢定，以使用某榔頭工作時，完全將一根鐵釘擊入木頭內所需花費的時間(單位為 1/10 秒)作為指標；花費時間越少，表示其工作效率越高。將記錄下來之工作時間，以榔頭編號分組，計算各受測者之平均數與標準差，並表示如圖 6-7，紅點為平均數，紅線為加減一標準差的範圍。

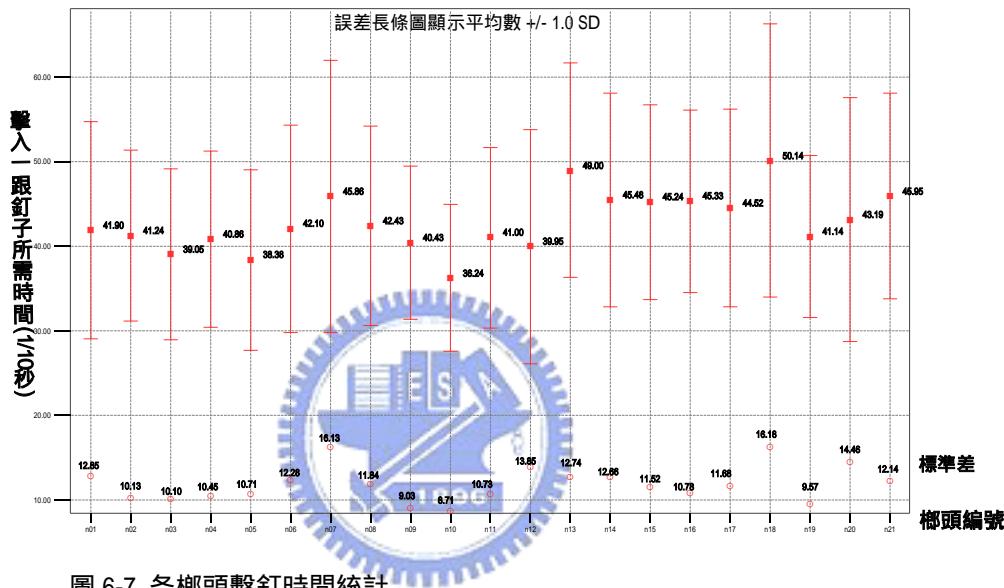


圖 6-7 各榔頭擊釘時間統計

在圖 6-7 中，不同編號榔頭對應平均數差異頗大，表示工作效率指標在不同榔頭間存在著差異。而標準差在 8.7 到 16.1 之間，說明了受測者間的差異大。這可能是由於每一位受測者的生理差異，與對於敲擊鐵釘習慣有所不同所致。例如有些受測者力量較大，且習慣用力敲打，以較短的時間完成擊釘作業；而有些受測者則較小心謹慎，每次揮擊的力道較小，相對花費較多時間完成。因此我們必須以統計的方法，找出各受測者對於不同榔頭作業效率共通的趨勢。

為了解榔頭握柄角度，以及重心位置兩個變數，對於敲擊一根鐵釘進入木頭，所需要的工作時間，是否有顯著的影響，我們以 SPSS 軟體做進一步『重複數量』變異數分析，經過 Pillai's Trace、Wilks' Lambda 變數選擇法、多變量顯著性檢定、Roy 的最大平方根等四種方法分析之後，得到統計檢定表如表 6-4。

表 6-4 重心與角度對效率影響之顯著性分析

效應項	F 檢定	顯著性
重心	3.786	.041
角度	4.114	.012
重心*角度	2.011	.150

表 6-4 中顯示，重心位置的變項影響顯著性 $P=0.041<0.05$ ，表示榔頭重心位置，對於完成指定工作所需要的時間，有顯著的影響。而握柄角度方面，顯著性 $P=0.012<0.05$ ，亦表示握柄角度變化，對於完成指定工作所需要的時間，有顯著相關。若將重心位置與握柄角度之交互影響合併計算，則 $P=0.150<0.05$ ，顯著程度低於一般水準，表示合併兩項變因交互，對於受測者完成工作時間的變化，不具相關性的影響。

針對握柄角度，以及重心位置兩個項目，估算其對應於工作完成時間的邊緣平均數，分別整理為圖 6-8、6-9。

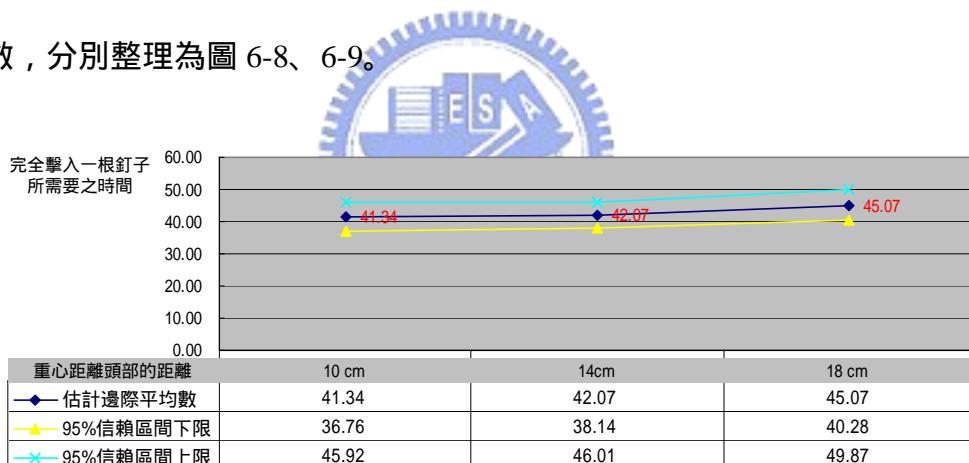


圖 6-8 對效率以重心為變數所估算之邊際平均

從圖 6-8 的估計邊際平均中，可以看出若單以重心位置為變數，其對應之估計邊際平均，隨著重心向握把方向的偏移，從 41.3 升到 45.0，有明顯的上升趨勢。此結果可以解釋為：以相同握柄角度之榔頭而言，榔頭重心向手把部份移動，會使得完成工作的時間，有增加的趨勢，也就是在擊釘作業時績效較差。

而單就角度而言，從圖 6-9 的估計平均中，可以看出，先隨著編號的遞減，但在編號 4 號角度上，有一高於兩邊之數值，之後又回到隨編號而增加的趨勢。在編號第 5 號，為估計預測平均之最低值。也就是-5 度的握把彎曲角度，可以使

得使用者再敲擊鐵釘時，將一根鐵釘完全釘進木頭，所需的時間花費降到最低。

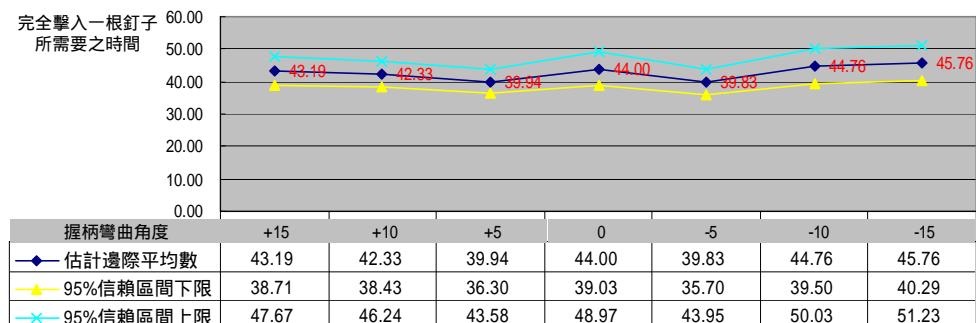


圖 6-9 對效率以重心為變數所計算之邊際平均

由之前的相關分析中，我們得知握柄角度與重心位置兩項變因合併之後，對於效率影響的顯著性 $P=0.150 < 0.05$ 低於標準，在此不討論兩變項交互效律影響的剖面圖，僅計算其邊際平均數，以找出樣本中的最佳組合。所有榔頭以中心分為三組，每一組有 7 個不同的角度，並將擊釘時間之估計均數整理為表 6-5。

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

		重心距離頭部距離		
		10	14	18
握柄彎曲 角度	15	41.905	42.429	45.238
	10	41.238	40.429	45.333
	5	39.048	36.238	44.524
	0	40.857	41.000	50.143
	-5	38.381	39.952	41.143
	-10	42.095	49.000	43.190
	-15	45.857	45.475	45.952

就整體交互影響而言，實驗樣本中，重心位置距離頭部 14 公分，與握柄角度 +5 度的組合(圖 6-10)，為最佳效率的組合。



圖 6-10 最佳效率之變因組合榔頭

6-4 專家姿勢傾向分析

專家姿勢傾向性的檢定，以肱三頭肌在工作中的負擔比例作為指標；當比例越高，在第一階段的實驗分析中，定義此工作模式，是越接近專業使用者的模式，也就是主要以肱三頭肌帶動手臂的工作模式。在初步的統計中，將肌電圖資料，並以榔頭編號作為分組，計算其平均值與標準差，並製成圖 6-11。

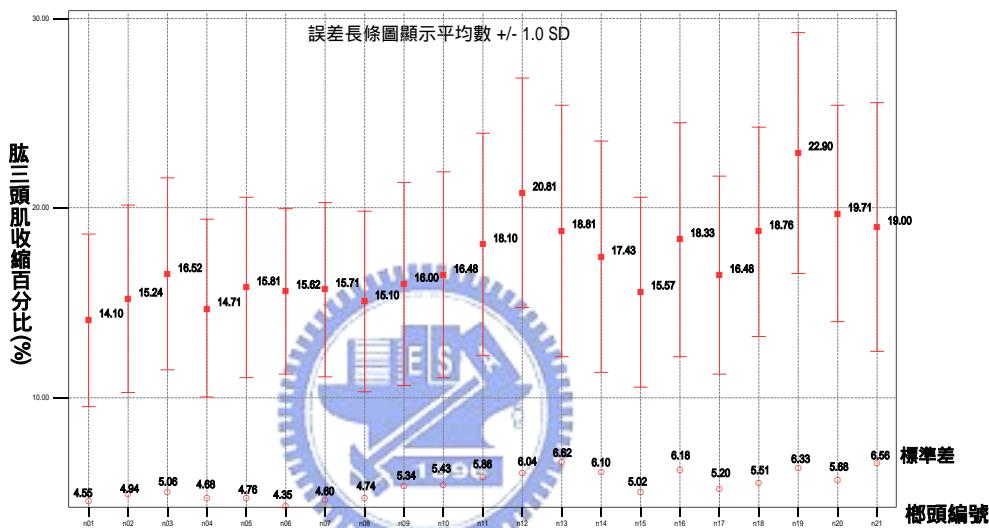


圖 6-11 受測者肱三頭肌施力百分比統計

在圖 6-11 中，不同編號榔頭對應平均數差異頗大，表示此指標在不同榔頭間存在著差異。而標準差在 4.5 到 6.6 之間，表示受測者間差異大，這可能是由於每一位受測者生理的差異，以及對於敲擊鐵釘之作業，有不同的習慣差異所致，因此肱三頭肌收縮的程度亦不盡相同。

為了解榔頭握柄角度，以及重心位置兩個變數，對於敲擊鐵釘的動作中，受測者肱三頭肌收縮百分比，是否有顯著的差異，我們以 SPSS 軟體做進一步的『重複數量』模式變異數分析，選擇 Pillai's Trace、Wilks' Lambda 變數選擇法、多變量顯著性檢定、Roy 的最大平方根等四種方法分析之後，得到統計檢定表 6-6。

表 6-6 重心與角度對姿勢影響之顯著性分析

效應項	F 檢定	顯著性
重心	17.415	.000
角度	12.649	.000
重心*角度	4.097	.021

表 6-6 中，重心位置在各種方式統計之顯著性 $P=0.00<0.05$ ，表示榔頭重心位置，對於肱三頭肌的負擔百分比，有顯著的影響。而握柄角度的變項，顯著性 $P=0.00<0.05$ ，亦表示其對於肱三頭肌的負擔百分比，有顯著影響。若將重心位置與握柄角度之交互影響合併考慮， $P=0.021<0.05$ ，顯著程度稍微降低，但仍有顯著影響。

針對握柄角度，以及重心位置兩個變項，對其對應之肱三頭肌工作負擔比例，估算其平均，整理為圖 6-12、6-13。

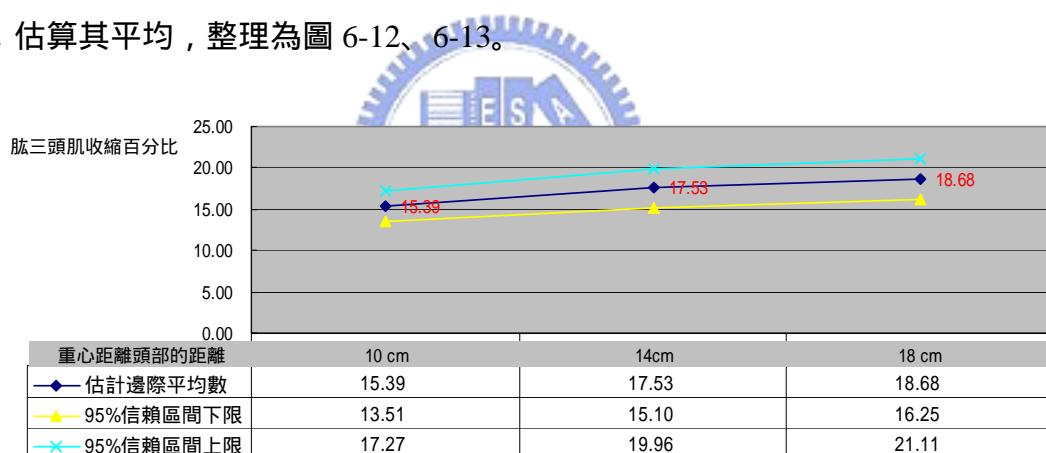


圖 6-12 以重心為變數所估算之肱三頭肌負擔比例邊際平均

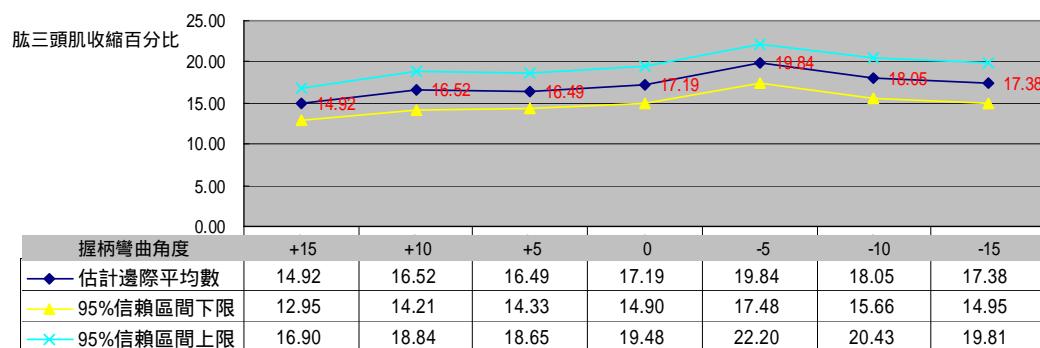


圖 6-13 以角度為變數所計算肱三頭肌負擔比例之估計平均

從圖 6-12 中，可以看出若單以重心位置為變數，估計平均隨著編號的遞增，從 15.4 升到 18.7，有明顯的上升之趨勢。以相同握柄角度角度之榔頭而言，榔頭重心向手把部份移動，對增加肱三頭肌的使用率，有顯著增加的影響。

而單就角度而言，從圖 6-13 的估計邊際平均中，可以看出其隨著編號的遞增，呈現先增加後遞減的趨勢。在編號第 5 號，為估計預測平均之最高值；也就是 5 度的握把彎曲角度，可以使得使用者在敲擊鐵釘時，肱三頭肌的工作負擔百分比到達最高，較接近專家的姿勢。而在 -5 度彎曲榔頭前後編號之榔頭，其對應之肱三頭肌使用率，有遞減之趨勢。

將握柄角度變化，以及榔頭重心位置變化兩項變因，合併作交叉影響的分析，並估計肱三頭肌收縮百分比的平均值。將所有榔頭以重心分為三組，每一組有 7 個不同的角度，並將其對應之估計平均數整理為表 6-7。

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

		重心距離頭部距離		
		10	14	18
握柄彎曲角度	15	14.095	15.095	15.571
	10	15.238	16.000	18.333
	5	16.524	16.476	16.476
	0	14.714	18.095	18.762
	-5	15.810	20.810	22.905
	-10	15.619	18.810	19.714
	-15	15.714	17.429	19.000

為了方便觀察表 6-7 數值的變化，分別以重心位置、角度製作剖面圖，以觀察變數改變時，肱三頭肌收縮百分比隨之改變的趨勢，以及各變數間的交互影響，如圖 6-14、6-15。

由圖 6-14 中，各線條代表同一握柄角度，但不同重心系列之榔頭，所測得之肱三頭肌負擔百分比平均值。圖中顯示只有角度 5 度隨著重心向握把偏移而遞減。10 度為開口向上之折線，其餘均為開口向下之折線，且估計邊緣平均隨著

中心編號的增加，普遍有上升的趨勢。以角度而言，最能使肱三頭肌的工作負擔百分比增加的角度，是編號 5 號(-5 度)的角度，也就是向鎚面反向彎曲 5 度的榔頭。但從線條交錯的情況，顯示在重心位置，以及角度變化兩項變因有顯著之交互作用明顯，個別變因的影響相對較不顯著。

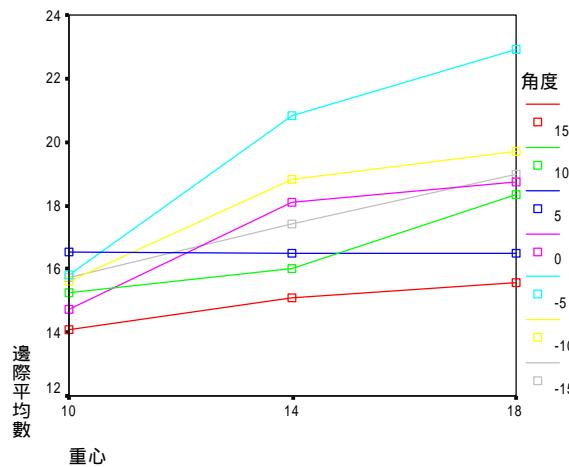


圖 6-14 以重心為剖面對姿勢指標估計邊緣平均圖

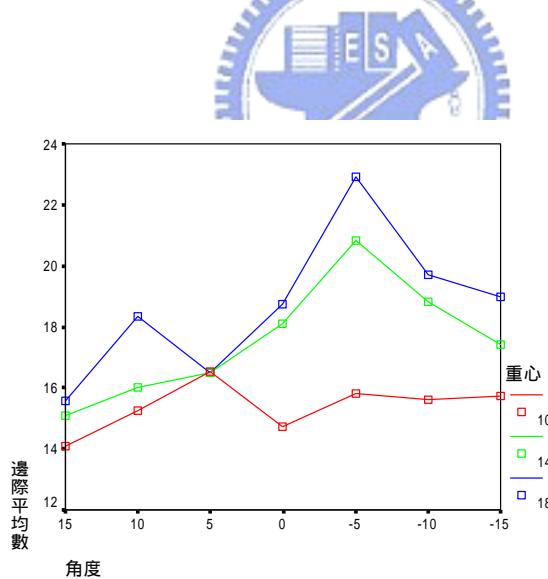


圖 6-15 以重心為剖面對姿勢指標估計邊平均圖

由圖 6-15 中，三條線代表三種同重心位置的系列，線條位置大致隨著重心往握把方向的偏移，有往上移動的趨勢，顯示重心位置向手把方向移動，將有助提高肱三頭肌的使用比率，相對減少前臂的負擔，進而降低前臂疲勞度。就線條形態而言，重心距離頭部 14 公分與 18 公分兩組線條的形狀較相似，而與 10 公分較不相似；表示角度的變化，在這兩個重心位置之間，才有顯著之交互影響。

重心位置距離頭部 10 公分，再配合 +5 度的握把彎曲時，會使肱三頭肌使用率相對提高。而重心位置距離頭部 14,18 公分時，隨著角度的改變，有較相近的變化模式，以 -5 度的握把彎曲為最佳工作姿勢角度。而就整體交互影響而言，重心位置距離頭部 18 公分，與握柄角度 -5 度的組合(圖 6-16)，為最佳效率的組合。

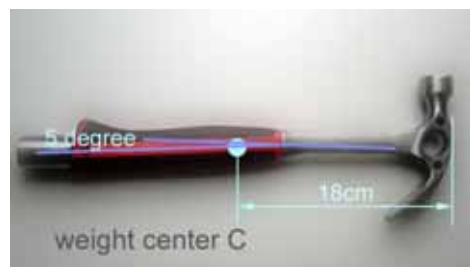


圖 6-16 最佳姿勢矯正之變因組合榔頭



6-5 各項指標相關分析

了解不同的變因組合，分別對於舒適度、工作效率、與工作姿勢的影響之後。本研究將綜合以上分析，把各個分析指標的估計平均，以統計軟體重新計算其 Z 分數。其中代表舒適度指標的橈側伸腕肌施力百分比，及代表效率的時間，均以數值較小者為佳值，與代表專家姿勢趨向的三頭肌施力百分比取其大值為佳相反，因此在計算時，將其正負號調整，使其較容易作比較與判讀。計算完後依照重心的編號的順序分為三組，每一組有七個間隔 5 度的角度組合，順序從 15 度到-15 度，並分別對應舒適度、工作效率、與工作姿勢三個指標，列出計算出的 Z 分數，如表 6-8。

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

各樣本對應之 Z 分數				
		Z 分數 (ECR)	Z 分數 (TIME)	Z 分數 (TRI)
重心 10 角度	-15.00	-1.84	-.88	-.66888
	-10.00	-1.52	.21	-.71166
	-5.00	.92	1.29	-.62565
	.00	.87	.57	-1.11915
	5.00	.47	1.10	-.30417
	10.00	.86	.46	-.88321
	15.00	-1.01	.27	-1.39786
	15.00	.51	.12	-.94759
	10.00	-.08	.70	-.54010
	5.00	.62	1.91	-.32578
14 角度	.00	.83	.53	.40320
	-5.00	1.39	.83	1.62567
	-10.00	.01	-1.79	.72514
	-15.00	.42	-.77	.10333
	15.00	.21	-.70	-.73227
	10.00	.68	-.73	.51037
	5.00	.77	-.49	-.32578
18 角度	.00	1.25	-2.12	.70353
	-5.00	2.10	.49	2.56898
	-10.00	.43	-.10	1.13218
	-15.00	.23	-.90	.81069

將各項指標的估計邊緣平均數，以重心、角度兩個變因加以分組，並訂為自變數，並以統計軟體 SPSS 計算三個指標之間的相關係數，結果整理如表 6-9。由這項分析中，我們可以了解之前我們所訂的三個分析指標中，是否有線性的關聯。例如，若舒適度與專業姿勢傾向及效率有線性的相關，則我們可以解釋為，提高榔頭的使用舒適度，有助於提升另外兩項指標的表現；相對的，若三個指標中只有其中兩項的相關性高，則表示另外一項指標必須獨立討論；若三個指標互相為低度的相關，則表示以本研究的量測方式評估榔頭的三項指標，必須分開討論各指標的結果。

表 6-9 舒適度、姿勢、效率之相關分析

		重心	角度
		(Coefficient / (D.F.))	(2-tailed Significance)
	舒適度 (ECR%)	.8440 (0) P=.000	.5138 (17) P=.024
舒適度 (ECR%)	姿勢 (TRI%)	.8440 (17) P=.000	1.0000 (0) P=.104
姿勢 (TRI%)	效率 (TIME S/10)	.5138 (17) P=.024	.3843 (17) P=.104
效率 (TIME S/10)		.3843 (17) P=.104	1.0000 (0) P=. .
		PARTIAL CORRELATION COEFFICIENTS	

表 6-9 顯示舒適度與姿勢兩個指標間，有顯著的相關性($p=0.00<0.05$)。由 0.8440 的相關係數可以看出兩個指標之間，有高度正相關的相互關係。

而舒適度與效率兩個指標間，也有顯著的相關性($p=0.024<0.05$)。由 0.5138 的相關係數可以看出，在兩項指標(橈側伸腕肌負擔百分比與完成擊釘作業的工作時間)為中度的正相關。在效率度與姿勢兩個指標間，並未達顯著相關($p=0.104>0.05$)。

綜合以上分析，我們可以歸納出本實驗三個指標之間的相關情況：擊釘作業姿勢的專家傾向，與使用舒適度的提高，有明顯正相關，其相關程度是三個指標間兩兩關係中最高的；而擊釘作業的效率，與舒適度提高的相關度，則排行第二；擊釘效率與專家姿勢的傾向兩指標之間的相關度為最低。以下將三個分析指標之間的相關程度關係，以及分析結果，繪製成如圖 6-17 之關係圖。

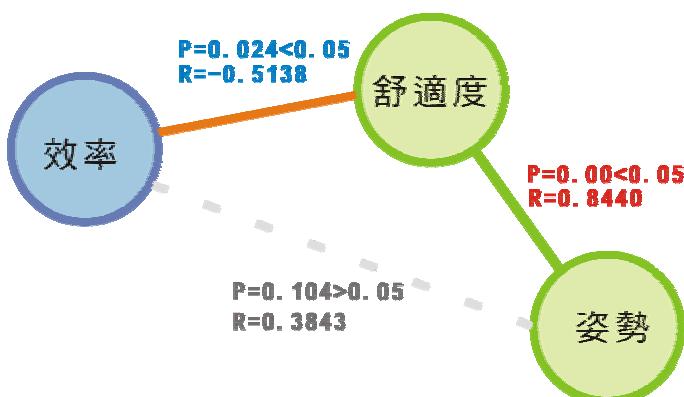


圖 6-17 三個分析指標間的關係圖

6-6 綜合分析

本研究的初衷在於為一般的 DIY 族群，在握柄角度與重心位置兩個變項中，找出適合的組合設計，接下來的分析中，將進一步根據指標之間的特性，設計適合 DIY 族群的綜合指標，並以回歸分析的方式，推測某個最佳的角度與重心的組合，並在各變因組合間，找出其對應綜合指標的變化是否有某種趨勢。而在對應的變數方面，在綜合分析中，將以 6-5 節所計算出的 Z 分數為基礎，設計綜合指標分數，作為迴歸分析的應變量。整個分析的流程如下

- (1) 綜合指標設計。
- (2) 迴歸方式之選擇與計算迴歸方程式。
- (3) 回歸曲面的繪製與分析

6-6-1 綜合指標設計與分析



在 6-5 節的相關程度分析分析中，我們發現舒適度、效率以及姿勢三個指標之間，有有不同程度上的相關。在三個指標中，由於舒適度與姿勢指標有高度正相關，而在顯著性上以舒適度較高，且舒適度與效率指標對於一般人來說，為較易理解的表達方式，所以在舒適度與姿勢指標中，將剔除姿勢指標，以舒適度指標作為計算綜合指標的因子。而舒適度與效率指標之間，呈現較低的相關，因此在綜合分數的設計中，本研究以兩指標在 6-5 中所計算出之 Z 分數為基礎，乘以加總後等於 1 的權重小數後相加，再重新計算一次整體之 Z 分數，即為綜合指標分數。在綜合指標的構成中，若某個指標所乘上的比例較高，則綜合指標為偏相該指標綜合趨勢；例如將其中效率指標乘 0.8(80%)，而舒適度指標乘 0.2(20%)，則此綜合指標為偏向效率趨向的綜合指標，如此可以隨時改變綜合指標的成分，以作為不同的使用者評估之用。本研究以統計軟體 SPSS 作綜合指標

指標 Z 分數的計算，並計算數種分別偏向舒適與效率的綜合指標，以觀察之間變化的趨勢。以軟體中的運算法則標示，其運算式可以下列形式表示：

$$CDFNORM(x * zecr + y * ztime), x + y = 1 \text{ 且 } 0 \leq x, y \leq 1$$

$zecr$ 表示舒適度指標(橈側伸腕肌伸縮百分比估計平均數)的 Z 分數

$ztime$ 表示效率指標(將鐵釘敲入木頭所需要的時間的估計平均數，單位為 秒/10)的 Z 分數

若 x, y 各等於 0.5，則此式可表示為：

$$CDFNORM(0.5 * zecr + 0.5 * ztime)$$

由於此式為舒適度指標與效率指標的平均加總，因此代表對於兩項指標平均的需求，所計算出的綜合指標。將舒適度指標與效率指標的 Z 分數帶入計算之後，得所有實驗樣本榔頭所對應的綜合指標分數列如表 6-10：

表 6-10 所有樣本所對應之變數與平均綜合指標之 Z 分數

編號	握柄彎曲角度	重心距離頭部距離	綜合指標分數
1	15	10	.33
2	10	10	.49
3	5	10	.58
4	0	10	.58
5	-5	10	.49
6	-10	10	.30
7	-15	10	-.01
8	15	14	.46
9	10	14	.61
10	5	14	.71
11	0	14	.73
12	5	14	.68
13	10	14	.53
14	15	14	.29
15	15	18	.37
16	10	18	.50
17	5	18	.59
18	0	18	.63
19	-5	18	.62
20	-10	18	.53
21	-15	18	.37

由於在 6-2 到 6-5 節的分析中，可以看出在三種指標對應到兩變項的剖面圖中，在重心方面大致上呈現一個缺口的二次曲線，但握柄彎曲角度大致上呈現三次或四次方的折線圖形。經過幾次試驗之後，發現以三次曲線做回歸分析的適合

度最高，因此在之後的綜合指標的回歸分析中，本研究將以二元三次的方程式作回歸分析。以重心變項為 x ，握柄角度為 y ，其方程式為：

$$Zscore = A \cdot \chi + B \cdot \gamma + C\chi\gamma + D\chi^2 + E\gamma^2 + F\chi^2\gamma + G\chi\gamma^2 + H\chi^3 + I\gamma^3$$

$Zscore$ 是綜合指標所對應到的 Z 分數，A~I 分別是對應於重心、角度、各個幕次的參數。經由電腦做回歸運算之後，其方程式各係數的估計值如表 6-11。

表 6-11 綜合指標方程式係數之估計值

A	.026530590
B	-.055778702
C	.010383687
D	.006455783
E	-.002638636
F	-.000420785
G	.000077588
H	-.000330667
I	.000013981

此回歸分析後 $R^2 = 0.61$ ，在統計上已達可參考的準確性。將各變項代數方程式中，可得到相對應的 Z 分數估計值，以下將各變項及其對應的綜合指標分數估計值列於表 6-12。

從表 6-12 中， Z 分數最高是 11 號(重心距離頭部 14 公分，角度彎曲為 0 度)以及 10 號(重心距離頭部 14 公分，角度彎曲為 +5 度)，排行第二是 9 號(重心距離頭部 14 公分，角度彎曲為 10 度)，排行第三的 12 號(重心距離頭部 14 公分，角度彎曲為 -5 度)，均集中在重心距離頭部 14 公分，且握柄彎曲角度在正中的附近；+5 度的分數較 -5 度的握柄分數高。由數值的分佈觀察其分佈比較抽象，因此本研究將更多的變相組合代數方程式中，求出估計的 Z 分數的估計值，並以 3D 製圖軟體的曲面描繪功能，繪製由各估計值所構成的三維的曲面圖形，如圖 6-18，由曲面的形狀了解整體變化的趨勢。同時以軟體中的相切點尋找功能，找出曲面的最高點，以黑色的點標示出，同時將最高點所對應的 Z 分數估計值乘以 95% 後，用等高線的方式，以不同顏色的區塊標示出，此外，本研界將實驗樣

本之外的變相組合代入函數中，以求出實驗樣本外的預測值，則是以半透明的區塊顯示。為了容易觀察最高點與 95% 等級以上區域分部位置，及其所對應到的重心位置與握柄彎曲角度，本研究繪製其上視圖(圖 6-19)，觀察回歸方程式中，最佳的變項組合的分佈。

表 6-12 各變項組合所對應之平均綜合指標分數估計值

編號	握柄彎曲角度	重心距離頭部距離	綜合指標分數
1	15	10	.30
2	10	10	.47
3	5	10	.57
4	0	10	.58
5	-5	10	.50
6	-10	10	.32
7	-15	10	.02
8	15	14	.53
9	10	14	.66
10	5	14	.73
11	0	14	.73
12	-5	14	.65
13	-10	14	.49
14	-15	14	.23
15	15	18	.33
16	10	18	.48
17	5	18	.59
18	0	18	.64
19	-5	18	.63
20	-10	18	.55
21	-15	18	.39



圖 6-18 綜合指標之回歸曲面

從圖 6-18 中，可以看出 Z 分數分布的曲面，高點在中心的部位；曲面的四

個邊都呈現相對的凹陷。表示較極端的變項組合在此平均綜合指標的評量分數中，無法達到較高的值。

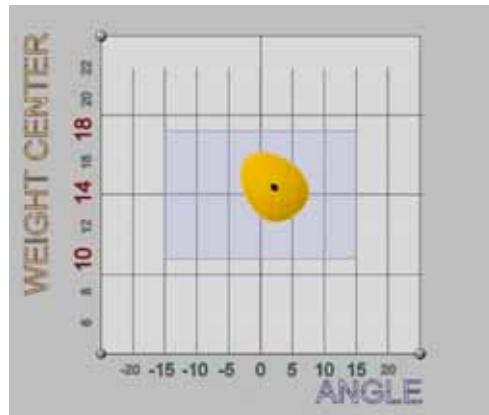


圖 6-19 綜合指標之回歸曲面上視圖

由圖 6-19 的上視圖中，95% 等級以上色塊的形狀大致呈橢圓形分布，所對應到的變項組合，重心約距離頭部 12 至 16 公分，角度的分布約在-3 度到+7.5 度之間，但以正的彎曲角度分佈的面積較大。而角度與重心之間，也存在相互影響的關係；當重心距離頭部較近時，色塊中對應的角度多半為正值，也就是向鉗面方向彎曲；向鉗面反方向彎曲的負角度較少。當重心位置逐漸遠離重心時，對應到負角度的區域逐漸增加。而最高分數的變項組合，為重心距離頭部約 14.5 公分，握柄彎曲+2.5 度左右的榔頭，也就是回歸估計之後，為同時兼具舒適與效率的綜合指標中，最佳的設計組合。

6-6-2 各種傾向迴歸方程式之選擇

由於綜合指標由舒適度與效率兩個不同的傾向因子所構成，因此我們可以藉由調整兩個因子在式子中的構成比例，使計算出的綜合分數偏向於舒適或效率。當組成中的舒適因子較多時，代表計算出的綜合指標偏向於舒適的需求；反之則是以效率的評估為主要的訴求。以下將由極舒適的傾向，分四個階段將綜合指標轉變為極效率，並觀察其回歸方程式圖形，及綜合分數估計值的變化趨勢。

(1)完全以舒適為需求的綜合指標，其計算方式為：

$$CDFNORM(1 * zecr + 0 * ztime)$$

其計算中，將效率的因子乘以零，因此影響綜合指標的因子只剩下舒適度。

由於以舒適度作為完全的考量，因此適用於初次接觸榔頭的一般使用者。舒適度指標受重心位置、握把角度兩項指標影響的顯著性高($P=0.00$)，因此以舒適度為主的綜合指標回歸分析之後 $R^2 = 0.92$ ，明顯高於 6-6-1 中以舒適、效率各半的綜合分數。

各變項組合所對應的回歸估計值如表 6-13。表中，Z 分數最高是 18 號(重心距離頭部 18 公分，角度彎曲為 0 度)，排行第二是 19 號(重心距離頭部 14 公分，角度彎曲為-5 度)，第三的 17 號(重心距離頭部 18 公分，角度彎曲為+5 度)，。

與上一節所計算的綜合分數相比，分數高者明顯集中於重心距離頭部 18 公分處。

表 6-13 完全以舒適考量的綜合指標回歸估計值

編號	握柄彎曲角度	重心距離頭部距離	綜合指標分數
1	15	10	.12
2	10	10	.21
3	5	10	.26
4	0	10	.27
5	-5	10	.22
6	-10	10	.12
7	-15	10	-.06
8	15	14	.37
9	10	14	.55
10	5	14	.67
11	0	14	.73
12	-5	14	.71
13	-10	14	.61
14	-15	14	.42
15	15	18	.52
16	10	18	.74
17	5	18	.88
18	0	18	.94
19	-5	18	.90
20	-10	18	.76
21	-15	18	.52

將各變項所對應的估計值，以 3D 製圖軟體繪製三維曲面圖形如圖 6-20。同時將其 Z 分數估計值在 95% 等級以上，且在實驗範圍內的區域，以紅色的區塊

顯示，最高分數的點，以黑色的點示出；而超出樣本範圍的估計區域，則以半透明的淡紅色表示。另外也將曲面轉為上視圖中(圖 6-21)，以觀察最高分數與 95% 等級分數區域分佈所對應的重心與角度變項。

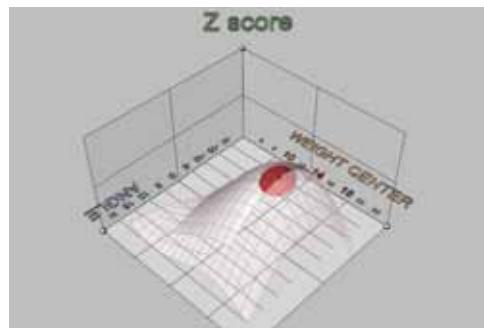


圖 6-20 完全以舒適考量的綜合指標所構成之曲面

圖 6-20 中的曲面呈現一邊高起的趨勢，高處所對應的變項是中心位置距離頭部較遠的一端，為重心距離頭部 18 公分，握柄彎曲角度為-1 度的變項組合。而角度變項則在兩個極端低落，表示實驗樣本中，極端的彎曲握柄無法使舒適度提高。圖 6-21 中淡藍色正方形的區塊代表既有樣本的範圍，紅色區塊的範圍有一半在既有樣本的範圍，另一半超出此區域而落在外部預測的範圍；表示 95% 等級以上的變相組合，有一半的機率會在既有樣本範圍之外。回歸方程式的 95% 高等級變項組合的範圍，角度彎曲的變項的範圍約在正負 5 度之間。而重心距離頭部的距離在 16~19 公分的範圍之內。

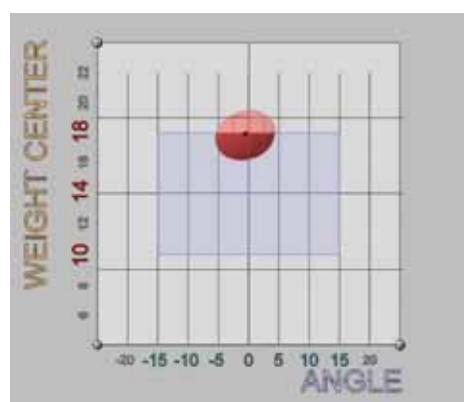


圖 6-21 完全以舒適考量的綜合指標所構成之曲面的上視圖

(2)以舒適為最主要需求，但加入效率因子的綜合指標，其計算方式為：

$$CDFNORM(0.8 * zecr + 0.2 * ztime)$$

其綜合分數的計算中，將效率的因子乘以 0.2，而舒適度因子乘以 0.8，以保有大部分舒適的特性，此指標適用於不常使用榔頭的一般使用者。回歸分析中，因為綜合指標加上了效率指標的 Z 分數，因此整體的 R^2 降低為 0.85，其各變項所對應之綜合指標估計值如表 6-13。

從表中的數值可以看出，Z 分數最高是 18 號(重心距離頭部 18 公分，角度彎曲為 0 度)，第二是 19 號(重心距離頭部 18 公分，角度彎曲為-5 度)，第三的 17 號(重心距離頭部 18 公分，角度彎曲為 5 度)。由此可以看出，分數較高者仍然均為重心距離頭部 18 公分的系列榔頭。

表 6-13 以 80% 舒適，並加上 20% 效率指標的綜合分數估計值

編號	握柄彎曲角度	重心距離頭部距離	綜合指標分數
1	15	10	.18
2	10	10	.31
3	5	10	.37
4	0	10	.38
5	-5	10	.32
6	-10	18	.18
7	-15	10	-.03
8	15	14	.43
9	10	14	.60
10	5	14	.70
11	0	14	.73
12	-5	14	.68
13	-10	14	.56
14	-15	14	.34
15	15	18	.44
16	10	18	.65
17	5	18	.78
18	0	18	.84
19	-5	18	.81
20	-10	18	.69
21	-15	18	.47

將回歸分析後的方程式以圖形表示，並將 Z 分數在 95% 高等級以上的樣本範圍區域以鮮紅色的色塊顯示(圖 6-22)，最高點以黑點表示；而超出實驗樣本範圍的預測區域，仍以半透明白色表示，並繪出其上視圖(圖 6-23)中所對應的重心與角度位置，以觀察 95% 等級與最高分數 Z 分數的分佈趨勢。

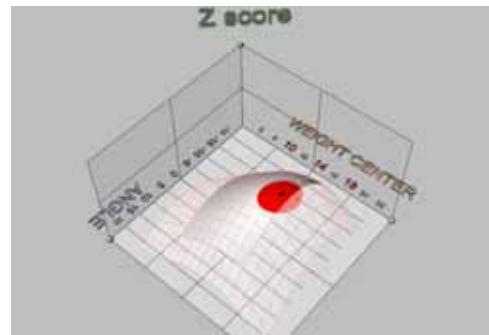


圖 6-22 80%舒適 / 20%效率指標的綜合分數所構成之曲面

圖 6-22 中的曲面大致與上一圖形一樣，重心距離頭部 18 公分的區域仍然相對高於重心較靠近頭部的區域；不同的是最高點的位置已經向中央的部分移動。而 6-23 的上視圖中，我們可以更清楚的觀察色塊的分布位置，角度的方向分佈最廣的區域已經不是重心 18 公分的位置；最高點所對應的重心位置，約距離頭部 17 公分，握柄彎曲角度在 -1 度左右。而 95%高等級的分佈所對應的變項中，重心位置由 15 公分到 19 公分的位置，也超出了既有實驗樣本的範圍；但與上一綜合指標相比，重心向遠離頭部方向偏移的程度已經減小。角度的分佈的範圍，在正負 5 度之間。但整體的分佈看來，負的彎曲角度分布較正的彎曲角度略廣。整個圖形在重心離頭部較近的區域，也稍微偏向角度為正值的方向。

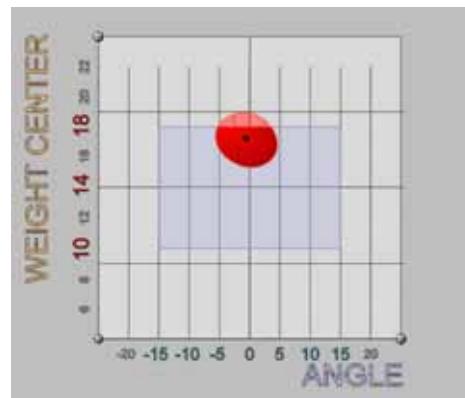


圖 6-23 80%舒適 / 20%效率指標的綜合分數所構成之曲面之上視圖

(3)以舒適為最主要需求，但增加效率因子的綜合指標，其計算方式為：

$$CDFNORM(0.6 * zecr + 0.4 * ztime)$$

其計算中，將效率的因子乘以 0.4，而舒適度因子乘以 0.6。仍保有舒適的特性，但對於效率的需求增加，此指標適用於需要增加效率的一般使用者。回歸分析中，因為綜合指標加入更多百分比的效率指標的 Z 分數，使得數據的複雜程度增加，因此整體回歸的 R^2 更降低為 0.69，其各變項所對應之綜合指標估計值如表 6-14。

表 6-14 60%舒適 / 40%效率指標的綜合分數估計值

編號	握柄彎曲角度	重心距離頭部距離	綜合指標分數
1	15	10	.26
2	10	10	.41
3	5	10	.50
4	0	10	.51
5	-5	10	.44
6	-10	10	.27
7	-15	10	.00
8	15	14	.50
9	10	14	.64
10	5	14	.72
11	0	14	.73
12	-5	14	.66
13	-10	14	.51
14	-15	14	.26
15	15	18	.36
16	10	18	.54
17	5	18	.65
18	0	18	.71
19	-5	18	.69
20	-10	18	.60
21	-15	18	.42

從表中的數值可以看出，Z 分數最高是 11 號(重心距離頭部 14 公分，角度彎曲為 0 度)，第二是 10 號(重心距離頭部 14 公分，角度彎曲為+5 度)，角度彎曲為-5 度)，排行第三的是 18 號(重心距離頭部 18 公分，角度彎曲為 0 度)。從數據的變化，可以看出分數較高者已經往重心較靠近頭部的系列移動。

將回歸分析後的方程式以圖形表示，並將 Z 分數在 95%高等級以上的樣本範圍區域以橘色的色塊顯示，最高點以黑點表示(圖 6-24)；而超出實驗樣本範圍的預測區域，則以半透明白色表示。圖中曲面的高點逐漸向中間移動，重心變項的方向兩邊較中間低，但距離較遠的一邊比距離近的一邊略高。這表示在此指標中，重心距離頭部遠，是較好的選擇。而角度方面的變項，仍然屬於兩邊較低

的形狀，表示正負 15 度的握柄彎曲角度無法讓此指標的分數提高。

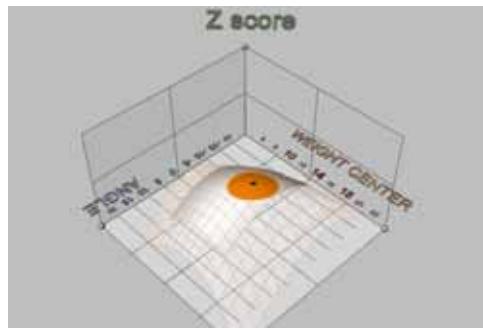


圖 6-24 以 60% 舒適，並加上 40% 效率指標的綜合分數所構成之曲面

將圖 6-27 轉為上視圖(圖 6-25)，觀察 95% 高等級的分佈，重心位置所對應的區域，仍偏向距離較遠的一邊，但已經完全涵蓋在既有樣本的範圍之內，表示招過 18 公分的重心距離，將不適合選擇本綜合指標的使用者使用。在握柄彎曲角度的方面，彎曲角度為正的一方較負的一方略多。且隨著重心位置逐漸接近榔頭頭部，此現象越明顯。而隨著重心遠離頭頭部，則握柄彎曲角度為負值的比重逐漸增加。而最高點所對應到的位置，重心距離頭部約 15 公分，握柄彎曲角度為+1 度的地方。

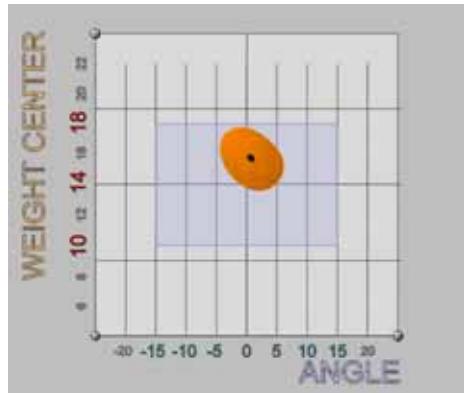


圖 6-25 以 60% 舒適 / 40% 效率指標的綜合分數所構成之曲面之上視圖

(4)效率因子的要求高於舒適因子的綜合指標，其計算方式為：

$$CDFNORM(0.4 * zecr + 0.6 * ztime)$$

其計算中，將效率的因子乘以 0.6，而舒適度因子乘以 0.4，表示對於效率的需求多於舒適度的需求。此指標適用於效率更加需要，或是較熟練的一般使用者。綜合指標效率指標的成分高於舒適度指標，整體回歸的 R^2 為 0.57，其各變項所對應之綜合指標估計值如表 6-15。

表 6-15 以 40% 舒適，並加上 60% 效率指標的綜合分數估計值

編號	握柄彎曲角度	重心距離頭部距離	綜合指標分數
1	15	10	.34
2	10	10	.52
3	5	10	.63
4	0	10	.65
5	-5	10	.57
6	-10	10	.37
7	-15	10	.05
8	15	14	.57
9	10	14	.68
10	5	14	.73
11	0	14	.73
12	-5	14	.65
13	-10	14	.47
14	-15	14	.19
15	15	18	.30
16	10	18	.42
17	5	18	.52
18	0	18	.58
19	-5	18	.58
20	-10	18	.51
21	-15	18	.37

從表中的數值可以看出，Z 分數最高是 11 號(重心距離頭部 14 公分，角度彎曲為 0 度)、10 號(重心距離頭部 14 公分，角度彎曲為+5 度)，第二是，排行第三的是 12 號(重心距離頭部 14 公分，角度彎曲為-5 度)。重心距離頭部 18 公分的系列，已經不在前三名之內；而較高的分數均集中在中心距離頭部 14 公分的系列。值得注意的是，重心距離頭部 10 公分系列的榔頭，在 Z 分數的估計值有逐漸升高的趨勢。

將回歸計方程式所構成的曲面以 3D 的方式呈現，並將 Z 分數在 95% 高等級以上的區域以黃色的色塊顯示，最高分數的區域以黑點表示(圖 6-26)；而超出實驗樣本範圍的預測區域，則以半透明白色表示。圖中曲面向重心距離頭部近的一方略為高起，而角度方向的形狀變化，則是以正向彎曲的邊較負向彎曲的高，表

示平均上正向角度在效率上的表現較好。

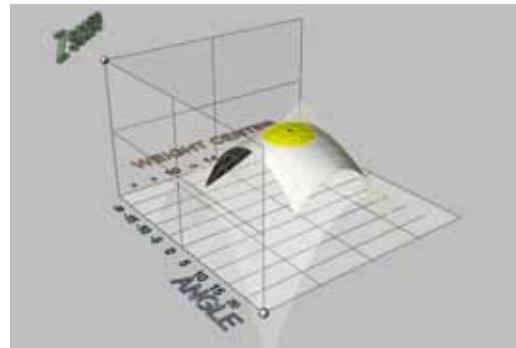


圖 6-26 以 60% 效率，40% 舒適指標的綜合分數所構成之曲面

將圖 6-29 轉為上視圖(圖 6-27) , 以觀察較高分數之 Z 分數分佈的區域。在圖中 , 黃色的區域分布偏向重心距離頭部較近的一邊 , 重心位置的範圍在 11~16 公分 , 角度的範圍在-2.5 到+8 度之間。最高分數的區域 , 位置在重心距離頭部 13 公分 , 角度+2.5 度的位置。

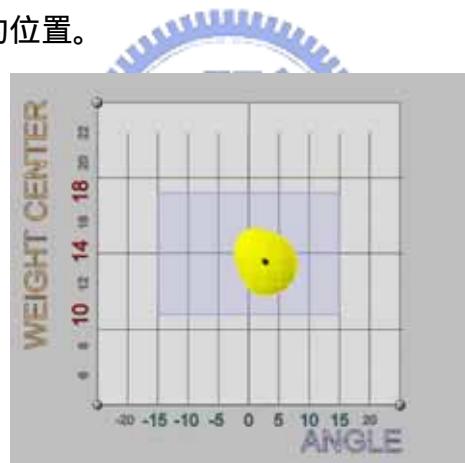


圖 6-27 以 60% 效率 / 40% 舒適指標的綜合分數所構成之曲面之上視圖

(5)以效率最主要需求 , 但保有一些舒適因子的綜合指標 , 其計算方式為 :

$$CDFNORM(0.2 * zecr + 0.8 * ztime)$$

其綜合分數的計算中 , 將效率的因子乘以 0.8 , 而舒適度因子乘以 0.2 , 表示對於效率的需求更多於舒適度的需求。此指標適用於效率更加需要 , 或是較熟練的一般使用者。其綜合分數的組成幾乎以效率為主 , 因此回歸的誤差值降低 , R^2 升高為 0.60 , 其各變項所對應之綜合指標估計值如表 6-16。

表 6-16 20%舒適 / 80%效率指標的綜合分數估計值

編號	握柄彎曲角度	重心距離頭部距離	綜合指標分數
1	15	10	.44
2	10	10	.63
3	5	10	.75
4	0	10	.77
5	-5	10	.69
6	-10	10	.48
7	-15	10	.11
8	15	14	.63
9	10	14	.71
10	5	14	.75
11	0	14	.73
12	-5	14	.63
13	-10	14	.44
14	-15	14	.13
15	15	18	.23
16	10	18	.32
17	5	18	.40
18	0	18	.46
19	-5	18	.48
20	-10	18	.44
21	-15	18	.31

從表 6-16 的數據中，我們可以發現最高的分數已經向重心最接近頭部的系列移動。分數最高的是 4 號(重心距離頭部 10 公分，角度彎曲為 0 度)，第二是 3 號(重心距離頭部 10 公分，角度彎曲為 +5 度)、10 號(重心距離頭部 14 公分，角度彎曲為 +5 度)，排行第三的是 11 號(重心距離頭部 14 公分，角度彎曲為 0 度)。而重心距離頭部 18 公分的系列，綜合分數已經明顯降低。

將回歸計方程式所構成的曲面以 3D 的方式呈現，並將 Z 分數在 95% 等級以上的區域以黃綠色的色塊顯示，曲面的最高點以黑點表示；而超出實驗樣本範圍的預測區域，則以半透明白色表示(圖 6-28)。圖中曲面向重心距離頭部近的一方明顯高起，而握柄彎曲角度變向的形狀變化，則是正向彎曲的邊較負向彎曲的高出許多，由其在重心距離頭部近的一端更明顯。此現象表示握柄朝正向彎曲，在配合距離頭部較近的重心位置，平均上有較好的績效。

將圖 6-28 轉為上視圖(圖 6-29)，以觀察較高分數之 Z 分數分佈的區域。在圖中，但藍色的方形區塊是實驗樣本所分布的區域，黃綠色的分布幾乎集中在重心距離頭部近的一邊，且已有部份超出實驗樣本的範圍，落在外部的估計值區。

而握柄彎曲角度所對應到的區域，也幾乎是正向為主。最高分數區域所對應到的重心位置的在 12 公分，角度則是在 +2.5 度。

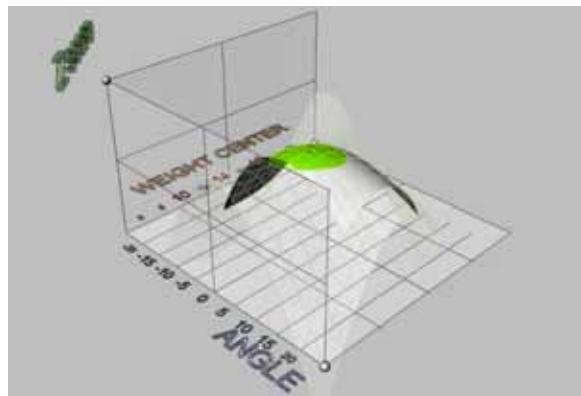


圖 6-28 以 80% 效率 / 20% 舒適指標的綜合分數所構成之曲面

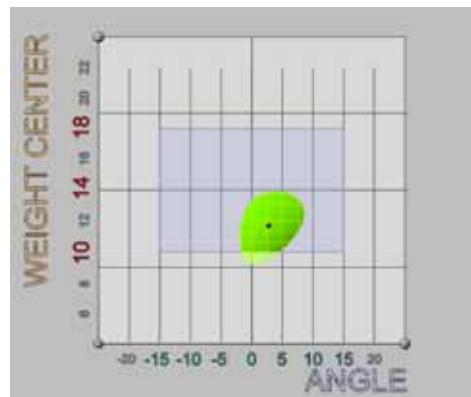


圖 6-29 80% 效率 / 20% 舒適指標的綜合分數所構成之曲面的上視圖

(6)去除舒適因子的綜合指標，以效率成為最主要需求，其計算方式為：

$$CDFNORM(0 * zecr + 1 * ztime)$$

其計算中，將舒適度的因子乘以零，因此影響綜合指標的因子只剩下效率。此指標適用於對效率十分要求，或是技術已趨熟練的一般使用者。由於此指標以效率為主，沒有加入舒適度指標的影響，因此回歸的誤差較前兩項綜合指標低， $R^2 = 0.69$ ，但較以舒適度為主的指標低，由此結果正可回應 6-1~6-3 的分析：相較於效率指標，舒適度指標售重心、角度兩變項影響的程度較高。以下將各變項所對應之綜合指標估計值如表 6-17。

表 6-17 完全以效率考量的綜合指標回歸估計值

編號	握柄彎曲角度	重心距離頭部距離	綜合指標分數
1	15	10	.54
2	10	10	.72
3	5	10	.84
4	0	10	.87
5	-5	10	.79
6	-10	10	.57
7	-15	10	.19
8	15	14	.69
9	10	14	.74
10	5	14	.76
11	0	14	.73
12	-5	14	.62
13	-10	14	.42
14	-15	14	.09
15	15	18	.17
16	10	18	.23
17	5	18	.31
18	0	18	.38
19	-5	18	.41
20	-10	18	.38
21	-15	18	.26

從表 6-17 的數據中，我們可以發現最高的分數已經移到重心最接近頭部的系列，分數最高的是 4 號(重心距離頭部 10 公分，角度彎曲為 0 度)，第二是 3 號(重心距離頭部 10 公分，角度彎曲為+5 度)，排行第三的是 5 號(重心距離頭部 10 公分，角度彎曲為-5 度)。而重心距離頭部 14 的系列，綜合分數已經明顯降低；距離頭部 18 公分的系列，已經成為分數最低的一群。

將回歸計方程式所構成的曲面以 3D 的方式呈現，並將 Z 分數在 95% 高等級以上的區域以綠色的色塊顯示，最高點以黑點表示；而超出實驗樣本範圍的預測區域，則以半透明白色表示(圖 6-30)。

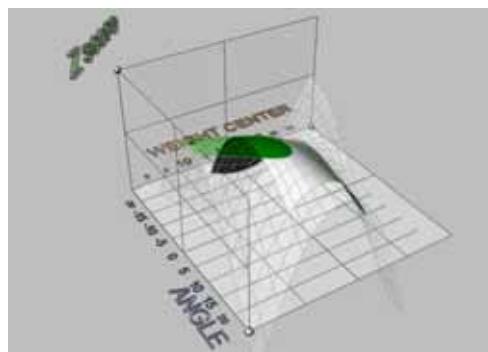


圖 6-30 完全以效率考量的綜合指標所構成之曲面

圖 6-30 中，曲面高起的範圍在重心距離頭部很近的區域上，甚至有大部分的區域超出實驗樣本的範圍。握柄彎曲角度為正值的一方則明顯高起。

將圖 6-30 轉為上視圖(圖 6-31)，以觀察較高分數之 Z 分數分佈的區域。在圖中，曲面的最高點，已超出實驗樣本的範圍，重心位置在距離頭部 9.5 公分處，握柄彎曲角度的範圍為 0 度。95%高等級的區域的分佈，有大半的曲域落在外部的估計值區，且重心變項的範圍超過之前 5 個綜合指標曲面的建構範圍(角度 -20~+20 度，重心 6~22 公分)，因此本研究加入更多的估計點，將完整的 95% 高等級區域描繪出來；實驗樣本區域內的部份，重心位置的範圍在 10~13 公分之間；而角度方面，則在 -3~+8 度之間，且正角度占的區域較大。而超過實驗樣本之外的預測區域，則有偏向負角度的趨勢，在重心位置為 5~6 公分時，對應的角度竟有 -8 度，與之前效率傾向正角度的分析有背離的現象，然而重心極接近頭部(如 5 公分)，與實際時實驗的樣本相差甚遠，且技術上的可行度不高(以 Plumb 系列為例，把大部分的重心移往鎚頭，但保有質輕且強韌的握柄，以目前的技術而言，仍是一項考驗)，因此這一部分的結果是有待驗證的。因此本研究認為若以效率為最主要的考量，縮小重心與頭部的距離，並搭配正向的彎曲角度，會達到較好的效果。

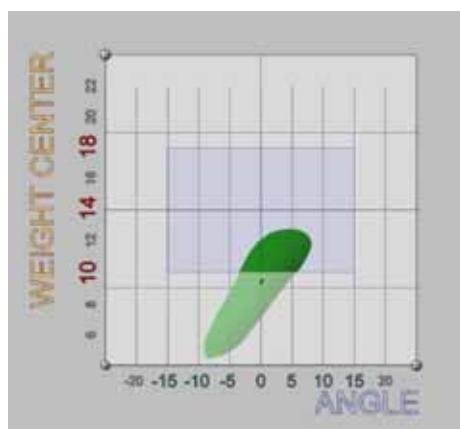


圖 6-31 完全以效率考量的綜合指標所構成之曲面的上視圖

6-6-3 各綜合指標間的比較

在這一小節中，本研究將綜合以上的回歸分析結果，將各個不同需求導向的綜合指標合併討論，以了解各指標之間所對應變項的改變。以下將上一節所有的上視圖重疊，從完全舒適導向到完全以效率為主的綜合指標回歸曲面，都會被排在同一個平面的上視圖同時表示(圖 6-32)，所有指標的 95% 高等級區域將會改成半透明，但描繪出邊框，而每個指標曲面的最高點，將仍然保持原來的黑點，紅色的區域是以舒適度為主的指標，綠色區為以效率為主的指標，橘色、黃色、草綠色為效率與舒適度混合的指標。

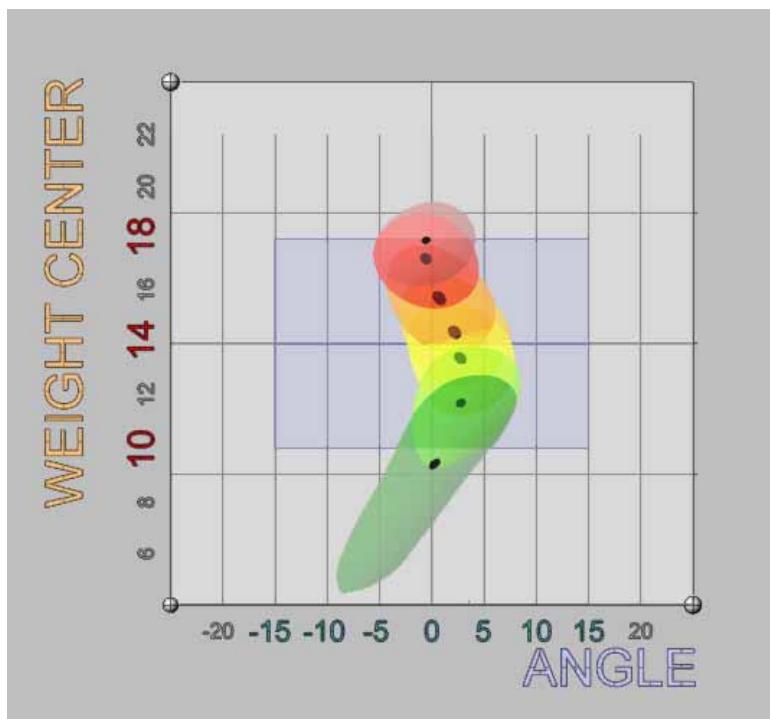


圖 6-32 各種指標回歸曲面之上視圖

在圖 6-32 中，可以看出從舒適趨向的指標，漸漸轉變為效率趨向的指標時，所對應到 Z 分數在 95% 高等級與最高分數區域的變化過程。變化最大的部分，是重心位置的變向，指標由最舒適到最效率的過程中，也隨之由最遠離頭部，逐漸變化到接近頭部的位置。最靠舒適的兩個指標的圖形(深紅色區域)，均有部份超出既有實驗樣本的範圍，這部分的實證可以留待後續的研究中完成。而最效率

的兩個指標的圖形中(黃綠色與綠色的部份)，也有部分超出實驗樣本的範圍，其中最效率的指標更有大塊區域落於外部的區域，且此區塊的角度變項，在重心越接近頭部時(約小於 8 公分之後)反向移往負角度的方區域，與實驗時的結果有背離的現象。此預測部分是否有參考價值，則有待後續的驗證。而其他的中和指標則隨著效率因子的增加，在重心位置變項逐漸向靠近頭部的方向移動，握柄彎曲角度的變項則從略偏向負角度的區域逐漸移動到以正角度為主的區域。

而最高點的位置方面，從最舒適到最效率的變化過程中，重心位置從 18 公分漸變為 9.5 公分的位置，握柄彎曲角度變項則從-1 度，隨著效率因子的加入，逐漸偏向+3 度，雖然最高效率指標回歸圖形的最高點的位置已超出實驗樣本的範圍，且其對應的握柄彎曲角度又回到 0 度，但與標準樣本(無作任何改變的 Plumb 原型)相距不遠，而此型號的榔頭為美國 stanley 公司所設計，以效率工作為主要目的的榔頭，因此本研究認為此回歸數據為合理的結果。

經過以上分析，設計師可以由指標變化所對應到的變項改變，針對不同的使用者需求，以不同的重心配置及握柄角度的變化，設計適合他們使用的榔頭。

第七章 結論

7-1 研究成果

本研究改變榔頭重心位置，以及握柄角度兩個設計因素，並使兩個變因正交之後，對於使用結果影響。分別以舒適度、使用績效、以及專家工作模式趨向三個向度討論。經過實驗、分析、討論之後，將相關程度高的舒適度與專家工作模式趨向三個向度討論。經過實驗、分析、討論之後，將相關程度高的舒適度與姿勢矯正合併討論，而使用績效獨立討論。並將結果分為經過回歸分析、未經回歸分析兩個方面，未經回歸分析的結果是所有實驗樣本榔頭，經過實驗後所獲得的數據，能指出各指標評量下，分數最高的樣本，而經過回歸分析後，各指標的最佳值會落在實驗樣本的組具之間，屬於預估值。

在所有的樣本中，就舒適度與專業的姿勢傾向效果而言，重心位置距離榔頭頭部 18 公分，握柄角度-5 度的榔頭，具有最好的效果如圖 7-1。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(圖 7-2 左)，具有最好的效果。

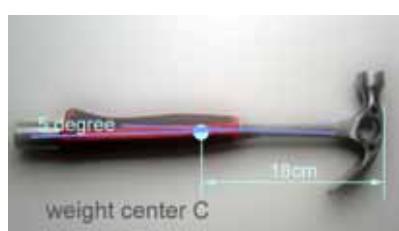


圖 7-1 19 號榔頭



圖 7-1 10 號榔頭

而經過回歸分析之後，最舒適的榔頭的設計上，重心位置預估在距離頭部 18 公分的地方，而握柄彎曲角度是-1 度。最有效率的榔頭設計，重心預估在距離頭部 9.5 公分處，而握柄的彎曲角度在 0 度，接近 Plumb 原型的榔頭。若在舒適與效率間取平均，最佳設計的重心位置在距離頭部 14.5 公分處，而握柄的彎曲角度為+2.5 度，即向槌面的方向彎曲 2.5 度。回歸分析的結果在最佳值尋求過程中，能預估出實驗樣本所沒有的區間，雖然未做實際之測試，但以統計的數據上看來，在樣本區間內及周圍近處的預估，仍有一定程度的可信度。而從回歸分析所繪出的圖形(圖 6-35)，可知道某一指標之下，一個等級分數所構成的區域，均為一個區域，可作為設計師設計榔頭時，針對不同使用者設計最佳化的參考。



7-2 相關研究比較

在文獻探討中，已經有部份研究針對握柄角度做過初步研究，分別是 Schoenmarklin (1989)、Konz (1986) 以及 Knowlton & (1983)。

Schoenmarklin 研究三支 16oz 之鐵鎚，握柄角度分別為 0,20,40 度時，測量其在工作台面與牆面的工作績效，以及造成手部橈、尺偏的程度。Konz 以主觀量表調查受測者，對於不同角度握柄(0,10,15,21,26,32 度)榔頭之偏好。Knowlton & Gilbert 測量彎柄榔頭對於使用後握力衰減之影響。

由於研究的分析方式，以及實驗用的榔頭不同，結果各學者對於榔頭角度變化，均有不一的看法。Schoenmarklin 發現，在平台的工作環境下，握柄彎曲 20 度之榔頭，最能降低敲擊工作時，手腕部分之橈偏與尺偏，工作績效也比較高。在受測者個人喜好方面，Konz 經由回歸分析，最受喜好之彎柄角度是 6 度。以手掌握力衰減的角度分析，Knowlton 認為握柄彎曲角度為 19 度之榔頭，最可以降低使用後握力之衰減。

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，並沒有作相關的討論。而重心位置方面，則維持一般榔頭的原有重心，也就是近似本實驗編號 1 的重心位置，並沒有對於其他的重心位置變化，作正交變因之研究實驗。

本研究所探討的角度，以向鎚面方向為正向，從 +15 度到 -15 度，間格 5 度的 7 個角度，並加上三種重心的正交變因，作為實驗的樣本；而探討的主題是以一般 DIY 族群，在從事擊釘作業時的舒適度、效率、姿勢趨近專家的程度。但是若排開重心的變因，則結果與三位學者有相似之處。實驗樣本中，重心位置編號 1 號，握柄彎曲編號 1 到 4 號的榔頭中，以編號 3 號的榔頭，也就是 5 度的彎曲角度，在舒適度、績效、以及姿勢矯正上，具有最高的效果；而在回歸分析後

效率方面在 95% 以上等級的榔頭，所對應的重心位置，大約在 8~13 公分，而角度方面，也對映在 0~+8 度之間。此結果與 Konz 的研究結果有相似之處，最佳主觀喜好在 5 度左右。而 Schoenmarklin 與 Knowlton 之研究結果則因分析的指標不同，與本研究差異較大。

本研究以 EMG 儀測量手臂受測肌肉之施力分配百分比，以及完成指定工作的費時，作為舒適度、效率、以及姿勢矯正程度之效標，與文獻中的橈尺偏、喜好、握力衰減等指標不同，也是研究成果與文獻差異的原因之一。

另外，由於本研究所使用的實驗榔頭，為海歲公司所製造之 Plumb 系列，20 盎司重量之一體成形羊角鎚；與先前三個相關研究所使用之”Two part”榔頭，在材質與結構上有極大之不同。”Two part”榔頭為鐵鎚頭與木柄接合，而一體成形榔頭則是整體鐵質材料，以膠套附著於握把上，因此兩者在重心位置上有明顯差異。以相同長度的兩種榔頭比較，一體成形榔頭的重心較”Two part”榔頭向手把方向偏移。以本研究分析結果，重心對於各分析指標影響的顯著性最高，可解釋造成本研究與文獻中三個研究成果的差異的原因。

7-3 研究貢獻與相關應用

本研究之成果，有助於了解 20 盎司重量之 Plumb 榔頭，在改變重心位置，以及握柄彎曲角度之後，對於一般使用者在從事擊釘作業時，對於舒適度、效率以及工作姿勢的影響。同時，在兩個變因的組合中，找出個別指標效果與整體效果最佳的變數組合。研究成果可以提供協力廠商-海歲公司運用於產品之開發，在榔頭的設計上的應用如下：

(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。一般使用者多以前臂肌肉帶動手腕，而專業使用者則以上臂肌群帶動前臂，且手腕的橈偏、尺偏較少。可透過對於工作模式的觀察，了解兩個族群在擊釘工作上的需求。

(2) 實驗結果，可讓海歲公司針對 Plumb 系列榔頭，在舒適度、效率、以及綜合等指標上，在重心位置與握柄彎曲角度上作適當的修正，以開發 DIY 族群市場。



(3) 透過回歸分析所得到的圖形，設計師再設計榔頭時，可針對不同需求的使用族群，檢視角度與重心變項是否在舒適度與效率的指標中，達到良好的效果。

(4) 實驗的方法與流程，可做為海歲公司建立實驗流程的參考。

7-4 相關研究與建議

由於本研究所探討之榔頭中心位置，與握柄彎曲角度改變的問題，僅限於以海歲公司所生產之 Plumb 系列，重量為 20 盎司榔頭為實驗對象，並針對舒適度、效率、以及工作姿勢三個指標分析。然而在寬廣的人因研究中，針對榔頭設計變因的研究，必然不僅限於此，在此整理列出後續研究建議，提供未來的研究者，在從事相關延伸之研究時作為參考：

一、深入研究使用者心裡狀況與姿勢之間的關係：由於工作模式是影響使用績效的關鍵因素之一，一般使用者可能因為對於擊釘作業的生疏，而採用手臂較小幅度的揮動。因此，讓一般使勇者可以快速進入狀況的設計研究，是直得深入探討的。

二、改變變因的項目：本實驗僅討論重心位置與握柄角度變化兩項變因，未來的研究可以針對不同的設計因素，做類似的分析研究，以探討眾多設計因素對於使用效果的影響。

三、以不同的效標分析：在後續的實驗中，除了舒適度、效率、以及工作姿勢三個指標之外，可以加入握力衰減等生理指標，或是個人喜好等心理因素，做更進一步研究。

四、加入受測者生理指標：本實驗在分析中，以統計的方法，將受測者間的生理因素排除，將分析的重點放在榔頭本身的變因上。未來若作更深入的研究，則可將受測者間的生理差異合併討論，了解生理因素與榔頭變因之間的關係。

五、探討不同系列榔頭：本研究的實驗對象，限於海歲公司所生產之 Plumb 系列，重量為 20 盎司榔頭。未來若有機會，可以從事不同系列，或是不同廠牌之榔頭的相似研究，以增加相關人因知識的累積。

參考文獻

中文參考文獻

- (1) 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所,『人機介面衛生設計規範研究—非動力手工具與輔具設備』, 1997。
- (2) 李芝慧, “手工具設計評估—以鐵絲綑綁作業為例”,『中華大學工業工程與管理研究所碩士論文』, 新竹, 2000。
- (3) 王茂駿、楊肅煌、張志宏、葉文裕、陳志勇, “手工具使用與累積性工作傷害關連性之探討—以一電機工廠為例”,『勞工安全衛生研究所季刊』, 第四卷第三期, PP.19-29, 1986。
- (4) 李開偉著, 人因工程基礎與應用, 全華出版社, 台北, 1999。
- (5) 黃清賢著, 危害分析與風險評估, 三民書局, 台北, 1996。
- (6) Hazel M. Clarkson, 吳昇光編譯, 肌肉骨骼評估, 合記出版社, 台北, 2003
- (7) 許世昌, 解剖生理學, 永大書局, 台北, 2002。
- (8) 魏浩展, “上肢操作榔頭之人機介面”,『國立成功大學機械研究所碩士論文』, 台南, 1991。
- (9) 許勝雄、陳元和, “非動力手工具人因設計指引”,『勞工安全衛生研究所季刊』, 1998。
- (10) 楊肅煌, “製造業中手工具使用與上肢傷害關連性探討”,『清華大學碩士論文』, 新竹, 1995。
- (11) 許勝雄、彭游、吳水丕著, 人因工程學, 滄海書局, 台中, 1998。

- (12) 王明揚， “手腕在五種不同情況時雙手握力之研究”，『工業設計研討會 1984 論文集』，1985。
- (13) 吳修維， “整合式人因工程設計理念開發冷凍肉品處理刀具之研究”，『國立清華大學工業工程研究所碩士論文』，新竹，1996。
- (14) 張丙龍，解剖生理學—人體構造與功能，南山堂出版社，台北，1989。
- (15) 林建璋， “掌上型園藝剪握把之人因設計因素研究”，『大業大學工業設計研究所碩士論文』，彰化，1988。
- (16) 吳慧君， “運動性肌肉疲勞之肌電圖研究”，『中華體育季刊』，第 26 期，PP.77-85，1993。
- (17) 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所，『職業疾病監控實證研究—上肢傷害』，1996。
- (18) 秦自強， “透過人機界面探討 DIY 充電式電動手工具之設計與研究”，『明志工專學報』，第 27 期，PP.201-220，1995。
- (19) 行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所『重複性傷害預防對策—冷凍業肉品處理用刀具之人體工學設計』，1997
- (20) 李玉龍著，人體工學概論，六合出版社，台北，1990。
- (21) 賴志純、傅盈璋、張昱仁， “捲尺之人因工程研究”，『明志工專 85 年技術與教學研討會論文集』，1996。
- (22) 林義鎮， “木工用手工具握把之人因設計研究”，『大同大學工業設計研究所碩士論文』，台北，1999。

英文參考文獻

- (1) Ockerman, J.; Thompson, C.; Multimedia tool set for teaching ergonomic analysis skills *Frontiers, Education Conference, 1995. Vol.1* , PP.3a2.27 - 3a2.29
- (2) Ockerman, J.J.; Thompson, C.; Multimedia instruction as a tool for teaching ergonomic analysis skills *Systems, Man and Cybernetics, 1995, IEEE International Conference, Vol.4* , 22-25 Oct. PP.3850 - 3855
- (3) Petrushin, V.A.; Thompson, C.; DeSetto, L.; Learning ergonomics by doing job analysis *Frontiers, Education Conference, 1996., Vol.1*, PP.158 - 162
- (4) VanDeursen, G.; Ergonomics meets research and industrial design , *Circuits and Devices Magazine, IEEE* , Vol.14, 1998 PP. 39 - 43
- (5) Waller, O.; Isnard, F.; Dodds, G.; Improving human interactions in complex product development , *IEE Colloquium on Virtual Reality Personal Mobile and Practical Applications - 98/454* , 28 Oct. 1998, PP. 6/1 - 6/7
- (6) Peter V. Karpovich, M.D., M.P.E, Physiology of Muscular activity, Massachusetts: Springfield College, 1966
- (7) John Grieves, How to hit your left thumb: designing a better hammer, *Design management journal*, 1999, PP. 49-54
- (8) Richard. W. Schoenmarklin and William S. Marras, Effects of handle angle and work orientation on hammering: I. Wrist motion and hammering performance, *The human factors society*, Vol. 34, No.4, 1989, PP. 397-411
- (9) Richard. W. Schoenmarklin and William S. Marras, Effects of handle angle

and work orientation on hammering: II. Muscle fatigue and subjective rating of body discomfort, The human factors society, Vol. 34, No.4, 1989, PP.413-420

(10) Aaras, A., & Ro, O., Electromyography (EMG)-Methodology and application in occupational health, International Journal of Industrial, Vol.20, 1997, PP.207-214

(11) Andrew H. T., Hand-Arm Vibration: Product Design Principles, Journal of Safety Research, Vol.27, No.3, 1996, PP.157-162

(12) Chang, S. R., Park, S., & Andris, F., Ergonomic evaluation of the effects of handle types on garden tools, International Journal of Industry Ergonomics, Vol.24, 1999, P99-105

(13) Anil, M., & Shrawan, K., Human muscle strength definitions, Measurement, and usage: PartII—The scientific basis for the guide, International Journal of Industrial, Vol.22, 1998, PP.123-144

(14) Konz S, Bent Hammer handle, Human Factors, Vol.28(3), 1986, PP.317-323

(15) Konz S, Design of hand tools In: Proceeding of the Human Factor Society 18th Annual Meeting, Human Factors Society, Santa Monica, California, USA, 1974, PP.291-300

(16) Th. Erni, G. Colombo, Locomotor Training in paraplegic: a new approach to assess changes in muscle EMG patterns, Electroencephalography and clinical Neurophysiology, Vol.109, 1998, PP.135-139NORAXON USA, INC., The Therapist System User Manual Nor Quest 96, 1998