

握槍人因介面與手槍射擊績效之研究

鄧世剛¹ 劉達明² 謝三良^{3*} 葉昭南³

¹國防大學理工學院動力暨系統工程學系

²國防部軍備局中山科學研究院

³國防大學理工學院國防科學研究所

摘 要

本研究探討手槍射擊時，握槍人因介面與射擊績效間因果關係。研究內實施「國造 T-75 手槍立姿實彈射擊」實驗，規劃 3 項握槍人因介面因子，2 項彈著點反應值，使用統計迴歸分析建立射手之因子與反應值因果關係模型。有關射擊時握槍姿勢，研究結果已實質上驗證射擊作業教範所提應以右手食指指腹扣板機，亦驗證左手指握力總合力量對射擊績效影響顯著，本研究未來開發握槍姿勢模擬器，可快速檢測射手握槍姿勢正確度，提升各單位射擊成績。

關鍵詞：人因介面，射擊績效，迴歸分析

The Study between Ergonomics Interface for Grip Pistol and Shooting Performance

S. Deng¹, D. M. Liu², San-Liang Hsieh^{3*}, and Jau-Nan Yeh³

¹*Department of Power Vehicle and Systems Engineering, Chung-Cheng Institute of Technology,
National Defense University*

²*Chung-Shan Institute of Science and Technology, Armaments Bureau*

^{3*}*Graduate School of National Defense Science, Chung-Cheng Institute of Technology,
National Defense University*

ABSTRACT

This study investigates into causality between ergonomics interface for grip pistol and shooting performance for personnel operates pistol. We plan 3 ergonomics interfaces and 2 responses of impact points in our study. Moreover we use regression analysis to establish causality models of interfaces and responses. The results of our study indicate that shooter have to pull the pistol trigger by using right index finger abdomen and verify that total finger grip forces of left palm are significant influence to shooting performance. This research can contribute for development of grip pistol simulator. The grip pistol simulator can verify the grip position quickly and upgrade the shooting performance.

Keywords: ergonomics interface, shooting performance, regression analysis

一、前言

手槍具體積小、重量輕及殺傷力強等特性，深受各國軍警喜愛使用。以國造 T-75 手槍為例，通過海水、泥漿水浸泡後射擊及高低溫環境測試，槍枝外形部份，擊發機構設計模組化，可簡化維修程序。擊錘造型為三角中空設計，體積小但強度增加，扳動時不易滑手。握把前端，增加手指溝槽設計，後端曲線亦經過修改，整體握感舒適且符合人體工學，有利於射手掌握槍身重心。扳機護弓，改成接近直線並呈 90 度角設計，前端可供射手另一隻手的食指托住以協助槍身穩定。然要達到精準射擊，最主要仰賴人槍系統間密切配合，人為操作因素主要包含三個部分：要穩固據槍、要正確瞄準、要正確擊發[1]。上述三個部分，排除人為瞄準因素，其餘皆與握槍姿勢密切相關，有關握槍姿勢正確性與射擊績效因果關係，目前國內外無相關探討分析。

握槍姿勢正確性，能穩固握力，維持槍枝重心，提升射手與槍枝整體之穩定性。以右手持槍者立姿射擊為例，手槍射擊時，射手右手掌部分，右手拇指須自然倚貼在手槍左側保險下方，右手食指須以指腹處緩慢扣壓板機，右手中指、無名指及小指，則須順勢內掌握住槍握把。另射手左手掌部分，左手拇指須自然倚貼在右手拇指下方，左手食指、中指、無名指及小指，則自然環抱重疊於右手中指、無名指及小指上，如圖 1 所示[2]。

有關研究限制方面，影響手槍射擊績效因素包含天候狀況、人為因素、射擊距離、地理環境及手槍性能等[3]，示意圖如圖 2 所示。受限於實驗量測儀器，本研究將天候狀況、射擊距離、地理環境及手槍性能等皆列為控制項目，並進一步排除人為瞄準因素，僅針對人為因素之「據槍」及「擊發」姿勢實施探討。研究目的為以實驗方式建立射擊時握槍人因介面與射擊績效之資料庫，並以統計迴歸分析來建立射擊時握槍人因介面與射擊績效之因果關係模型。承上所述，本研究擬訂 3 個因子及 2 項反應值如下：

(1) 因子

- 因子 1：右手食指指腹扣扳機力量。
- 因子 2：左手食指、中指、無名指及小指握住槍握把合力。
- 因子 3：右手中指、無名指及小指握住槍握

把合力。

(2) 反應值

- 反應值 1：彈著點得分。
- 反應值 2：彈著點至靶心距離。



圖 1. 握槍及擊發正確姿勢[2]

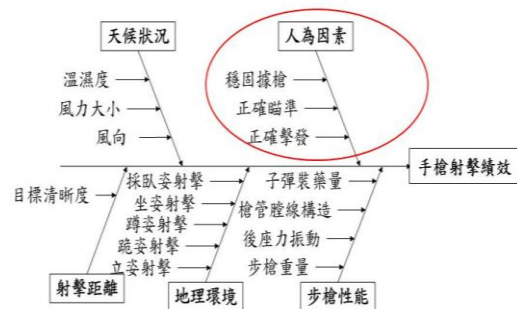


圖 2. 影響射擊績效因素

二、文獻探討

2.1 迴歸分析應用於人體工學領域

有關迴歸分析應用人體工學領域上，莊明振等[4] 實施建構圈椅風格的造形要素及其操作之探討，文中以迴歸分析探討構成圈椅風格認知的造形構件及要素，研究結果顯示，最主要造形要件為圈背，其次為靠背板，之後依次則為椅腳支架、椅腳圈框、雕飾及扶手立柱等。Yuan 等[5]探討不同步槍外型設計對射手射擊績效影響，文中以迴歸分析適配步槍外型各項參數與射擊績效間關係，並提出最佳步槍外型參數，可供後續設計參考。高清漢[6]探討泳鏡造形特徵與意象關係，文中以迴歸分析歸納泳鏡設計上之特徵屬性如下：外框造形對男性的-女性的感覺意象有影響；色彩搭配對質樸的-絢麗的等四項感覺意象有影響；材

質透明度對直線的-曲線的有影響等研究結果。莊明振等[7] 探討產品形態特徵與構成關係影響消費者感性評價之研究—以水壺的設計為例，文中利用迴歸分析進行感性工學模式建構，針對特徵導向模式與整合模式進行績效比較，研究結果指出，整合模式能明顯助益於消費者感性評價行為的預測。蘇俊霖等[8]研究以核子醫學全身骨骼造影建立國內成人平均骨骼長度之人體計測，文中利用迴歸分析求得各骨頭間相關性，並分別建立以顱頂-恥骨底、股骨、脛骨三項自變數對應全骨長之迴歸預測模型。胡祖武等[9] 實施鎚擊式釘槍握把形態及握持舒適性評量之研究，文中以迴歸分析推估大於握持角度 50° 的 %MVC 變化中發現，平面與垂直式打擊作業各部位 %MVC 最低點落在 $52^\circ \sim 62^\circ$ 之間；另胡祖武等[10]以主觀騎乘舒適性感受探討較舒適自行車座點位置之研究，研究透過迴歸曲線推估較佳座位垂直高度約 520mm 左右與水平位移約為 158mm 左右，據此換算座管的較佳傾斜角度為 73.1° ，相關數據可提供自行車設計參考。李德松等[11]探討 QWERTY 與 DVORAK 鍵盤之輸入績效比較，並由逐步迴歸分析得知，在研究中人因原則之“雙手交替使用次數極大化”與“性別”是影響輸入率的最主要因素。黃台生[12]實施公路自行車把手舒適度之研究，文中以迴歸分析推估最舒適之把手面寬尺寸，以該尺寸重新設計新式樣把手造形，利用 CAD 搭配快速成型技術完成新式樣把手製作，最後進行新式樣把手的握持舒適度實驗與問卷評估。

2.2 射擊績效領域

王仁堂[3]探討影響射擊命中率因素，研究指出影響射擊命中率因素包含槍枝握持不穩定、瞄準要領不當、呼吸頻率不當、注意力不集中及精神狀態緊張等相關因素。袁正綱[13]提出射擊精度是以彈著點散佈量來衡量，可由 3 發彈著群的水平方向最大散佈距離及垂直方向最大散佈距離量測評定。射擊準度是以彈著群準度來衡量，可由彈著群中心位置-即水平及垂直最大散佈距離線段中垂線之交會點與靶心間之距離量測評定。Erik[14]指出冥想訓練可提升射擊比賽時表現。冥想訓練包括心情放鬆與壓力管理，射手自我壓力和射擊表

現間息息相關，而自我壓力感覺越高則射擊表現越好。Lluís[15]探討有關心跳及呼吸頻率對手槍射擊績效影響程度，結論指出射手呼吸頻率經長期訓練後，其射擊績效將大幅提升。Doppelmayra[16]研究射擊老手與射擊新手在射擊瞄準時腦波之差異性，結果顯示射擊瞄準期間，新手僅專注於目標，然而老手除專注於目標外，亦注意扣板機之時間點，故老手可獲得較佳射擊績效。Martin[17]探討射手於射擊前，外在環境如咖啡因、氣溫與運動程度等不同狀況下，分別造成射手肌肉顫抖程度及影響射擊績效之程度差異。

三、研究方法簡介

3.1 精準度介紹

(1) 量測精準度(accuracy)[18-20]：

- A. 精確度(precision)：各次量測結果相似的程度，亦即多次重複量測結果的變異數(Variance)。變異數越小，精確度越高。
- B. 準確度(trueness)：量測結果平均值與目標值間之差距，此差距又稱為偏差(Bias)，在理想情況下應為 0。偏差越小，準確度越高。

(2) 射擊精準度：

- A. 精確度：射擊精度為彈著點變異的大小。彈著點變異越小，精確度越高。
- B. 準確度：彈著點距離目標靶心偏差的大小。偏差越小，準確度越高。

參考上述定義，本研究繪製示意圖如圖 3 所示：

3.2 射擊績效評定

射擊績效評定方式，可以彈著點散佈情形來評定射手之射擊技術。經參考美軍射擊教範[2]，得知射擊「精確度」與槍枝性能相關，而射擊「準確度」則與射手射擊技術相關，因本文以探討射手射擊技術之「握槍人因介面」為主，故僅探討射擊「準確度」；而射擊「精確度」部分，因牽涉槍枝性能、槍枝歸零及調校等相關因素，故不納入本文探討項目。承上所述，本研究藉使用圓形分數靶紙來評量射手射擊技術，評量方式區分彈著點分數及彈著點距離等 2 個面向來探討：

- (1) 彈著點分數是由彈著點落於圓形靶紙位置來評量。靶紙內最接近靶心處為最高分數 10 分，分數依序向外遞減至 1 分，未命中靶紙者為 0 分。彈著點分數越高表示射擊績效越卓越。
- (2) 彈著點距離是以彈著點至靶心距離來評量。每發彈著點越接近靶心，表示射手整體射擊技術越高超。彈著點距離越小表示射擊績效越卓越。

本研究之實彈射擊實驗當中，射手使用國製 T-75 手槍射擊，每一次射擊採單發逐次射擊，連續射擊 5 發，5 發射擊完畢即看靶並標註彈著點編號。有關彈著點得分及彈著點距離等 2 項反應值之量測方式，如圖 4 所示。承上述因子選定及射擊績效評定方式，制定本研究自變數及應變數如表 1。



圖 4. 射擊績效量測方式

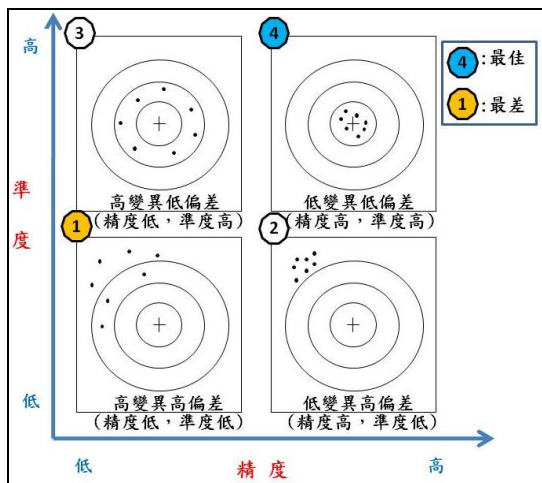


圖 3. 精準度示意圖

表 1. 自變數及應變數項目表

自變數 (實驗編號)	應變數 (實驗編號)
右手食指指腹扣扳機力量(X_1)	彈著點得分 (Y_1) 彈著點至靶心距離(Y_2)
左手食指、中指、無名指及小指握槍握把合力(X_2)	
右手中指、無名指及小指握槍握把合力(X_3)	

$$Y = \beta_0 + \beta_1 \cdot x_1 + \beta_2 \cdot x_2 + \dots + \beta_i \cdot x_i + \varepsilon \quad (1)$$

$$Y = \beta_0 + \sum_{i=1}^n \beta_i \cdot x_i + \sum_{j=1}^n \beta_{ii} \cdot x_i^2 + \sum_{i < j} \beta_{ij} \cdot x_i \cdot x_j + \varepsilon \quad (2)$$

3.3 統計迴歸分析

統計迴歸分析法(Regression Analysis)是藉實驗數據中影響反應值的獨立變數(x_1, x_2, \dots, x_i)及反應變數誤差(ε)對所欲得到之反應值(Y)進行預測，透過最小平方方法適配預測模型[21]。依據問題複雜度，所建立之預測模型可區分單一線性迴歸、單一非線性迴歸、多元線性迴歸及多元非線性迴歸等多種模型。針對簡單預測問題，使用多元線性迴歸模型，如式(1)所示，便可達良好預測成效；然隨問題複雜度增加，多元線性迴歸模型已無法有效預測，此時須將變數平方項及變數間兩兩交互作用納入模型考量，如式(2)所示，此即多元非線性迴歸預測模型[22]。

3.4 模型效益評量

訂定效益評量準則之目的，乃為評量迴歸模型之效益，本研究選用模型判定係數(R Square, R^2) (3)及迴歸顯著值(P value, P)進行評估[23-24]，說明如下。

$$R^2 = \frac{SS_R}{SS_T} = 1 - \frac{SS_E}{SS_T} \quad (3)$$

其中， SS_R 為迴歸平方和； SS_T 為總平方和； SS_E 為誤差平方和。

(1) R^2 可衡量自變數(x)所能解釋應變數(y)之變異量占總變異數的百分比， R^2 值介於 0 至 1 區間， R^2 值越大(越接近 1) 表示模型解

釋能力越強。

- (2)迴歸顯著值(P value)表示一個模型之整體迴歸程度，其值越小（越接近0），表示迴歸程度愈強。

四、T-75手槍立姿實彈射擊實驗

4.1 實驗規劃

本實驗因子量測，自變數因子 1~3 屬人體力量測量（單位為公斤），應變數 2 項為彈著點反應值之量測（單位分別為分數及公分）。有關自變數及應變數分別對應之量測儀器，經綜整後如表 2 所示。依實驗設計方法，實驗對象應區分「對照組」與「實驗組」兩組別來探討，實驗過程中，除興趣探討之因子不同外，其餘各因子皆須控制在相同條件下。考量實驗環境及量測儀器限制，本研究僅針對射手之「握槍」及「擊發」姿勢實施探討，故選用專業射手作為對照組，普通射手作為實驗組。有關實驗組樣本數部分，因考量射擊人員員額數、彈藥數量及射擊作業時間等因素，故樣本數員額僅選定 10 員。相關實驗設計方法摘要如下：

- (1)射擊人員：對照組 1 員(專業射手-憲兵特勤隊士官長，射手編號 1)；實驗組 10 員(普通射手-軍校生，射手編號 2-11)。
- (2)射擊槍枝：國造 T-75 手槍 1 把，實驗過程均使用同一把手槍射擊。
- (3)彈藥種類：9 公厘手槍彈，每員射手射擊 30 發，實驗過程均使用同一批號之彈藥射擊。
- (4)射擊距離：10 公尺，實驗過程均使用同一批規格之靶紙。
- (5)射擊次數：各射手射擊 30 發資料，以符合統計學大樣本原則 ($N \geq 25$)。
- (6)信賴區間：資料量測及模型建立之信賴區間皆設定為 95% C.I.
- (7)實驗儀器：實驗過程均使用同一批實驗儀器量測。
- (8)因子水準：本研究目的旨探討自變數與應變數之因果關係，並建立迴歸預測模型，其中 3 項自變數資料由手套型力量感測器量測，應變數資料由射擊彈著點靶紙量測；故 3 項自變數(因子)類型皆為連續變

數，不刻意設計因子水準。

- (9)剔除離群值：可順利獲得 330 筆資料，剔除離群值(射擊分數為 0 分)後，剩餘資料供後續分析使用。

表 2. 自變數及應變數分別對應之量測儀器及內容

變數別	項次	量測內容	量測儀器
自變數	1	右手食指指腹扣板機力量	手套型力量感測系統
	2	左手食指、中指、無名指及小指握住槍握把合力	
	3	右手中指、無名指及小指握住槍握把合力	
應變數	1	彈著點分數	靶紙、膠尺
	2	彈著點至靶心距離	

4.2 實驗儀器簡介

實驗中力量測量儀器選用美製「I-CubeX」手套型力量感測系統，該系統之感測器位於手套內每根手指之指腹處，如圖 5 所示。該系統具有體積小、重量輕及反應靈敏等優點，可減少射手射擊中量測干擾，且該系統資料判讀可以數字表示[25-26]，如圖 6 所示，可用以精確量測實驗自變數因子 1~3，而用於量測 2 項應變數之靶紙，如圖 7 所示，有關本實彈射擊實驗場景圖，如圖 8 所示。



圖 5. 手套內感測器位置

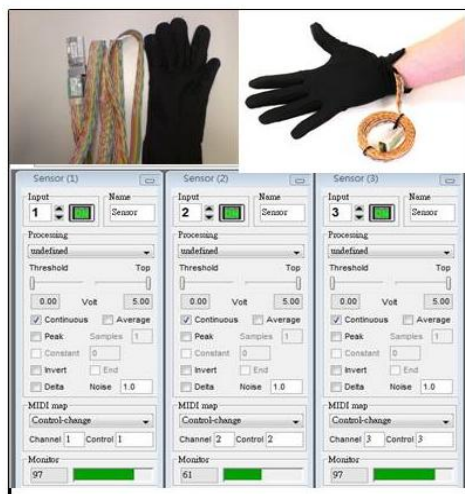


圖 6. 手套型感測系統[26]

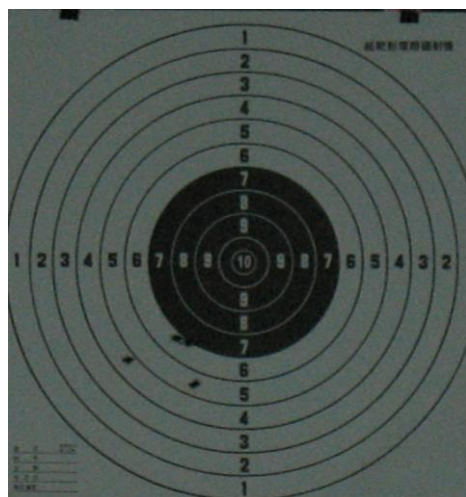


圖 7. 量測彈著點之靶紙



圖 8. 實彈射擊實驗

4.3 射擊結果分析與探討

4.3.1 剔除離群值

本研究計 11 員射手射擊，每員各射擊手槍彈 30 發，計順利獲得 330 筆資料，經剔除 89 發離群值（射擊脫靶，即射擊分數為 0 分）後，計剩餘 241 筆資料可供後續分析使用。

4.3.2 射擊績效探討

將 11 員射手之射擊平均分數由高至低排序，如表 3 所示，可明顯看出射擊平均距離則呈現低至高排序。將上述 2 項數值，以曲線方式呈現，如圖 9 所示，射擊結果平均分數越高，表示射擊績效越卓越，平均距離越低，表示彈著點至靶心距離越近，射擊準度越高。

4.3.3 握槍人因介面探討

將 11 員射手右食指指腹扣扳機平均力量由高至低排序，如表 4 所示，可明顯看出射手左手握力總合平均力量亦呈現高至低排序；然而射手右手握力總合平均力量則無明顯變化。將上述三項力量數值，以曲線方式呈現，如圖 10 所示。

4.3.4 射擊績效與握槍人因介面分析

(1) 射擊績效第 1 名(編號 1 射手)之射手：

右食指指腹扣扳機平均力量(2.2 公斤)為 11 員射手中最高，乃因射手右手食指指腹準確施力於手槍扳機上，故手套型感測器測得較大力量數值。而左手握力總合平均力量 (2.8 公斤)為 11 員射手中最高，乃因射手左手握力準確施力於手槍握把上，故手套型感測器測得較大力量數值。

(2) 射擊績效第 11 名(編號 11 射手)之射手：

右食指指腹扣扳機平均力量(0.8 公斤)為 11 員射手中最低，乃因射手右手食指指腹未準確施力於手槍扳機上，故手套型感測器測得較小力量數值。左手握力總合平均力量(1.5 公斤)為 11 員射手中最低，乃因射手左手握力未準確施力於手槍握把上，故手套型感測器測得較小力量數值。

(3) 本實驗結果顯示，對照組 1 員(專業射手)之射擊績效為第 1 名，而實驗組 10 員(普通射手)之射擊績效依序為第 2-11 名。分析原因，於「擊發」姿勢上，乃因專業射手右手食指指腹準確施力於手槍扳機，另在「握槍」姿勢上，乃因專業射手左手握力準

確施力於手槍握把。上述結果除實質上驗證手槍射擊作業教範所提應以「右手食指指腹扣扳機」外，亦驗證「左手指握力總合力量」對射擊績效影響顯著，本實驗結果可作為普通射手「擊發」及「握槍」姿勢調校依據，進而提升射擊績效。

4.4 以變異數分析來選擇自變數

本實驗 241 筆有效資料，可供後續建構模型使用。此 241 筆資料，涵蓋 X_1, X_2, X_3 等 3 個自變數及 Y_1, Y_2 等 2 個應變數之射擊資料。由射擊結果分析得知，握槍人因介面 X_1, X_2 對 Y_1 及 Y_2 影響顯著；而 X_3 對 Y_1 及 Y_2 則影響不顯著。另本研究實施變異數分析(Analysis of Variance)，如表 5 所示，可明顯看出 X_1, X_2 對 Y_1 及 Y_2 影響顯著 ($P \leq 0.05, 95\% C.I.$)；而 X_3 對 Y_1 及 Y_2 則影響不顯著 ($P > 0.05, 95\% C.I.$)，故後續僅針對 X_1, X_2 對 Y_1 及 Y_2 實施探討。

4.5 迴歸分析過程

本研究使用「Minitab」軟體實施迴歸分析，並配合「Excel」軟體輔助，分析過程摘要如下：

- (1) 使用軟體迴歸分析功能，將 X_1, X_1^2 (或 X_2, X_2^2) 輸入預測項，將 Y_1 (或 Y_2) 輸入反應項，並將信賴區間設定為 95%，可順利獲得單項自變數迴歸模型，另藉由「Excel」軟體輔助，可順利獲得模型各項效益評量值。
- (2) 使用軟體迴歸分析功能，將 $X_1, X_2, X_1^2, X_2^2, X_1X_2$ 同時輸入預測項，將 Y_1 (或 Y_2) 輸入反應項，並將信賴區間設定為 95%，可順利獲得多項自變數迴歸模型，另藉由「Excel」軟體輔助，可順利獲得模型各項效益評量值。

4.6 建構自變數與應變數之因果關係模型

探討 X_1, X_2 等 2 個自變數與應變數 Y_1 之關係，藉由使用 241 筆有效資料，配合使用「Minitab」軟體及「Excel」軟體，可順利建構迴歸模型如下。

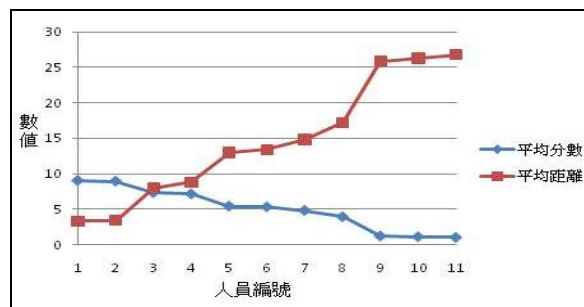


圖 9. 射擊績效曲線分析

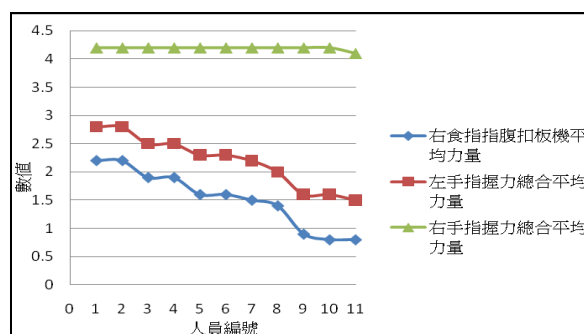


圖 10. 握槍人因介面曲線分析

表 3. 射擊績效結果分析

人員編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
平均分數(分)	9.0	8.9	7.3	7.1	5.4	5.3	5.2	4.8	1.1	1.1	1.0
平均距離(公分)	3.3	3.4	8.0	8.8	1.3	1.1	1.1	1.1	2.2	2.2	2.2

表 4. 握槍人因介面結果分析

人員編號	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11
右食指指腹扣扳機平均力量(公斤)	2.2	2.2	1.9	1.9	1.6	1.6	1.5	1.4	0.9	0.8	0.8
左手指握力總合平均力量(公斤)	2.8	2.8	2.5	2.5	2.3	2.3	2.2	2.0	1.6	1.5	1.5
右手指握力總合平均力量(公斤)	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2	4.2

4.6.1 單一射手

- (1) 編號1射手：剔除離群值後，資料數為29筆，其2個自變數與2個應變數分別之因果關係經適配至2次方項，其結果整理如表6所示，可明顯看出 X_1, X_2 對 Y_1 及 Y_2 因果關係顯著($R^2 \geq 0.85$)。將 X_1, X_2 等二項自變數適配至2次方項，並將交互作用項 X_1X_2 納入考量，其結果整理如表7所示，亦可明顯看出 X_1, X_2, X_1X_2 對 Y_1 及 Y_2 整體因果關係顯著($R^2 \geq 0.85$)。
- (2) 編號2射手：資料數為30筆，其2個自變數與2個應變數分別之因果關係經適配至2次方項，其結果整理如表8所示，可明顯看出 X_1, X_2 對 Y_1 及 Y_2 因果關係顯著($R^2 \geq 0.85$)。將 X_1, X_2 等二項自變數適配至2次方項，並將交互作用項 X_1X_2 納入考量，其結果整理如表9所示，亦可明顯看出 X_1, X_2, X_1X_2 對 Y_1 及 Y_2 整體因果關係顯著($R^2 \geq 0.85$)。
- (3) 編號3-編號11射手：考量文章頁數限制，省略編號3-編號11射手之射擊結果分析相關表格及圖形。

4.6.2 全部射手

將11員射手之241筆射擊資料綜整，其2個自變數與2個應變數之因果關係經適配至2次方項，其結果整理如表10所示，可明顯看出 X_1, X_2 對 Y_1 及 Y_2 因果關係顯著($R^2 \geq 0.85$)。將 X_1, X_2 等二項自變數適配至2次方項，並將交互作用項 X_1X_2 納入考量，其結果整理如表11所示，亦可明顯看出 X_1, X_2, X_1X_2 對 Y_1 及 Y_2 整體因果關係顯著($R^2 \geq 0.85$)。

表 5. 變異數分析

X	Y	Source	SS	DF	MS	F	P	significant (95% CI)
X ₁	Y ₁	SS _T	88.03	6	14.67	1676.67	0.00	Yes
		SS _E	0.04	4	0.01			
		SS _T	88.06	10				
	Y ₂	SS _T	754.01	6	125.67	948.44	0.00	Yes
		SS _E	0.53	4	0.13			
		SS _T	754.54	10				
X ₂	Y ₁	SS _T	88.03	6	14.67	1676.67	0.00	Yes
		SS _E	0.04	4	0.01			
		SS _T	88.06	10				
	Y ₂	SS _T	754.06	6	125.68	1036.50	0.00	Yes
		SS _E	0.49	4	0.12			
		SS _T	754.54	10				
X ₃	Y ₁	SS _T	17.60	1	17.60	2.25	0.17	NO
		SS _E	70.46	9	7.83			
		SS _T	88.06	10				
	Y ₂	SS _T	163.00	1	163.00	2.48	0.16	NO
		SS _E	591.50	9	65.70			
		SS _T	754.50	10				

表 6. 編號 1 射手因果關係模型-單項自變數

應變數	自變數	因果關係	R ²	P
Y ₁	X ₁	$Y_1 = -45.18 + 43.25X_1 - 8.43X_1^2$	0.93	0.0001
	X ₂	$Y_1 = -5962 + 4386X_2 - 6.87X_2^2$	0.91	0.0001
Y ₂	X ₁	$Y_2 = 15520 - 12360X_1 + 2473X_1^2$	0.92	0.0001
	X ₂	$Y_2 = 1863 - 11840X_2 + 1885X_2^2$	0.90	0.0001

表 7. 編號 1 射手因果關係模型-多項自變數

應變數	自變數	因果關係	R ²	P
Y ₁	X ₁ , X ₂ , X ₁ X ₂	$Y_1 = -40.20 + 14.70X_1 + 5.14X_1^2 + 18.30X_2 + 2.03X_2^2 - 12.20X_1X_2$	0.97	0.0001
Y ₂	X ₁ , X ₂ , X ₁ X ₂	$Y_2 = 12100 - 5390X_1 - 1600X_1^2 - 2830X_2 - 1250X_2^2 + 4160X_1X_2$	0.96	0.0001

表 8. 編號 2 射手因果關係模型-單項自變數

應變數	自變數	因果關係	R ²	P
Y ₁	X ₁	$Y_1 = -2229 + 24.11X_1 - 4.43X_1^2$	0.92	0.0001
	X ₂	$Y_1 = -1991 + 15.70X_2 - 1.89X_2^2$	0.95	0.0001
Y ₂	X ₁	$Y_2 = 10960 - 8927X_1 + 1844X_1^2$	0.90	0.0001
	X ₂	$Y_2 = 12180 - 7605X_2 + 11.97X_2^2$	0.92	0.0001

表 9. 編號 2 射手因果關係模型-多項自變數

應變數	自變數	因果關係	R ²	P
Y ₁	X ₁ , X ₂ , X ₁ X ₂	$Y_1 = -2460 - 1.11X_1 + 7.67X_1^2 + 20.30X_2 + 1.22X_2^2 - 10.90X_1X_2$	0.98	0.0001
Y ₂	X ₁ , X ₂ , X ₁ X ₂	$Y_2 = 8970 - 30.80X_1 - 27.80X_1^2 - 29.90X_2 - 16.20X_2^2 + 52.90X_1X_2$	0.95	0.0001

表 10. 全部射手因果關係模型-單項自變數

應變數	自變數	因果關係	R ²	P
Y ₁	X ₁	$Y_1 = -9.33 + 11.94X_1 - 1.61X_1^2$	0.95	0.001
	X ₂	$Y_1 = -9.19 + 6.26X_2 + 0.09X_2^2$	0.92	0.007
Y ₂	X ₁	$Y_2 = 48.69 - 28.81X_1 + 3.69X_1^2$	0.94	0.006
	X ₂	$Y_2 = 49.57 - 15.91X_2 - 0.22X_2^2$	0.91	0.001

表 11. 全部射手因果關係模型-多項自變數

應變數	自變數	因果關係	R ²	P
Y ₁	X ₁ , X ₂ , X ₁ X ₂	$Y_1 = -8.45 + 10.60X_1 - 1.93X_1^2 - 0.88X_2 + 0.74X_2^2 + 0.03X_1X_2$	0.97	0.0001
Y ₂	X ₁ , X ₂ , X ₁ X ₂	$Y_2 = 48.90 - 23.20X_1 + 4.47X_1^2 - 1.42X_2 - 0.87X_2^2 - 0.90X_1X_2$	0.96	0.0001

五、研究結論與貢獻

5.1 研究結論

本實彈射擊實驗，可歸納幾點結論如下：

- (1) 實驗結果分析：射擊績效第 1 名(編號 1 射手，專業射手)之射手，其右食指指腹扣扳機平均力量(2.2 公斤)及左手指握力總合平均力量(2.8 公斤)皆為 11 員射手中最高，分析原因，乃因射手右手食指指腹準確施力於手槍扳機上，而左手指握力準確施力於手槍握把上，故手套型感測器(sensor 位於指腹處，如圖 5 所示)測得較大力量數值。反之射擊績效第 11 名(編號 11 射手，普通射手)之射手，其右食指指腹扣扳機平均力量(0.8 公斤)及左手指握力總合平均力量(1.5 公斤)皆為 11 員射手中最低，分析原因，乃因射手未準確施力於手槍扳機及握把上，故手套型感測器測得較小力量數值。而 11 員射手之射擊績效與右手指握力總合平均力量間，則無明顯關係存在。
- (2) T-75 手槍用槍規則上：上述射擊績效與握槍人因介面結果分析，除實質上驗證手槍射擊作業教範所提應以「右手食指指腹扣扳機」外，亦驗證「左手指握力總合力量」對射擊績效影響顯著，本成果在用槍規則上可作為射手「右手食指扣扳機姿勢」及「雙手握槍姿勢」之調校依據。
- (3) 因果關係模型解釋能力上：無論是單項自變數或多項自變數，單一射手或全部射手之因果關係模型，其解釋能力 R² 平均皆達 0.90 以上，而整體迴歸顯著 P 值平均達 0.005 以下，顯見模型具備高度解釋能力。

5.2 研究貢獻

目前國軍大幅整併組織並裁減人力，為達成訓練任務，各項裝備模擬器之需求因應而

生。本文成就與貢獻如下：

- (1) 射擊訓練上：可作為射手持槍姿勢調校依據，提升各單位射擊成績。
- (2) 握槍姿勢模擬器開發上：可快速確認射手握槍姿勢正確度。目前研究進度，摘要如下：
 - A. 探討握槍人因介面與射擊績效之因果關係(以迴歸分析法)為本研究第一階段，目前已完成。
 - B. 建立射擊績效預測模型(以支持向量機及倒傳遞神經網路等方法)，為本研究第二階段，目前已另案完成。
 - C. 適配握槍姿勢正確度指標(以窮舉法及損失函數概念)來快速驗證射手握槍姿勢正確度，並以實例來驗證正確度指標之預測能力，為本研究第三階段，目前正實施中。
 - D. 未來將步驟 A 至 C 相關函數內容以程式撰寫，預期可順利開發握槍姿勢模擬器。

參考文獻

- [1] 于慶金、錢伯成編著，輕武器射擊實用手冊，國防工業出版社，北京，第 241 頁，2000。
- [2] U.S. Marine Corps, Pistol marksmanship, MCRP 3-01B, Quantico, Virginia, pp. 66-67, 2003.
- [3] 王仁堂，“影響「射擊命中率」因素之探討”，中華體育期刊，第 6 卷，第 1 期，第 28-34 頁，1992。
- [4] 莊明振、蕭坤安，“建構圈椅風格的造形要素及其操作之探討”，設計學報，第 1 卷，第 1 期，第 51-66 頁，1996。
- [5] Yuan, C. K. and Lee, Y. H., “Effects of rifle weight and handling length on shooting performance”, Applied Ergonomics, Vol. 28. No. 2, pp. 121-127, 1997.
- [6] 高清漢，“探討從風格原型—看泳鏡造形特徵與意象的關係”，設計學報，第 7 卷，第 1 期，第 33-46 頁，2002。
- [7] 莊明振、陳俊智，“探討產品形態特徵與構成關係影響消費者感性評價之研究—以水壺的設計為例”，設計學報，第 9 卷，第 3 期，第 43-58 頁，2004。
- [8] 蘇俊霖、李文星、蘇裕傑、許裕燦，“以

- 核子醫學全身骨骼造影建立國內成人平均骨骼長度之人體計測”，慈濟醫學雜誌，第 16 卷，第 4 期，第 249-256 頁，2004。
- [9] 胡祖武、王正明、楊逸帆、鄭宇揚，“鏈擊式釘槍握把形態及握持舒適性評量之研究”，設計學報，第 11 卷，第 1 期，第 119-132 頁，2006。
- [10] 胡祖武、李傳房，“以主觀騎乘舒適性感受探討較舒適自行車座點位置之研究”，設計學報，第 11 卷，第 3 期，第 1-12 頁，2006。
- [11] 李德松、葉雲嬰，“QWERTY 與 DVORAK 鍵盤之輸入績效比較”，亞東學報，第 26 期，第 99-106 頁，2006。
- [12] 黃台生，“公路自行車把手舒適度之研究”，設計學報，第 14 卷，第 2 期，第 51-71 頁，2009。
- [13] 袁正綱，步槍設計對射擊績效之影響，博士論文，國立台灣科技大學管理技術研究所，台北，第 38、65 頁，1996。
- [14] Erik E. “The Effect of Meditation on Shooting Performance”, *British Journal of Sports Medicine*, Vol.30, No.4, pp.342-346, 1996.
- [15] Lluïsa “Visual Training Program Applied to Precision Shooting” *Ophthalmic and Physiological Optics*, Vol. 15, NO.5, pp. 519-523, 1996.
- [16] Doppelmayr “Frontal Midline Theta in the Pre-shot Phase of Rifle Shooting Differences between Experts and Novices” *Neuropsychologia*, Vol. 46, pp.1463-1467, 2008.
- [17] Lakie M., “The Influence of Muscle Tremor on Shooting Performance”, *Experimental Physiology*, Vol. 95, No.3, pp 441-450, 2010.
- [18] 賀全慶，“量測精確度的統計推論”，中華民國品質學會第 43 屆年會暨第 13 屆全國品質管理研討會論文集，台北，第 1-2 頁，2007。
- [19] ISO 5725-1., Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results -Part 1: General Principles and Definitions. Geneva. Switzerland: International Organization for Standardization, pp. 1-8, 1994.
- [20] ISO 5725-2., Accuracy (Trueness and Precision) of Measurement Methods and Results -- Part II: Basic Methods for the Determination of Repeatability and Reproducibility of a Standard Measurement Method. Geneva. Switzerland: International Organization for Standardization, pp. 1-10, 1994.
- [21] 林惠玲、陳正倉編著，應用統計學，雙葉書廊有限公司，台北，第 329 頁，2007。
- [22] 賀力行、林淑萍、蔡明春編著，統計學，前程企業管理有限公司，台北，第 41-42 頁，2006。
- [23] Montgomery, D., Design and Analysis of Experiments 5th Edition, John Wiley and Sons, New York, pp. 411, 2001.
- [24] 熊高生編著，MINITAB 14 資料統計與分析，文魁資訊股份有限公司，台北，第 23-2 頁，2007。
- [25] Infusion Systems Ltd, I-CubeX Reference Editor v2.5x, Canada, pp. 19-21, 2005.
- [26] <http://infusionsystems.com/catalog/index.php>