

由生物力學-探討手榴彈門窗目標立姿 投擲準確度之研析

作者/盧俊男士官長



指職士官班 92 年班，士官長正規班 36 期，體幹班 98 期，曾任班長、副排長，助教、教官，國立高雄師範大學體育研究所(在學中)，現任職於陸軍步兵訓練指揮部運動科學推廣中心體育教官。



作者/周書逸中尉

107-2 梯志願役預備軍官班、國立高雄師範大學體育學系學士、國立高雄大學運動健康休閒學系在職專班(在學中)、現任職於陸軍步兵訓練指揮部運科中心教官

提 要

- 一、手榴彈破片殺傷力高，現代作戰中有關城鎮攻防戰，或是近距離戰鬥時都能發揮良好的殲敵效果，因此，手榴彈投擲訓練為單兵訓練重要核心項目之一，然而在門窗項目經統計命中率較低，即使是受過嚴格訓練的官兵，也難以維持既有的訓練成效。
- 二、從運動力學角度研究手榴彈出手角度，是利用三維空間¹中的拋物線運動，帶入運動學模型進行計算其結果:出手時的仰角會因投擲速度呈負相關，若投擲速度低於 12.048 公尺/秒，手榴彈則無法飛行至門窗框底下沿，當投擲速度介於 12.048 至 13 公尺/秒之區間時，出手位置宜在 30 至 45 度之間進行調整；當投擲速度大於 13 公尺/秒，此時出手仰角在 20 至 30 度區間之間實施修正即可，計算速度與投擲角度可知，提升命中率的因素有三項分別是，出手時的初始速度、水平投擲角度以及投擲仰角等。
- 三、運動學理正確動作無誤，但是到了戰場會有不同的壓力與恐懼，會對肌肉會產生一定之影響，強調以力學原理控制投擲技巧，嫻熟之後就可以降低有關於肌肉記憶、心智練習、增壓訓練、投彈應變等相關訓練之壓力，隨時隨地都能以生理產生之直覺完成正確投擲動作，精準命中目標。

關鍵詞：手榴彈、投擲、運動力學、精準度

¹ 三維座標系統中，選定三條互相垂直的平面，一般會選擇 x 軸及 y 軸是水平的，z 軸垂直往上。

壹、前言

手榴彈傳統投擲訓練方法是以反覆訓練、熟能生巧，在錯誤中探索正確動作要領，以逐次提高命中目標的比率，投擲要領係是照經驗法則降低錯誤率，但是這種方法缺少運動科學理論基礎，無法將人體生理與投擲運動表現完整結合，且容易產生運動傷害。本研究是以運動生物力學（sports biomechanics）為訓練研究基礎，選擇較不易控制之手榴彈野戰投擲「門窗」為訓練項目，藉由下肢、軀幹、上肢完整力量結合，使身體之協調性、敏捷性、柔軟度、肌肉、骨骼、關節的運用，都能符合生物力學理論之要求要領，也就是將傳統訓練方式，導入運動科學理論相關範圍，如此，將可以使每一次投擲訓練都能符合人體力學，將施力範圍、施力點、投擲點逐漸累積出大腦之「肌肉記憶」²（Muscle Memory），訓練越嚴格、越正確、越持續，肌肉記憶時間就會維持的越久，手榴彈野戰投擲命中率就會相對提高，若能再運用攝影機記錄訓練過程，以慢動作逐段解析動作要領，強化學者對投擲動作之基本認知與回顧檢測，雖然耗時耗工，但運用科技培訓講求的就是有憑有據、有對有錯、相互對照、分段檢視、實事求是，本篇研究即是本此理念以生物力學理論為標的，降低訓練過程錯誤率與提升正確率，當作推廣到其他軍事訓練項目的參考模式，使訓練時間做有效率的分配，以達到預期訓練目標。

貳、與手榴彈投擲有關之運動科學理論

普遍認為投擲只需要強大的上肢力量，就能將器械擲遠，然而並不是這樣，整個投擲過程是需要由墊步、滑步與身體旋轉等技術，透過下肢、軀幹和上肢的所有力量結合，方能有較佳的運動表現，因此，投擲運動是全身性的運動，要有爆發力，還需要有速度、柔軟度、協調性及敏捷性等特點。³

一、運動生物力學

人類自從電子計算機(電腦)發明後，各類學科快速發展並增加許多新興學科，增加的主要原因是由於不同領域理論的整合，創造出許多不同的新興學科，例如：運動生物力學是以生物學架構與力學理論結合，是一門研究人體運動的新興學科，它結合運動、生物學與力學。早期人體運動力學(Kinesiology)是指人體運動學或運動機能學以解剖學觀點加入體力學與數學運算，觀察人體運動中肌肉、骨骼、關節的槓桿效率，較常用在復健醫學中，而國外有一些體育相關系所即以此(Kinesiology)為體育系名稱。

二、動力鏈之原理

投擲動作屬於動力鏈的動作，而動力鏈的傳動是以近端至遠端的順序為原則，當肢段將動力傳遞至下一個相連的肢段後，先前的肢段即進入定速或減速的階段，

² 肌肉記憶是屬於內隱記憶的一種，它指的是人在一段時間內重複做出技術、過程、與如何的記憶，久之大腦就會記住這一動作，最終人能在不用多想的情況下就能做出此一動作，如球類運動、鍵盤輸入、密碼輸入等。

³ 林佳瑩，〈投擲項目專項特質之探討〉《文化體育學刊》，第31輯，西元2020年10月，頁54。

可以讓末段肢段有效發揮先前傳遞的動力，並達到最大角速度。⁴身體各肢段在投擲動作中均扮演重要角色，克服慣性、產生加速度及對抗反作用力，最終將完整的動力鏈產生之動力傳遞至出手端點。

三、肌肉記憶與記憶消失

經過體育專項訓練的人應該都聽過肌肉記憶(Muscle Memory)就算已有一段時間沒運動，肌肉一樣記得幾個月前養成的肌力，在此喚醒你的肌肉記憶。你可能多年沒碰滑雪板，卻也記得如何滑雪，長大後就不再練體操，卻也還記得如何側手翻。

「肌肉記憶」⁵就是能讓你的身體從中斷處找回感覺的能力，但你的肌肉實際上並沒有記住任何東西，而是由「大腦」記下這些運動技能。相同的道理，「肌肉記憶」是因為先前累積的訓練經驗，讓過程變得更有效率，知道該如何控制身體行動；使肌肉收縮、聚集肌纖維，這過程就叫作「程序記憶」，基本上就是透過一再重複的動作來儲存特定運動神經任務的記憶，例如騎腳踏車，學會了就不會忘記。

四、肌肉記憶如何對應停止訓練

近年來受到新冠疫情影響，許多健身房或訓練場館都關閉中及消毒中，對有計畫訓練的人影響甚大，很多人可能都會擔心，若這段期間減少重訓運動，甚至停止訓練(Detraining)，會對身體造成影響嗎，這個課題往往在運動科學研究文獻都經常拿出來討論，因每個人在漫長的運動階段總會因為一些困難發生而不能持續訓練，例如：健康、傷患、家庭或工作因素等，研究指出完全停止訓練 2-3 星期以上，可能就會讓我們的肌肉力量明顯減少。

五、肌肉量(Muscle Mass)

(一) 肌肉在停止訓練後首 2 星期會顯著變小，主要是肌肉內的醣原儲備(glycogen store)下降，使伴隨的水份體積減少所致。

(二) 肌蛋白纖維流失在停訓 2-3 星期後會變得明顯，使肌肉出現萎縮(atrophy)。

六、力量(Strength)

最大肌力一般可維持最多 3-4 星期，往後就會明顯的下跌，這與肌肉橫切面積(cross sectional area)縮小和缺乏神經系統刺激有關。

七、耐力(Endurance)

初學者的耐力表現約可維持約 2 個星期，但會在第 4 個星期後倒退至原先標準，高水準運動的最大攝氧量(VO₂max)則會在停止訓練後約第 4 星期下跌約 6-20%。

八、肌肉粒線體(mitochondria)

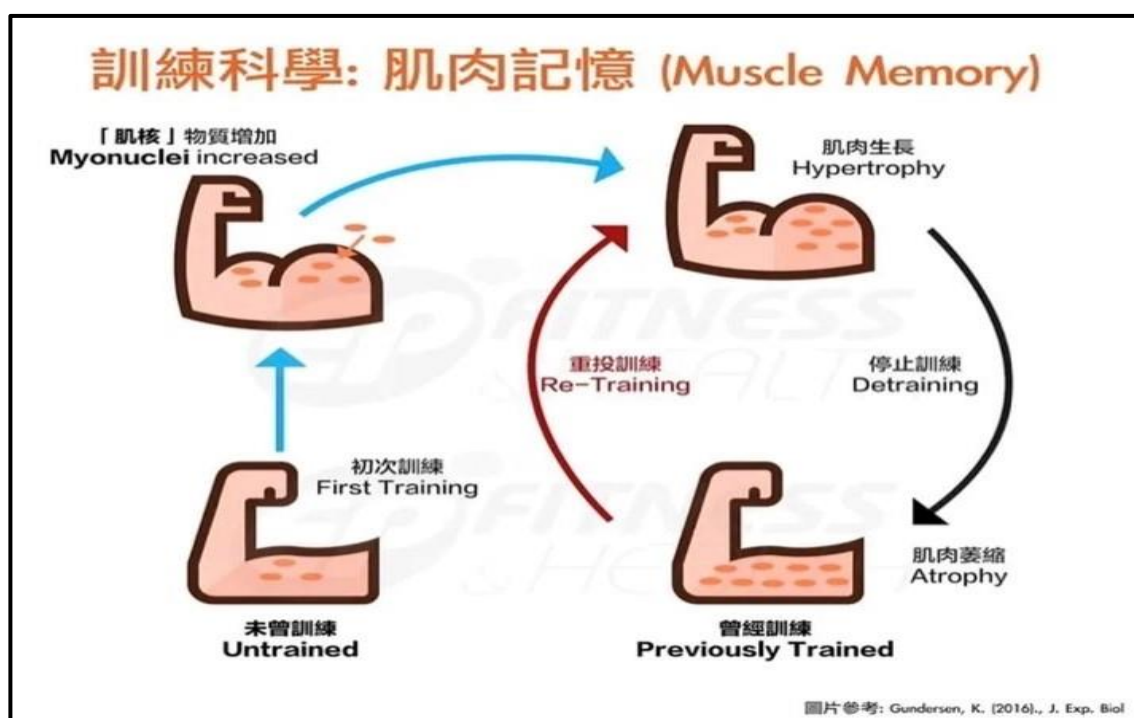
微血管密度，有氧酵素和心肺功能皆會顯著下降，因此我們在可行情況下應保

⁴ 彭賢德、彭賢順、與彭賢勝，〈三種不同重量鉛球站立式投擲之投擲臂生物力學分析〉《大專體育學刊》，第 9 卷 2 期。

⁵ 同註 2

肌肉記憶又稱「表觀遺傳學(Epigenetics)」是 1980 年代逐漸興起一門學科，是在研究孟德爾遺傳學遺傳法則，不相符的許多生命現象過程中逐步發展起來的。這些變化可能通過細胞分裂而得以保留，並可能持續幾代。

持一定的運動量，以維持健康體格，如不方便外出，可進行居家運動，並計算消耗之能量需要調整飲食量，避免攝取過高熱量以致肥胖，即便運動計畫暫時停止，人體的肌肉具有「記憶性」(Muscle Memory)這概念很早就在運動員和教練間流傳，但科學界對細胞原理一直無法精確瞭解，直至 2016 年，挪威學者 Kristian Gundersen 於其研究中發表嶄新理論，指出肌肉纖維透過訓練，會從周邊活躍的衛星細胞(satellite cells)中取得一種名為「肌核」(Myonuclei)的功能物質，當我們停止訓練一段時間，肌肉纖維會萎縮，這些過往訓練增生出來的「肌核」卻依然會保留在肌肉內，(如圖一)可長達數十年甚至永久，故只要我們恢復正常訓練，肌肉蛋白合成(muscle protein synthesis,MPS)速度也會最快，容易重回之前的水準狀態。



圖一 肌肉記憶

資料來源：EP Fitness & Health 運動科學 香港(檢索時間 2022 年 5 月 1 日)

參、門窗場地規格與投擲要領

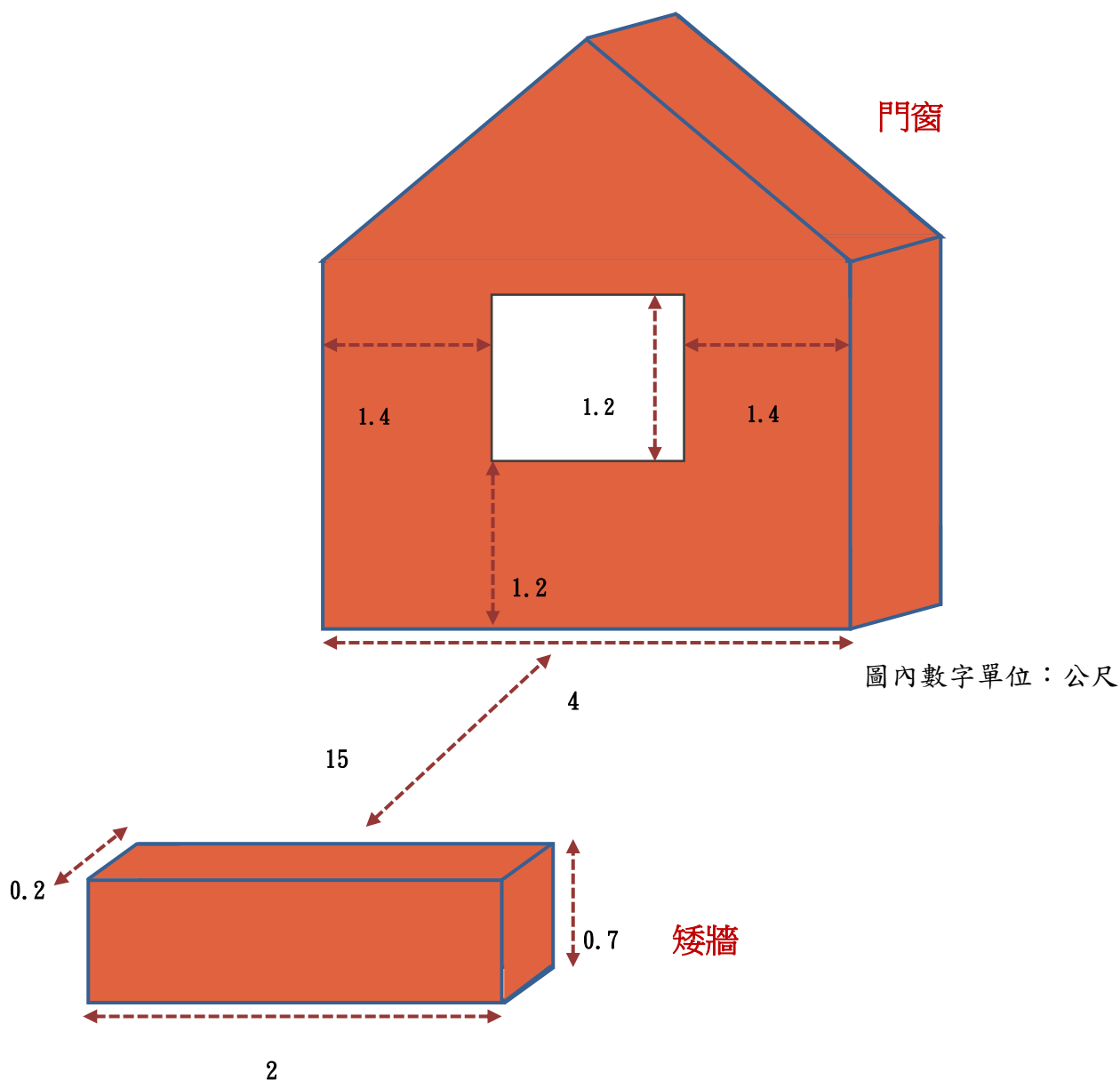
門窗投擲是手榴彈野戰投擲項目之一，其餘包含交通壕、機槍掩體、迫砲掩體、散兵群等 5 站投擲項目，主要是訓練學者利用各種地形、地物、結合基本投擲姿勢與要領，實施投彈訓練磨練學者在不同目標下之投準技術。

一、門窗規格

本研究以國軍門窗投擲鑑定測驗場地之規格標準，單兵在矮牆（掩體）後方距

⁶ 肌核是肌肉的細胞核，而細胞核是一個細胞的控制中心，當肌肉因重量訓練而增大，一個肌核其控制的範圍因此變大，身體會製造更多肌核，讓肌肉可以繼續變大，有趣的是，2013 年的老鼠實驗發現：當停止施予實驗組老鼠睪固酮後，當初與肌肥大一同增加肌核似乎不會跟著肌肉一起流失，而是繼續存在，雖然肌肉大小已經縮小到跟其他肌核較少的控制組老鼠一樣時，但開始訓練後牠們的增肌速度會比其他老鼠快上許多。

離門窗 15 公尺，窗戶的面積為 1.2×1.2 公尺，窗戶距離地面最近距離為 1.2 公尺，窗戶兩側牆壁各距離為 1.4 公尺，矮牆長、寬及高度分別為 2 公尺、0.2 公尺及 0.7 公尺，。(如圖二)



圖二 門窗項目相關規格
資料來源：筆者自行製作

二、手榴彈規格與握彈要領

(一) 手榴彈規格

國軍現用練習手榴彈為國造 MK1A1 式練習彈，彈體高約 11.5 公分，直徑約 5.5 公分，鐵質、橢圓形成龜紋狀 48 裂片、中空、彈體左側及尾部開圓孔、重量約 580~600 公克。(如圖三)



圖三 國造 MK1A1 式訓練用手榴彈
資料來源：筆者自行製作

(二)握手榴彈要領

國造 MK1A1 式訓練用手榴彈，彈體成橢圓形，握手榴彈時通常以右(左)手，虎口向上張開，將手榴彈置於掌心，以虎口緊握保險板向下壓，再以手指環握手榴彈體，使手榴彈與手掌要完全密合，要有握緊但又不會不舒適的感覺(使用左手投手榴彈時，握手榴彈方法一樣，惟取下安全插銷時應轉手腕，使手榴彈引信之頂部向下)。(如圖四、五、六)



圖四 右手握彈
資料來源：筆者自行製作



圖五 左手握彈
資料來源：筆者自行製作

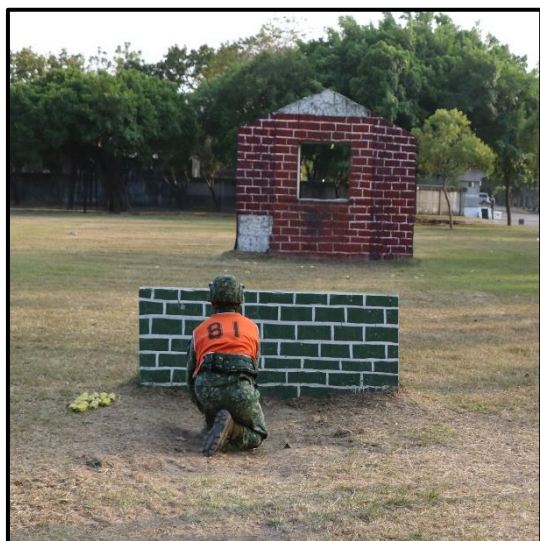


圖六 左手握彈
資料來源：筆者自行製作

(三)投擲要領

單兵以戰鬥蹲姿在待命投擲線後方，報告編號及姓名後按戰鬥動作進入掩體後方，以伏進運動方式前進至適當投手榴彈位置，將步槍平放右側地面，取手榴彈後將身體變換成投擲姿勢、右(左)腿上抬，左(右)手掌撐地，利用左(右)手掌及右(左)手肘之力量將身體撐起，同時左(右)腳向前一步，完成投擲跪投預備動作，待準備

動作調整適當，按照跪姿或立姿投彈要領一氣呵成完成投彈動作，(如圖七、八)投彈後迅速臥倒右手握取槍身，以低姿勢退離掩體。



圖七 跪投姿勢
資料來源：筆者自行製作



圖八 立投姿勢
資料來源：筆者自行製作

(四)要求標準

門窗每人投擲 2 發，第 1 發命中 100 分，第 2 發命中 70 分，如第一發命中不再投擲第 2 發，2 發均未命中目標零分計算。

肆、生物力學與手榴彈門窗投擲相互關係

根據國軍近戰戰技手冊，垂直目標(如門窗)投擲弧度應小，方能加大接觸面，進而提升命中率。因此，將以投擲角度與投擲速度來討論投擲技術之應用。

一、投擲應用動作

投擲動作最重要的是肢體空間移動的序列性以及角動量⁷的傳遞，藉由類似甩鞭的動作效應，使近端肢段得以傳遞角動量，並利用旋轉半徑減少的現象，使末段肢段得到加速度進而將彈體投出，有效增進彈體速度及投擲距離。

這動作即屬於動力鏈的動作，投擲者先蹬足將地面之反作用力向上傳達，臀部關節順勢扭轉再將此一動力傳遞至腰部，腰部以逆時鐘方向旋轉，並轉體傳遞動力至肩部，肩部轉動挺胸再帶動手臂，手臂由上臂前壓加速，此時前臂與手腕產生向身體後方伸展之後擺作用，當上臂順利完成作用後就開始往反方向移動，同時前臂開始向前加速揮臂以承接來自上臂傳遞的動力，而後手腕開始加速壓腕，此時前臂已減速，加上指尖瞬間出力壓手榴彈，使手榴彈旋轉投出，達成在整段投擲過程中肢段動作一連串的角動量傳遞，越大的肩膀角速度就可產生越大的上半身張力。⁸藉

⁷在物理學中，角動量是與物體的位置向量和動量相關的物理量，當系統所受合外力矩為零時系統的角動量保持不變，角動量 ω (轉速)，即 r (半徑)越小，能產生越大 ω (轉速)。

⁸ 彭賢德、彭賢順、彭賢勝，〈旋轉式鉛球投擲技術之探討〉《教練科學》2003

由精確地調整關節旋轉的角度，讓動力鏈節點連接得宜，便能讓末段肢體完全發揮先前傳遞的動力並穩定投擲軌跡，進而提升整體投擲的精準度，且單兵投擲過程中，需穩定肩胛骨以及手腕關節，讓主動肌、拮抗肌、協同肌三者相互作用，使加速期與餘勢動作期能和諧的配合傳遞投擲動能，在投擲加速過程中，肌肉共同收縮作用較強，容易造成投擲的不穩定，故在投擲時穩定軀幹及腕關節較出力加速投擲是很重要的。⁹

二、發力過程與投擲點

根據研究指出，投擲手榴彈時，當肩關節與肘關節的角度愈接近水平時，手榴彈與身體中心軸之距離愈遠，故手榴彈彈體的速度會愈快。然而，手榴彈門窗投擲是一項要求精準度的戰鬥技能，因此，投擲時應減少肘關節的角度，以降低手臂末端所產生的左右水平位移，進而增加投擲時方向的穩定性。¹⁰

三、投擲速度是影響投擲距離的重要因素

要增加投擲速度，第一是快速身體移動(或旋轉)，第二是後腳蹬地發力，第三是爆發力，第四是最後用力的延伸臂上；而在專項能力上要注意速度訓練與快速力量之訓練，以提高投擲者的動作速度為主，並強調快速用力能培養快節奏投擲的神經反應，上肢關節角度、速度與手榴彈瞬間速度與投擲距離之相關性，投擲物體離旋轉中心越遠，所得到的角速度也就越大。¹¹

四、手榴彈拋物線與落點

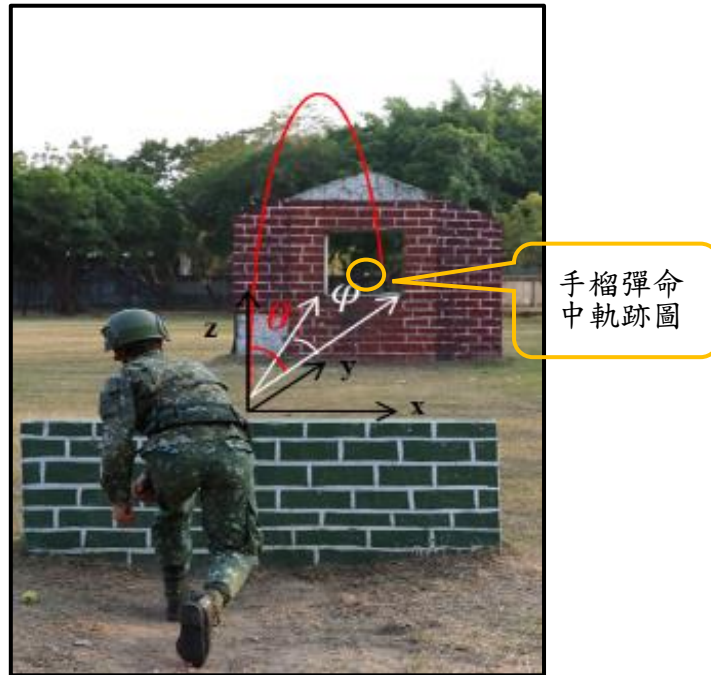
手榴彈門窗投擲之運動學，藉由力學分析以及手榴彈投擲彈道分析，能提升單兵投擲手榴彈門窗項目之精準度，手榴彈投擲動作為三維投擲運動，(如圖九)，假設環境造成的擾動以及阻力極小，可以省略風所造成之方向修正，並且經身體動力鏈傳動後，會產生一個瞬間的拋擲速度(V)，而從背部肌群的拮抗收縮，經由手臂的肌群形成加速，最終到手腕指節影響出手角度，我們以垂直的仰角(θ)¹²以及水平投擲角度(ϕ)來表示，分析 XY 平面的運動軌跡及 YZ 平面的運動軌跡，逐一進行討論其有效命中門窗的限制條件。

⁹ 劉于詮、陳協鴻、與歐明威，〈手榴彈與棒球投擲加速與餘勢動作其主動肌與拮抗肌共同收縮之分析〉《國立體育學院論叢》，第 16 卷 3 期，西元 2005 年 12 月，頁 151~164。

¹⁰ 王士豪、鍾璧年、陳太正、與黃國揚，〈手榴彈散兵群目標投擲與基本投擲之運動學比較分析〉《輔仁大學體育學刊》，第十期，西元 2011 年 5 月，頁 263~265。

¹¹ 黃國揚，〈手榴彈投擲動作之運動學分析〉《國防大學通識教育學報第六期》西元 2016 年 7 月，頁 171-187。

¹² 即 Theta，第八個希臘字母，數學上常代表平面的角。



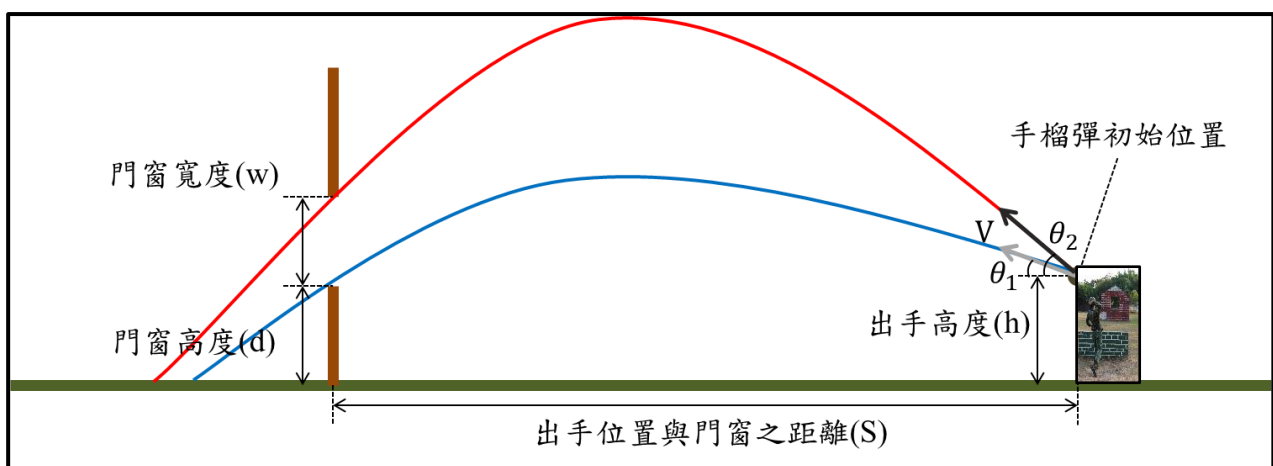
圖九 立姿投擲動作要領
資料來源：筆者自行製作

五、XY 平面投擲運動分析(如圖十)

在水平方向中，可有效投入門窗的限制條件為 φ 角必須落在門窗左右的範圍內，假設投擲者站立於門窗正前方，且定義投擲者正面的 φ 角度為 0 度， w 為門窗寬度， S 為手榴彈出手位置與門窗之距離，藉由基本三角函數可以算出水平投擲角度 φ ¹³的範圍：

$$-\tan^{-1}\left(\frac{w}{2S}\right) \leq \varphi \leq \tan^{-1}\left(\frac{w}{2S}\right) \quad (1)$$

六、YZ 平面投擲運動分析



圖十 手榴彈門窗投擲之飛行路線示意圖
來源 筆者自行繪製

¹³ Phi，第二十一個希臘字母，數學、物理中的角度（與 θ 共同）。

圖八為手榴彈門窗投擲之飛行路線示意圖，為求出投擲者以出手速度 V^{14} 投擲時，使手榴彈能有效命中門窗之出手角度 θ 的範圍，本文假設投擲出去後，手榴彈可以剛好從門窗下緣位置躍過的拋物線角度為 θ_1 ，而最高有效出手的拋物線角度為 θ_2 ，可推知當出手角度範圍介於 $\theta_1 < \theta < \theta_2$ ，¹⁵此時手榴彈便可以精準地落在命中目標內，同理 S 為手榴彈出手位置與門窗之距離、 h 為手榴彈出手高度、 d 為門窗高度， w 為門窗寬度，並假設手榴彈在飛行過程中不受任何阻力影響。

本篇研究門窗投擲鑑定測驗場地為規格標準，投擲者位置與門窗之距離(S)為 15 公尺、門窗高度(d)為 1.公尺，門窗寬度(w)為 1.2 公尺。手榴彈出手高度(h)為參考國防醫學中心團隊統計之數據，因為每位單兵投擲習慣的不同，造成出手高度會有些許的差異，故本文以我國役男體型，平均身高 1.68 公尺，來當作出手高度的參考標準，以此背景來進行計算，並假設手榴彈在飛行過程中受到阻力影響極小，不會影響其運動軌跡，故我們計算此速度區間內之有效命中門窗投擲仰角¹⁶的理論值。以上述參數進行考量後，最低出手速度 V_{min} 需大於 12.048 公尺/秒，小於此投擲速度為無效投擲，從下表內可知手榴彈投擲速度與有效出手角度呈現負相關，當投擲速度越大，拋射出去的仰角就要越小，且有效投擲範圍區間從 7~9 度，縮小成 4~5 度，很容易稍有不慎便偏離有效投擲區。(如表一)

表一有效命中門窗的理論投擲角度
資料來源 筆者自行繪製

手榴彈投擲速度(m/s)	最低出手角度 θ_1	最高出手角度 θ_2
12.1	40.909	44.887
12.2	38.247	45.357
12.3	36.433	45.815
12.4	34.978	46.262
12.5	33.737	44.641
12.6	32.643	43.641
12.7	31.659	41.042
12.8	30.760	39.307
12.9	29.931	37.923
13	29.160	36.745
13.1	28.439	35.707
13.2	27.760	34.775

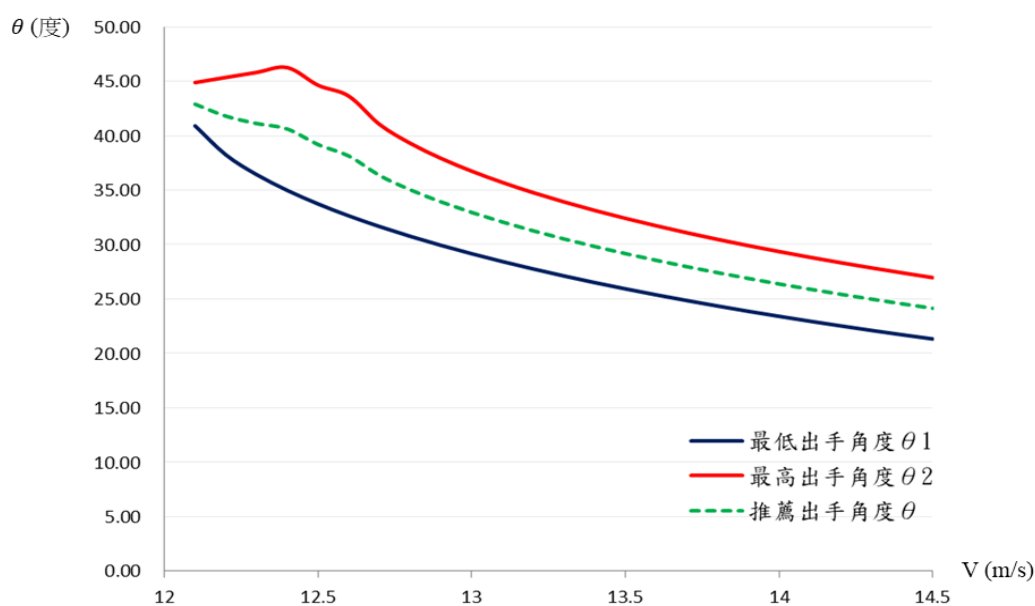
¹⁴ 即 Velocity，是描述物體運動快慢和方向的物理量。

¹⁵ 即速度最小值(Velocity minimum)，物理學上常以 V_{min} 表示。

¹⁶ 即 Theta，第八個希臘字母，數學上常代表平面的角。

13.3	27.120	33.924
13.4	26.512	33.139
13.5	25.935	32.410
13.6	25.385	31.727
13.7	24.859	31.086
13.8	24.356	30.479
13.9	23.873	29.905
14	23.409	29.359
14.1	22.963	28.838
14.2	22.534	28.340
14.3	22.119	27.864
14.4	21.719	27.407
14.5	21.333	26.968

為求出推薦投擲角度，我們將最高出手角度以及最低出手角度相加後取平均，並將數據以綠色虛線表示(如圖十一)，從圖中數據可以清楚發現到，在進行門窗手榴彈投擲時，基本上出手仰角必須小於 45 度，當投擲速度介於 12.048 至 13 公尺/秒時，以 30 至 45 度區間的仰角順著拋物線進入門窗，而當投擲速度大於 13 公尺/秒，則仰角落在 20 至 30 度範圍內，由此可知隨著投擲初速度不斷加大，出手的仰角也須同時修正，減少其拋物線的仰角，用較低的拋物線軌跡通過，才可有效的命中投擲目標。(這就像棒球投手以直球與曲球進壘所需要的拋物線角度一樣，直球快但進壘時拋物線角度較平、投曲球時速度慢進壘時拋物線幅度較大)。



圖十一 不同投擲速度下有效出手角度分析

圖片來源 筆者自行繪製

而實際操作時，我們以單眼相機(EOS 7D Mark II, cannon)在手榴彈投擲的標準場域拍攝運動軌跡，當以較慢速度出手時，手榴彈飛行初始速度，約為 11~13 公尺/秒，飛行軌跡會形成較高的拋物線，(如圖十二)此時的投擲仰角約為 40~45 度的區間，而若要以較快的投擲速度進行投擲時，飛行初始速度約為 13~14 公尺/秒，飛行軌跡則會是以較低的拋物線軌跡進入門窗。(如圖十三)



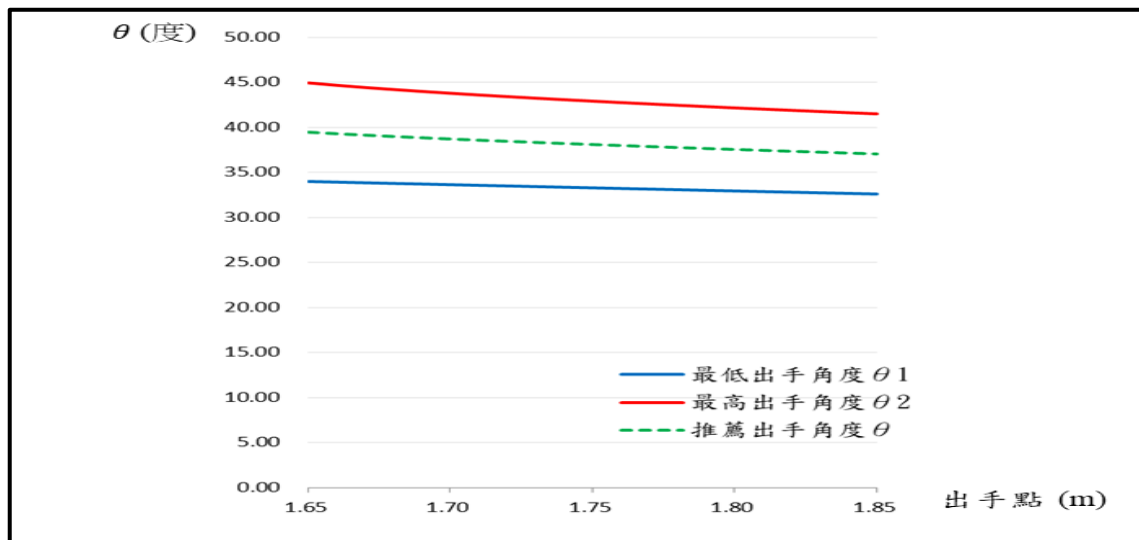
圖十二 手榴彈門窗高仰角投擲之飛行軌跡
資料來源 筆者自行繪製



圖十三 手榴彈門窗低仰角投擲之飛行軌跡
資料來源 筆者自行繪製

一般體位的單兵來進行試算，單兵出手平均速度為 12.5 公尺/秒，得出最低有效出手角度為 $\theta_1 = 33.737$ ，最高有效出手角度為 $\theta_2 = 44.641$ ，因此建議投擲仰角為 39 度，此投擲角度較容易命中目標。過去經驗中，感覺不同出手位置會影響最終的飛行結果，於是本文固定投擲速度，以平均速度 12.5 公尺/秒來進行試算，其餘參數固定，帶入命中門窗的限制條件，計算其所需的出手角度，(如圖十)所示，以國人身高主要分布的區間，從 1.65 公尺到 1.85 公尺分別計算；結果顯示：不同出手點對於

門窗投擲的角度不會有大幅度的修正，修正範圍皆小於 5 度內，此因素並非為主要因子，出手角度的選擇以及出手的瞬間初始速度是至關重要的。(如圖十四)



圖十四 不同出手點-有效出手角度比較
資料來源 筆者自行繪製

伍、強化肌肉記憶維持訓練成效

「肌肉記憶」¹⁷就是能讓你的身體從中斷處找回感覺的能力，但你的肌肉實際上並沒有記住任何東西，而是由大腦記下這些運動技能，「不斷重複某個特定動作時，就會訓練到肌肉神經系統，最後中樞神經系統就能在不經大腦思考的情況下，學會流暢且協調地進行該動作」。

一、動作要正確，避免造成肌肉錯誤記憶

有句話是當局者迷，旁觀者清，單兵手榴彈投擲訓練動作，要先由教官分析單兵身高、體重、肌力與身體之協調性，找出適合該員之手榴彈飛行速度與適當之拋物線，以找出最好的出手角度，由教官在旁邊輔導檢視學者姿勢是否正確與動作要領錯誤項目與發生之機率，必要時可以藉由攝影機攝影動作過程，以慢速播放檢視動作之正確性，往返數次，一次、一次慢慢檢討修正，找出學者習慣性錯誤出現的時機點與出現機率，這樣或許會很麻煩，但是一個一個慢慢調整投彈動作要領，使投彈動作穩定與正確，久而久之學者之大腦與肌肉就會形成投彈正確動作之簡單記憶，當然要形成深刻記憶是有一定之困難度，不可將學習重心一直放在手榴彈投擲項目，本篇講求的是科技訓練方法與要領，讓讀者知道正確學習理論基礎與訓練實況完整結合，是適用在單兵射擊與運動聯繫整體環節的每一個分項動作，這是以正確為原則，讓單兵訓練能達到紮實的要求。

二、訓員多、場地有限，影響投擲訓練次數問題

¹⁷ 同註 5

若單位因手榴彈投擲場地受限的關係，其實還有很多種方式可以加強練習，可運用簡易式門窗、輪胎堆疊、投擲網、環形投擲，避免少人操作，多人休息，其中環形投擲一次可達多人投擲訓練，運用不同投擲姿勢及投擲目標，採用輪帶式的訓練方式，亦不會造成訓練枯燥乏味，均可達到訓練能量。(如圖十五、十六)



圖十五 環形投擲訓練方式
資料來源 筆者自行繪製



圖十六 投擲網、移動式門窗
資料來源 筆者自行繪製

三、藉影像錄製修正投擲姿勢

現在 3C 器材與操作技術發達，許多戶外運動者都喜歡使用 GoPro 運動攝影機，(任何攝影器材都可以拿來運用)可將運動攝影機架設在投擲者及門窗目標的全貌，從出手角度到門窗位置，(如圖十七)紀錄持續投擲數發，依投擲人員能力而定，亦可分析回放，有命中門窗的投擲角度，跟沒有命中門窗投擲門窗的角度，運用攝影機的回放方式矯正投擲者，正確的出手角度以及最佳命中門窗的投擲角度。



圖十七 運動攝影機
資料來源 筆者自行繪製

四、以拉力帶、壘球降低肌肉記憶消失速度

1. 雙人一組取適當間距，後面人員擔任指導員（通常以能將拉力帶維持直線），投擲者動作，身體重心在後，後腳屈膝，投擲之手向後伸緊握拉力帶。依蹬地、扭腰、挺胸、轉體、揮臂、壓腕等動作順序操作，並依投擲動力鏈之順序，使用學生導師法逐次相互檢查糾正(如圖十八)，可用於輔助修正投擲姿勢不良者之動作。(其要領熟悉後獨自將拉力帶架設穩固的位置，即可自行練習)



圖十八 拉力帶降低記憶消失

資料來源 筆者自行繪製

2. 以籃、排、藥球實施近距離揮臂投擲動作，做全身性投擲訓練，藉拋接球方式，訓練投擲協調性，增加爆發力，同時達到負重訓練之效果，另外也可用棒壘球，實距離投遠及投準練習，以手套互相傳接練習投準，也能輔助野戰投擲目標，當投準訓練，操作時採多球適量訓練，連續實施投擲動作，後面發球人員擔任指導者，協助操作者投擲動作及調整投擲姿勢。(如圖十九)



圖十九 棒壘球投擲降低記憶消失

資料來源 筆者自行繪製

陸、結語

軍人就像專業運動員，須掌握生理狀態並配合熟練的投擲技巧，才能在戰鬥時發揮殲敵效果，手榴彈門窗投擲主要仰賴身體動力鏈的連結以及手腕控制投擲精準度，投擲目標的遠近高低或投擲目標速度上的快慢，皆仰賴著手指壓腕的精密動作調整，因此建議接受戰力評鑑或實戰戰鬥時，都可運用本文建議之投擲方法為基礎勤加練習，若臂力較強的學員，建議壓低出手角度來進行投擲，身體盡可能面相投擲目標，穩定軀幹便可有效的控制水平角度的不穩定性，而臂力較小的學員，建議採取高拋物線投擲策略，因投擲時會借力下半身的動力鏈傳動，容易會有下半身不穩定的狀況，進而影響水平角度的控制以及整體投擲的順暢性，建議投彈離手瞬間讓身體軀幹面相投擲門窗，穩定肩胛骨，降低投擲動作的不穩定因子，並勤加練習使身體記憶出最適合自身的投擲姿勢，有效率的提高命中目標的比例，未來各級幹部都可以研究以科技方法納入訓練課程，以降低傳統訓練耗時無參數作訓練改進之依據。

參考文獻

- 一、陳建汎，〈手榴彈投擲動作之運動學分析 - 不同經驗投擲者之比較〉，國立體育大學碩士論文，西元 2003 年。
- 二、石昇文、羅國誠、與王苓華，〈棒球投手投擲手部之生物力學〉《大專體育》，第 104 期，西元 2009 年 10 月。
- 三、吳炫政、與林裕量，〈軍事體育訓練學理基礎之探討-手榴彈投擲〉《國防大學通識教育學報》，第七期，西元 2017 年 6 月 1 日。
- 四、黃國揚，〈手榴彈投擲動作之運動學分析〉《國防大學通識教育學報》，第六期，西元 2016 年 7 月。
- 五、林佳瑩，〈投擲項目專項特質之探討〉《文化體育學刊》，第 31 輯，西元 2020 年 10 月。
- 六、彭賢德、彭賢順、彭賢勝，〈三種不同重量鉛球站立式投擲之投擲臂生物力學分析〉《大專體育學刊》，第 9 卷 2 期，西元 2007 年 6 月。
- 七、劉于詮，陳協宏與歐明威，〈手榴彈與棒球投擲加速度與餘勢動作期主動肌與拮抗肌共同收縮之分析〉《國立體育學院論叢》，第 16 卷 3 期，西元 2005 年 12 月。
- 八、國防部陸軍司令部，《近戰戰技手冊》（桃園縣:陸軍司令部，西元 2006 年）。
- 九、王士豪、鍾璧年、陳太正、與黃國揚，〈手榴彈散兵群目標投擲與基本投擲之運動學比較分析〉《輔仁大學體育學刊》，第十期，西元 2011 年 5 月。
- 十、Gundersen,K(2016).Muscle memory and a new cellular model for muscle atrophy and hypertrophy. The Journal of Experimental Biology,219(2),
- 十一、劉于詮，鄭元龍，陳五洲，〈陸軍新兵體型、運動習慣和自覺能力與手榴彈投擲距離相關性之研究〉《國立體育學院論叢》2005 年，16 卷 1 期。
- 十二、黃紹仁、陳帝佑、涂瑞洪、彭賢德、卓世鏞、洪得明、陳重佑、林槐庭、林威秀、吳鴻文，〈運動生物力學理論與應用〉二版，臺中市；華格那企業發行，出版日 2014 年 9 月
- 十三、彭賢德、彭賢順、彭賢勝，〈旋轉式鉛球投擲技術之探討〉《教練科學》2003 年 6 月。