

以統計與彈道學理論探究槍械精確歸零之奧秘

作者/郭晉愷少校



陸軍官校正 99 年班，步訓部正規班 356 期、美國步兵軍官高級班 17-2 期，曾任排長、副連長、連長、中隊長。2015 年榮獲世界盃 CQB 極限射擊大賽總冠軍，並以 1 分 18 秒 99 紀錄保持至今，著作作品有軍事內部書籍《狙擊彈道學》一書。現任職於陸軍步兵訓練指揮部狙擊組教官。

提要

- 一、歸零目的在維持槍械準確度，其好壞直接決定士兵手中的武器是否能於作戰中如期發揮準確射擊效能，是戰備訓練中不可缺少的一環。本文旨在以統計與彈道學理論探究槍械精確歸零作為，竭力揭開深藏在歸零背後的理論基礎，並以科學觀點提出與時俱進之建議作法。同時，也為國軍未來換發高性能新型步槍、配賦各式先進光學瞄準具，緊接而來的相關訓練革新鋪設正確道路。
- 二、傳統輕兵器歸零多以射擊 3 發 1 彈著群方式來修正瞄準具，雖有著難以取代的經濟性、便利性與實用性，且尚能滿足大部分武器 300 公尺內之射擊需求。然而，如欲使現代精準武器（如搭配光學瞄準具之步槍或各種口徑之狙擊槍）有效發揮 300 公尺以上中、遠距離精準射擊之效益，則有必要採用能增進歸零射擊品質與提升裝備使用效率的方法。舉例來說，美軍近年來將步、機槍與狙擊槍等輕兵器，3 發 1 群歸零方式調整成 5 發為 1 群，便是其一，也是作者本文亟欲窺探之奧秘。
- 三、歸零射擊以「特定發數」求取「平均彈著點」的過程，與統計學中「隨機抽樣」藉分析樣本特性來推論母體特性之概念相同，理論上每群所射擊的彈藥數越多，所求得之平均彈著點，越能接近真實彈道中心之位置，射手也越有機會完成精確歸零與校正。只是，射擊彈藥數量過多易有時間與彈藥成本、槍管壽命減損與徒增射手負擔等問題。作者經理論研究與大量實彈驗證後，提出與美軍一致觀點：即針對具 300 公尺以上中、遠距離射擊能力之武器系統，欲提升其射擊成效，宜採「5 發 1 群」作為精確歸零射擊彈藥基本數量之結論。

關鍵詞：歸零、射擊、狙擊、彈道、統計、精準度

壹、前言

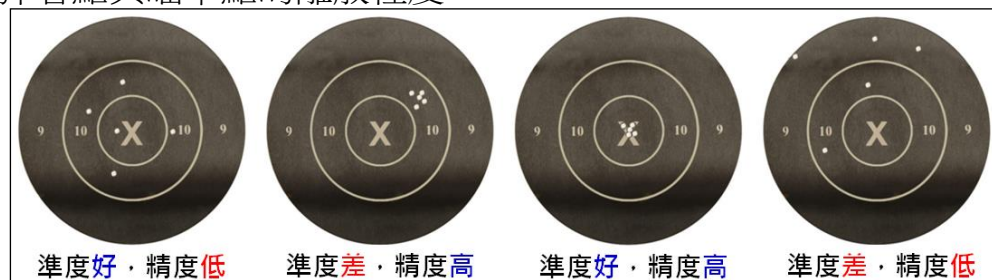
槍械歸零之目的，依據步兵訓練指揮部於民國 73 年編印之《步機槍射擊訓練示範參觀手冊》第 92 頁所述為：「以縮小距離，在節省時間與彈藥之原則下求得人槍合一之歸零表尺，作為實距離射擊之基礎」；陸軍總司令部於民國 89 年頒行之《輕兵器射擊教範（二）—機槍、排戰鬥射擊》第 4-40 頁所述為：「修正表尺，調整機械偏差，使彈著點、瞄準點與歸零彈道一致。」另參考國防部陸軍司令部於 110 年最新頒行之《陸軍射擊訓練手冊》則定義為：「修正人為與機械偏差，使瞄準線與彈道交會，求得 230（250）公尺歸零表尺，使射彈能準確命中目標。」簡言之，歸零即是在確保槍械維持準確度的一種作為。依據美軍 2016 年《Rifle and Carbine》（TC 3-22.9）附件 E-1 頁所述：『歸零射擊既非射擊訓練項目亦不是一種戰鬥技能，而是一個能確保武器在作戰中能如期發揮功能的程序，其目的在消除「人、槍、鏡、彈」之誤差，使武器系統的彈道與瞄準線在特定距離上能維持必要之關係。』歸零的好壞直接攸關士兵手中的武器能否發揮精準射擊之效能，是戰備訓練不可缺少的一環。本文旨在以統計與彈道學理論探究槍械「精確歸零射擊」作為，竭力揭開深藏在歸零背後的理論基礎，並以科學觀點提出與時俱進之建議作法。同時，也為國軍未來換裝高性能新型步槍、配賦各式先進光學瞄準具後，相關訓練革新鋪設正確道路。

貳、美軍與國軍歸零射擊實施概況

一、專有名詞釋義：

在說明美軍與國軍歸零射擊實施概況前，茲將「精度與準度」及「角分」之定義與意涵作一釋義，以利讀者了解歸零射擊時描述彈著群分佈與分析精度時常用之名詞，強化基本認知：

- （一）精度（Precision）與準度（Accuracy）：依據美國彈道學家 Bryan Litz 所著《Modern Advancements In Long Range Shooting》第 13 頁定義：精度係指單一彈著群本身散佈的密集程度。準度則為單一射彈或單一彈著群之平均彈著點與瞄準點的離散程度。



圖一 精度與準度關係示意圖

資料來源：[http：bergerbullets.com](http://bergerbullets.com).（檢索日期 2022 年 2 月 16 日）

(二) 角分 (MOA)：原文縮寫為 MOA (Minute of Angle)，為角度單位，1 角分相當於 $1/60$ 度 (即 0.01666 度)。以英制單位計算，該角度放射狀延伸至 100 碼所形成的夾角差 (弦長) 為 1.047 英吋寬，換算為公制單位即 100 公尺所形成之夾角 (弦長) 為 2.91 公分寬 (通常省略為 2.9 公分)。因其角度量極小，被軍事大量用於衡量槍枝精度、測距或作為光學瞄準鏡的修正量單位。如當敘述某槍枝具 1 角分之精度時，通常指射擊 3 發 (或 5 發) 以上之彈著群，於 100 公尺處之散佈大小 (最遠兩發之兩點中心連線距離) 能小於 2.9 公分、2 角分則為 5.8 公分，以此類推。(如圖二)



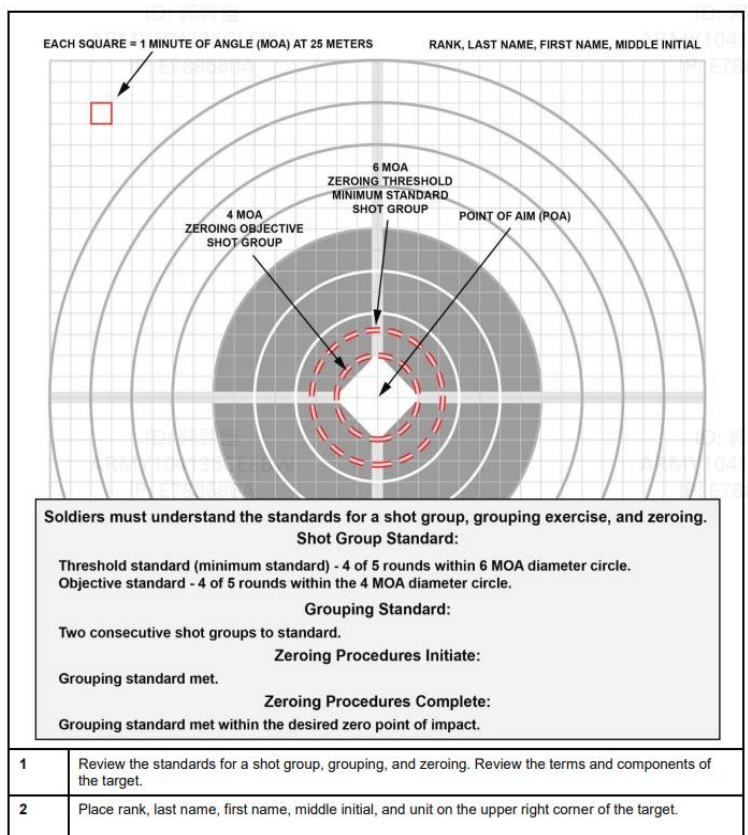
圖二 以數學解釋 100 公尺 1 角分之夾角大小及 MOA 刻劃鏡示意圖

資料來源：作者自行調製 (2022 年 2 月 16 日)

二、美軍歸零射擊實施概況

美國陸軍參謀長 James C. Mcconville 上將於 2019 年 11 月 4 日所核准之準則《Training and Qualification Individual Weapon》(TC 3-20.40)，修改自 1955 年冷戰時期以來所訂定之個人操作武器射擊鑑定標準，提供更多的訓練資源與更有效的訓練策略，以符合實戰所需之訓練方式，增強單兵作戰能力與戰場存活率。新標準不分軍職專長 (MOS) 且適用於現役、國民兵、民防團及後備部隊。內容涵蓋手槍 (M9, M17, M18)、步槍及卡賓槍 (M4, M4A1, M16A2, M16A4)、班自動步槍 (M249AR)、狙擊步槍 (M110, M2010, M107) 等武器。裡面有很多值得國軍參考的輕兵器射擊訓練方式與標準。其中一個特別的地方在於將步槍傳統 3 發歸零射擊方式調整成 5 發，要求歸零射擊之前必先完成 25 公尺 5 發精度測試 (Grouping)，其中 4 發能散佈在 4 公分內始為合格 (目標為 3 公分內)，確認射手射擊穩定度與一致性均符合標準後才會進入歸零射擊階段，且後續歸零射擊使用 5 發 1 群實施彈著修正。(如圖三、四) 這讓使用 3 發 1 群實施槍械歸零射擊修正至少已逾 50 年的國軍

¹，不禁好奇美軍革新歸零射擊作法背後的學理有什麼值得我們借鏡的？作者想藉個人兵器射擊經驗與狙擊彈道研究心得，來討論這個看似非常簡單、基礎卻蘊含大量學識、理論且深具研究意義的議題，提供國軍各部隊在實施輕兵器歸零射擊時，能追求精益求精、與時俱進的部隊幹部參考應用。



圖三 美軍 2019 年頒布新式步槍射擊鑑定標準正式要求以 5 發 1 群實施歸零
 資料來源：TC 3-20.40, 《Training and Qualification Individual Weapon》(U.S.A., Headquarters Department of the Army, 2019)，頁 F-22。(索引時間 2023 年 6 月 2 日)



圖四 美軍 2019 年頒布新式步槍射擊鑑定標準正式要求以 5 發 1 群實施歸零
 資料來源：www.alamy.com 網站搜尋 grouping and zeroing 下載，並由作者合併組圖(索引時間 2023 年 6 月 1 日)

¹ 經追朔本部尚存最早之作廢準則為陸軍總司令部於民國 58 年頒之《兵器與射擊—自動步槍》，其內所述白朗寧 1918A2 式自動步槍即以 3 發 1 群實施修正。隨後為民國 64 年與 65 年陸軍總司令部訂頒之《陸軍射擊習會手冊(第八、九號修訂本)》，其內所述 1903 式步槍、M1 卡賓槍、M1 步槍、M16A1 步槍、57 式步槍、57 甲式自動步槍、1918A2 式步槍、57 式(A6)機槍乃至 50 重機槍…等各式輕、重兵器均以 3 發 1 群方式實施彈著修正，射擊方法則有 3 發單放 2 次或 3 次等差異。

三、國軍歸零射擊實施概況

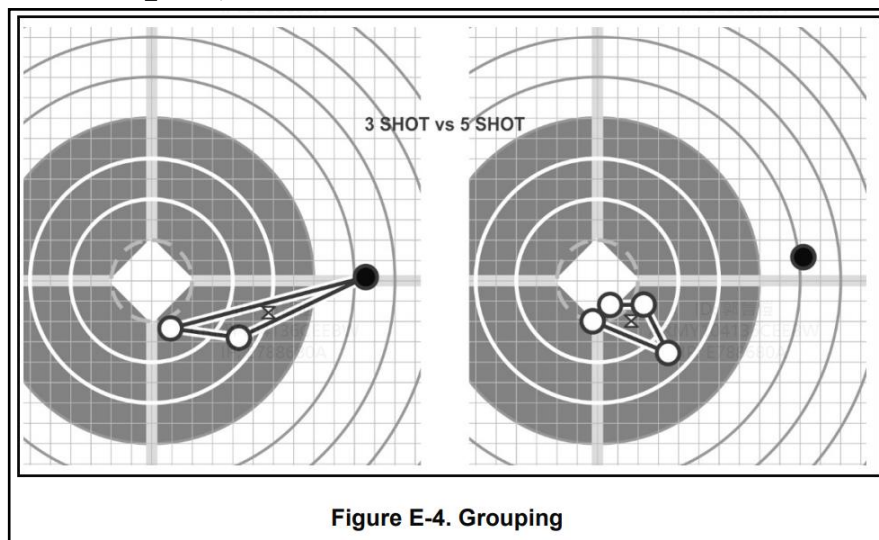
歸零射擊是部隊射擊訓練中較為薄弱且經常被忽視的訓練項目，觀察問題原因在於部分單位在認知與執行發生偏差，經分析概況如下：

- (一) 幹部（高階管理者）對歸零目的、精神與彈道學理不夠瞭解，以致無法正確、有效指導官兵，甚至在訓練壓力下（諸如時間、人力、彈藥、場地流路等因素），時常出現「1發一修正」，看似有效率，實則毫無效益之訓練偏失，射手自然難以了解落實執行歸零的重要性。
- (二) 幹部（中階執行者）與射手對歸零程序與步驟要領不甚熟悉（如彈著點計算與瞄準具調整...等），以致執行歸零過程費時、缺乏效率，逐漸養成便宜行事之習慣，以致造成歸零射擊品質逐日下降（沒有好的歸零品質，後續訓練反而更加沒效率）。
- (三) 官兵基礎射擊能力不夠穩定、無法按部就班且符合標準完成精確校正，以致歸零射擊後實距離彈道效果未如預期，在無法強烈感受歸零的實質幫助下，理所當然會日漸輕忽其重要性。
- (四) 幹部乃至士兵均普遍認為歸零是射擊訓練中的一個進度，且必須依射擊手冊要求與程序實施。如果當日訓練進度未明確律定「歸零射擊進度」，則即使在實距離射擊之前明知槍枝沒有實施歸零射擊或射擊中發現槍枝狀態已明顯與上一次歸零射擊有差異，也鮮少有幹部願意調整進度，先檢視槍枝歸零狀態後，再進行當日射擊習會表排之射擊訓練。
- (五) 國軍現行步槍射擊鑑定模式，新兵訓練、戰鬥支援及勤務支援部隊實施 175 公尺「一線」射擊、戰鬥部隊以 75、175、300 公尺「三線」射擊為主，射擊目標除 75 公尺一線射擊 45X50 公分單人臥姿迷彩靶，餘均為 101X50 公分單人跪姿迷彩靶，對射擊精度與歸零品質均有相當高的包容性，即使射手 25 公尺歸零練習 3 發精度未能達到有依托 3 公分、無依托 5 公分之標準，又或歸零射擊未能準確完成槍枝校正，也有很高的機率能命中目標而通過鑑定（以三線鑑定射擊為例，即使 300 公尺兩發均脫靶，只要 75、175 公尺兩線首發命中仍可得 200 分，而通過合格 180 分之標準），故各單位長期在此未能產生訓練危機感的氛圍下，自然難以感受到「必須」做好歸零的必要性。
- (六) 槍械保養與妥善鑑定不落實致鑑定合格射擊槍枝不足，或因單位內具備合格穩定射擊能力之射手不足...等問題，以致歸零射擊執行過程簡化為多人共用槍枝模式實施或槍枝統一由指定射手完成歸零，而日漸輕忽歸零射擊應由射

手自行實施，以求「人槍合一」²的重要性。

參、傳統 3 發 1 群歸零射擊之優點與不足

美軍長期以來之所以採用 3 發為 1 群方法實施歸零射擊，主要是根據美國訓練標準委員會（Standard in Training Commission, STRAC）陸軍訓練刊物處（Department of the Army Pamphlet, DA PAM）編號 350-38 之文件中所規定之標準而來。³然而，美國陸軍早在 2016 年《Rifle and Carbine》（TC 3-22.9）附件 E-7 頁即倡議宜改用 5 發為 1 群來歸零，主要目的在避免單一之離群彈著偏差，影響射手對平均彈著點位置之合理判斷，進而對瞄準具做出適宜之修正。（如圖五）對此，作者個人認為美國陸軍 2019 年 11 月所核准之準則《Training and Qualification Individual Weapon》（TC 3-20.40），無疑是宣告「3 發 1 群」時代的終結。



圖五 美國陸軍 2016 年《Rifle and Carbine》（TC 3-22.9）即倡導宜採 5 發 1 群實施歸零射擊並說明其好處

資料來源：TC 3-22.9, 《Rifle and Carbine》（U.S.A., Headquarters Department of the Army, 2016），頁 E7。（索引時間 2023 年 6 月 2 日）

傳統上步兵各種輕型武器歸零射擊以 3 發為 1 彈著群實施彈著修正，有著它難以取代的經濟性、便利性與實用性，其調整結果亦能滿足大部分武器的射擊需求，可適用於：

- 一、瞄準具存在「較大瞄準誤差」之武器（如步槍搭配準覘或內紅點）。
- 二、射擊精度較大的武器（如以面殺傷效果為主的輕、重型機槍）。
- 三、接戰距離小於 200 公尺、對準度誤差容許程度較大的各式武器系統（如衝鋒槍、個人防衛武器、手槍轉換套件）。

² 依據國防部於民國 62 年頒發之《國軍地面部隊輕兵器射擊教範—五七式步槍》第 119 頁所述：「射手因視力、臂長有別，致每人貼腮，握槍把位置亦有異，故射手使用之武器，必須親自實施歸零射擊。且人槍合一歸零射擊之射手，需在 25 公尺練習射擊中，彈著群能達到合格標準者始可實施之」。

³ 資料來源：TC 3-22.9, 《Rifle and Carbine》（U.S.A., Headquarters Department of the Army, 2016），P E7.

假設未來國軍配備新型步槍後，每位官兵手中的槍，都裝有低倍率之光學瞄準鏡，理論上射手便有足夠的能力對 300-600 公尺中距離的目標行有效觀瞄與射擊。只是，一般小口徑彈藥超過 300 公尺後無論彈道的墜落值或散佈面均明顯加大，已經無法用維持原瞄準點方法繼續射擊。欲準確命中目標，除射手本身必須有非常優越的射擊技術外，還必須依賴科學彈道數據賦予槍管正確射角，方能使彈著準確命中目標中心。在此情況下，如果該武器系統在近距離歸零時，瞄準線與彈道關係存有些許不正確之偏差，那麼即使射手多麼聚精會神瞄準或彈道數據裝定的多麼正確，射彈飛行超出 300 公尺以上的距離，勢必產生「差之毫釐、失之千釐」情形，致使彈著點明顯偏離目標中心，降低命中率。若屆時部隊仍以 3 發 1 群實施歸零修正，恐怕會降低光學瞄準具的使用成效，使官兵依原廠參數裝定射程表尺射擊或運用原廠鏡內十字絲所設計之 BDC 射程刻劃（BDC, Bullet Drop Compensator）選定瞄準點射擊時，實際彈道無法與預期效果一致。

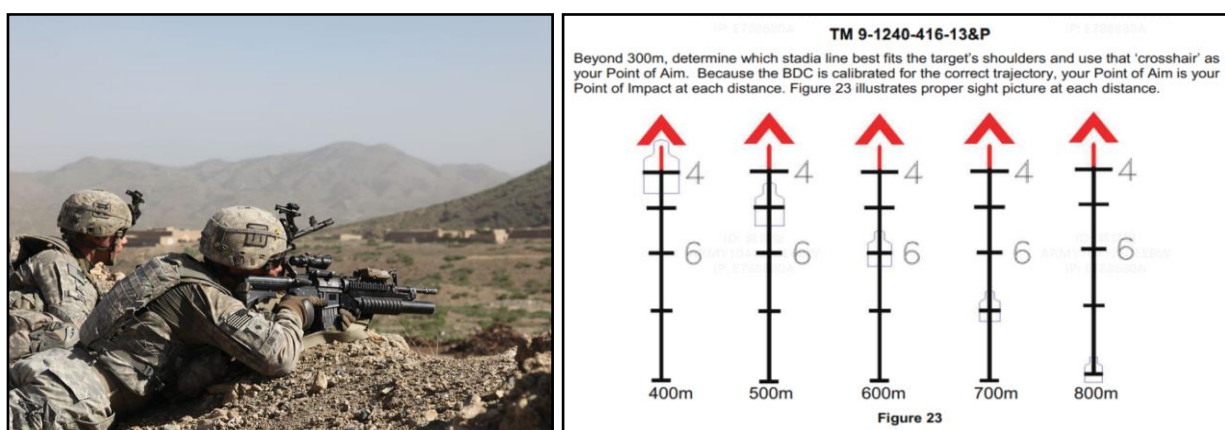
在討論為何以 3 發為 1 彈著群實施彈著修正，可能無法滿足上述 300 公尺以上精準射擊之需求前，不妨先以下圖六來觀察傳統 3 發 1 群的歸零方式，是否存在準確性不足的天生缺陷。圖六為本部兵器組教官胡裕華於 2010 年召集優秀之特等射手以 T91 步槍所做的實彈射擊驗證，主要在於當時部份部隊官、士、兵對於 T91 步槍執行 300 公尺目標射擊精準度產生疑慮，故教官以實彈驗證欲證明 T91 步槍即使槍管較 T65K2 步槍減短約 13.7 公分，槍口初速降低約每秒 65 公尺、精度較 T65K2 步槍增大約 25%，理論上仍具有射擊 300 公尺目標之效果。該實驗結果指出，T91 步槍散佈特性在 300 公尺，平均精度仍有寬 30.9 公分、高 33.6 公分，合於標靶（寬 50 公分、高 101 公分）範圍之水準，故可勝任 300 公尺目標射擊之任務。然而，從此實驗結果不難看出在傳統 3 發 1 群的歸零前提下，即便射手與教官都希望把槍枝盡可能校正到好，而且絕對都有在 25 公尺確實將每一枝槍依準則規範完成歸零（射擊 3 發單放，依平均彈著點偏差量修正瞄準具，1 群一修正，直至平均彈著點命中目標黑心下緣 1 公分處），來確保 300 公尺驗證結果可靠。不過，即使如此，仔細觀察圖中每一個彈著群的位置，仍有不少射手在 300 公尺距離上發生上述「平均彈著點明顯偏離目標中心」的情形，可見傳統 25 公尺歸零以 3 發 1 群方式實施，確實容易在實距離準度「不完美」之缺陷，且有精進的必要。相信只要是年資稍長、射擊經驗較豐富之幹部，多少都曾遇過上述相同問題，只是難以理解真正問題的原因罷了。

編 1 槍 001497	編 2 槍 001418	編 3 槍 001401	編 7 槍 000749	編 8 槍 000815	編 9 槍 000780
精度 寬：25 公分 高：40 公分	精度 寬：32 公分 高：31 公分	精度 寬：29 公分 高：36 公分	精度 寬：32 公分 高：19 公分	精度 寬：40 公分 高：27 公分	精度 寬：17 公分 高：33 公分
					
7	8	9	13	14	15
編 4 槍 001337	編 5 槍 001381	編 6 槍 001501	編 10 槍 000825	編 11 槍 000818	編 12 槍 001989
精度 寬：46 公分 高：43 公分	精度 寬：29 公分 高：29 公分	精度 寬：23 公分 高：29 公分	精度 寬：44 公分 高：31 公分	精度 寬：31 公分 高：49 公分	精度 寬：14 公分 高：21 公分
					
10	11	12	16	17	18

圖六 傳統 25 公尺 3 發歸零射擊於實距離準度表現上存有「不完美」之缺陷

資料來源：胡裕華，〈T91 步槍射擊精度分析及精進射擊訓練具體作法〉《步兵季刊》（高雄鳳山），第 238 期，2010 年 11 月 1 日，頁 10-11。（索引時間 2023 年 5 月 28 日）

尤其，美軍 M4 步槍配賦的 Trijicon ACOG 4x32 步槍戰鬥瞄準鏡（Rifle Combat Optic），俗稱小海螺，其鏡內還設有最遠可瞄準到 800 公尺的 BDC 射程刻劃，理論上只要目標測距正確，用目標所在距離對應之刻劃線瞄準目標中間，即能將彈道墜落值予以補償而命中目標。（如圖七）如此講究精準度之瞄準具，理所當然必須有一套能大幅精進歸零品質並且有效提升官兵裝備使用效率的方法，而美軍準則 TC 3-20.40 內所要求的 5 發歸零方法，便是其一。



圖七 美軍 ACOG 步槍四倍鏡設有 300-800 公尺之彈道補償刻劃（BDC），使單兵具備中遠距離精準射擊能力。

資料來源：左圖：取自 www.britannica.com 網站〈Afghanistan War〉一文。右圖：取自《Operator and Field Maintenance Manual Including Repair Parts and Special Tools List for The M150》(TM 9-1240-416-13&P)(U.S.A., Headquarters, Department of The Army, 2008), P1-29。（檢索日期 2023 年 5 月 29 日）

肆、3 發 1 群與 5 發 1 群歸零學理差異說明

5 發 1 群歸零射擊方法，近年來之所以能成功取代傳統 3 發 1 群歸零射擊，甚至得到美軍青睞成為步、機槍乃至狙擊槍射擊鑑定項目中統一的標準，更是歐美各國狙擊手訓練乃至民間遠距離精準射擊競賽時，歸零射擊與驗證槍彈精度的首選方式。如美國彈道學家 Bryan Litz 便在其著作《Modern Advancements in Long Range Shooting》明確指出，一次射擊 5 發，連續射擊 5 群（5 groups of 5 shots）並計算平均精度，是能客觀衡量槍枝精準度的較佳方案。⁴主要原因乃係建立在「射彈自然散佈特性（Random Nature of Dispersion）」之基礎上，所謂射彈自然散佈特性是指從槍管發射的每一發子彈，其外彈道受槍械、彈藥、射擊技術與天候影響，均不可能為一相同之彈道，而是圍繞著彈道中心線飛行，一種看似可以控制卻又隨機性的自然散佈現象，而構成此散佈面的最大直徑，即所謂精度。只是大多數人無法理解的是，為何射彈會以隨機性方式圍繞著彈道中心自然散佈？不是應該槍口指到哪射彈便射向哪嗎？射彈之所以會形成一個散佈面應該是射手本身的瞄準與射擊誤差造成的吧？為消彌讀者上述疑慮，作者舉最精準的狙擊槍來說明。狙擊槍為能達到「遠距精準射擊」之目的，通常配有高倍率、易於清楚瞄準目標之狙擊鏡與精度高、外彈道表現好之遠程精準彈藥，而狙擊手為能確保上述裝備能被發揮到極致，也會更加要求自身射擊能力，以及精準掌握完美射擊出一發子彈所需的每一個細節，如據槍、依托、瞄準、呼吸與扳機控制...如此以人為主體所構成的穩定性與一致性，表現致極時，甚可優於固定式槍架所呈現之精度水準。然而，即便如此，射彈終究還是不可避免產生一定程度之散佈程度（如 1MOA 甚或 0.5MOA...），畢竟就當前國際尖端科技，仍未有先進國家發展出一款「彈著點」完全等於「瞄準點」之類雷射武器，顯然此等射彈散佈並非來自射手問題（射手問題只會讓上述不可避免之散佈再放大），背後一定還有著難以用肉眼察覺的潛在因素，故作者就科學彈道研究心得逐一說明如下：

首先，現代精準彈藥為了降低彈頭飛行之空氣阻力來滿足遠距離射擊需求，彈頭設計通常具流線型之彈尖、細長之彈身與船尾型之彈底...等特徵，雖然彈頭因此能夠飛得更遠，但也變得更不容易維持飛行時的穩定性，而必須仰賴膛線賦予彈頭極高的轉速來維持飛行穩定不致失衡或翻滾。彈頭在如此高速旋轉的情況下，遂於飛行過程中因「彈速衰減與阻力變化」而存在著某種持續的「動態不平衡」現象（Imbalance），是為射彈於膛外偏差的潛在原因之一。

其次，彈頭之彈形部（彈面）在崁入陽膛線起始端逼坡瞬間，因兩者間距離匹配關係使彈頭進入槍膛產生非常微量的偏斜角（即空進距離探討之重點），即使彈徑與膛

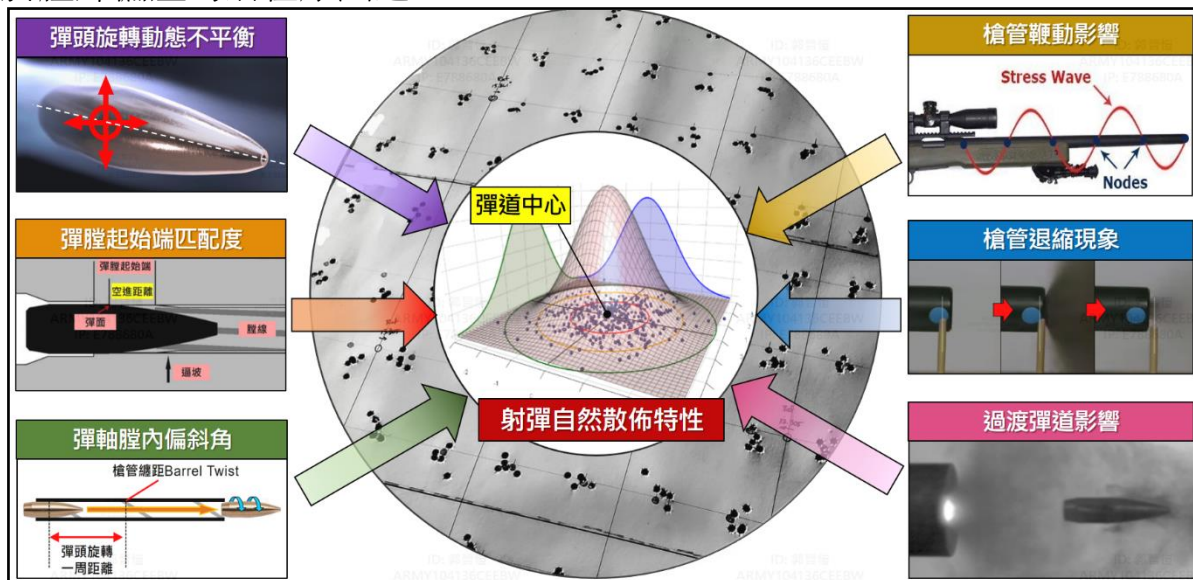
⁴ 本部狙擊教官組已經在兩年前逐步修正了各式狙擊槍的歸零指導與推動相關訓練，充分落實以 5 發 1 群來實施狙擊槍歸零校正與狙擊手年度射擊能力鑑定。對此議題有興趣之讀者，可參考作者於步兵季刊第 285 期所投稿之〈由美國彈道學家 Bryan Litz 射彈散佈理論-論證國軍狙擊手精準射擊能力評估與鑑定作為〉一文。

徑兩者匹配十分嚴密，因彈頭殼可能存在之彈性與塑性變形，彈軸與槍管軸線也很難在極其短暫的內彈道運動過程中（一般僅約 0.001-0.0013 秒）達到完美地同軸（Misalignment），是為射彈於膛外偏差的潛在原因之二。

再者，槍管在擊發瞬間因火藥燃燒之高壓氣體、後座力與震波等因素所產生的高頻率擺動現象（即槍管鞭動探討之重點），即便擺幅甚小也可能使射彈方向發生改變（因震波一般以高於彈頭 6-7.5 倍之速度驅使槍管產生鞭動，故此影響在彈頭飛離槍口前發生），是為射彈於膛外偏差的潛在原因之三。

又若，在彈藥擊發瞬間，彈頭受火藥氣體推進向前所產生之反作用力，也會使槍管在彈頭離開槍口前產生些許位移（即槍管退縮現象）。依據 Bryan Litz, 《Modern Advancements in Long Range Shooting- Volume III》一書第 39-55 頁指出，槍管瞬間移動量與彈頭重量、槍枝質量及槍管長度相關，以書內公式計算國軍 7.62 公厘手栓式狙擊槍（T93K1 式與 T108 式），槍管瞬間移動量約為 0.8-0.96 公厘（射手據槍不穩定會再使此數值增大，即後座管理探討之重點）。雖然此移動量微小到無法用肉眼察覺，然而此現象卻對整體精度造成將近 34% 的影響，是為射彈於膛外偏差的潛在原因之四。

甚至，即使彈頭在飛離槍口前完全沒有任何偏斜、彈軸與槍管軸線也達到幾乎完美地同軸，然因火藥氣體之燃速遠高於彈頭脫離槍口前產生之速度，故部分高速氣體將沿彈膛縫隙於「彈頭尾部脫離槍口瞬間」早先一步溢出槍口並形成一不穩定的高壓區，彈頭在穿越後，便可能對其後續彈道產生微妙之影響（即過渡彈道探討之重點），是為射彈於膛外偏差的潛在原因之五。

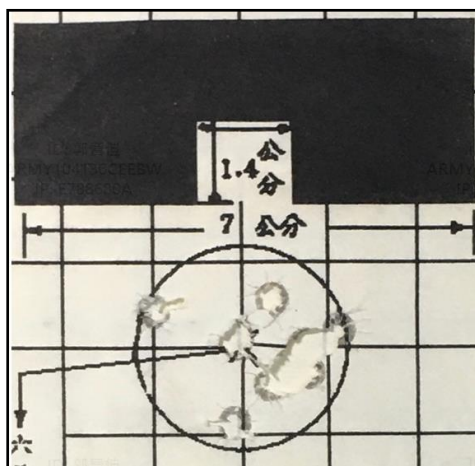


圖八 各種可能造成射擊彈藥「不可控制」偏差的潛在原因示意圖

資料來源：作者自行調製（2022 年 8 月 2 日）

綜合上述各種可能造成射擊彈藥「不可控制」偏差的潛在原因，我們便能理解為何即便射手射擊能力再高超、瞄準再精細、據槍再穩固、使用的槍枝與彈藥再精良、

甚至把所有可能影響精準度的因素控制在很小的誤差範圍內，射擊的彈藥終究還是不可避免地呈現出一種「圍繞在彈道中心的自然散佈」現象。（如圖八）就作者實務經驗而言，國造槍械在有穩固依托且幾乎沒有人為失誤為前提的射擊條件下，**25 公尺射擊 T91 步槍 10 發之精度**，在極致表現下，能使所有射擊彈藥落入 **3 公分直徑圓內**（扣除彈徑 **0.57 公分**約等於 **3.4MOA**）、**100 公尺射擊 T93K1 狙擊槍 10 發之精度**，在極致表現下，能使所有射擊彈藥落入 **3.3 公分直徑圓內**（扣除彈徑 **0.78 公分**約等於 **0.86MOA**），鮮少有射手打上 **10 發精度**還能在上述經驗數值以內，可視為其機械精度。（如圖九、十）



圖九 國造 T91 步槍 25 公尺處 10 發 1 群極致精度表現

資料來源：作者自行攝影（2023 年 2 月 17 日）

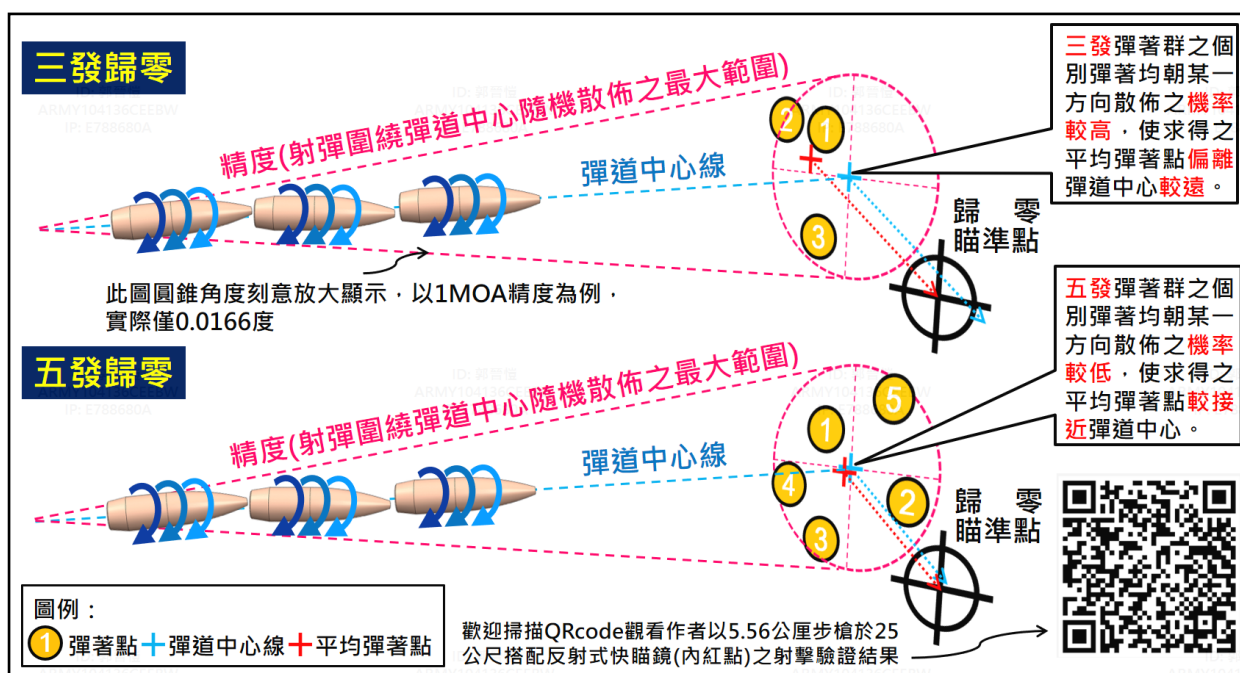


圖十 國造 T93K1 狙擊槍 107 公尺處 15 發 1 群極致精度表現

資料來源：作者自行攝影（2023 年 2 月 17 日）

而歸零射擊正是透過觀察此一自然散佈之彈著群所形成的平均彈著點（MPI, Mean Point of Impact）與瞄準點（POA, Point of Aim）兩者間的距離來換算修正量並實施調整，故在射彈採隨機性圍繞著彈道中心自然散佈的前提下，**3 發彈著群**之個別彈著均剛好朝彈道中心的某一特定方向散佈之機率相較 **5 發彈著群**來的高，僅射擊 **3 發**若不幸上述巧合發生，不僅會讓射手誤以為射擊精度相當高外，據此計算出來的平均彈著點，反而會偏離真正的彈道中心較遠，（如圖十一）若受限於時間或彈藥而

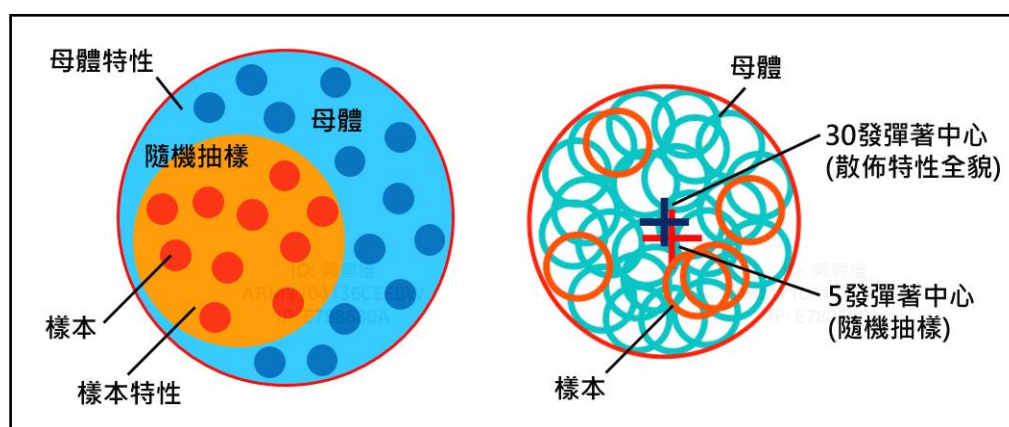
未能再進行一次驗證，此既存之錯誤，將可能使後續中、遠距離射擊時，產生平均彈著點明顯偏離目標中心或彈道計算機所預測之科學數據無法與實際彈道所需吻合問題。



圖十一 3發與5發歸零主要差異示意圖

資料來源：作者自行調製（2021年10月27日）

其實，歸零射擊以「特定發數」求取平均彈著點的過程，與統計學中「隨機抽樣」藉分析樣本特性來推論母體特性之概念相同，樣本數越多，樣本特性便能越接近母體特性（也就是平均彈著點越接近真實之彈道中心）。（如圖十二）



圖十二 歸零射擊求取「平均彈著點」與統計學「隨機抽樣」概念相同

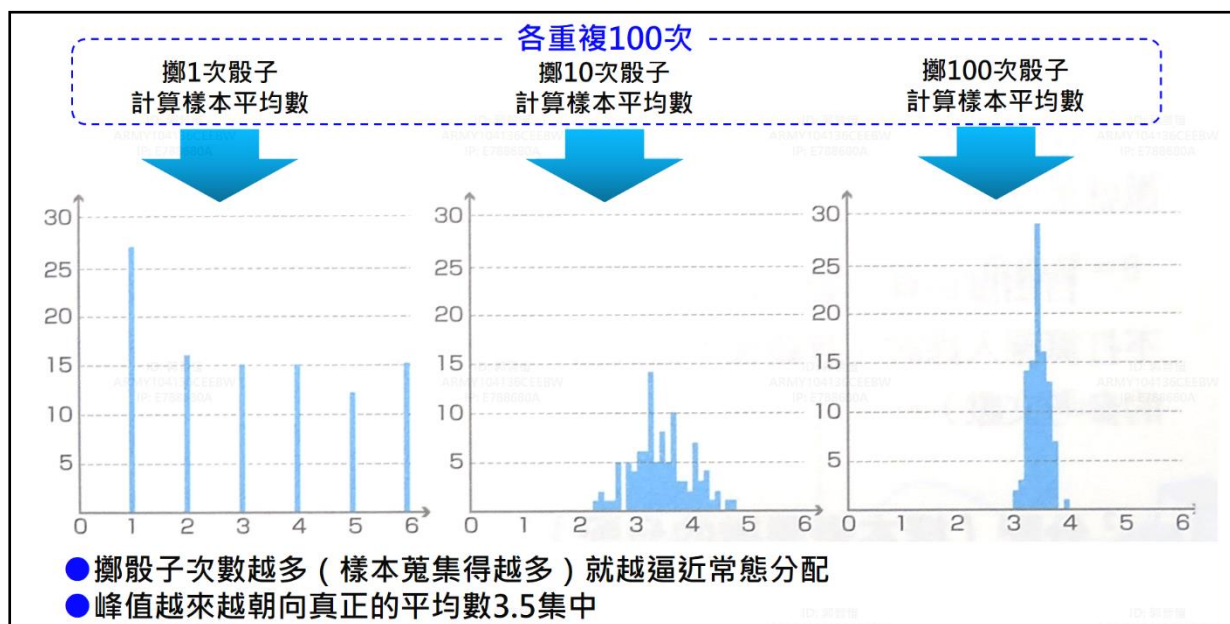
資料來源：作者自行調製（2021年10月27日）

以擲骰子為例，每投擲1次骰子，出現1點到6點點數的機率都是1/6的均勻分配。相同概念轉換成槍械歸零射擊，假設瞄準點皆相同的前提下（完全排除人為瞄準誤差，純粹討論射彈精度的自然散佈），每次射擊1發，因彈著點本將圍繞在彈道中心線並向四周以輻射狀地方式自然散佈，在精度範圍內彈頭的落點屬於不可控制因素，

射手不可能控制彈頭應該要落在哪一個象限，又或彈著應該離彈道中心線多近或多遠。故每射擊 1 發猶如投擲 1 次骰子，機率都是符合均勻分配原則的。只是，如果以下列三種不同方式投擲骰子並記錄樣本平均數，將會出現截然不同的結果，分別是：

- 一、將擲 1 次骰子當作 1 次樣本數，並蒐集 100 次的結果。
- 二、將擲 10 次骰子當作 1 次樣本數，並蒐集 100 次的結果。
- 三、將擲 100 次骰子當作 1 次樣本數，並蒐集 100 次的結果。

參考圖十三，經統計分析後，可發現上述三種模式下 100 次的樣本平均數呈現截然不同的分配狀態。從中我們可以總結，每次投擲骰子的次數越多，其所有點數的平均數越接近 3.5，且樣本平均數的分佈狀態也會越接近常態分配，峰值也越接近真正的平均數 3.5，此現象在統計學上稱作「中央極限定理」(Central Limit Theorem)。相同道理應用在歸零射擊，假設瞄準點皆相同的前提下（完全屏除人為誤差，純粹討論射彈精度的自然散佈），則理論上每群所射擊彈藥數量越多，射擊彈藥所求得平均彈著點，有較高的機率能越接近真實的彈道中心。



圖十三 以擲骰子解釋統計學「中央極限定理」示意圖

資料來源：鈴木香織、竹原一彰著，李貞慧譯，《圖解 機率・統計》（台北市，積木文化出版，民國 105 年），頁 84-85。（檢索日期 2023 年 5 月 30 日）

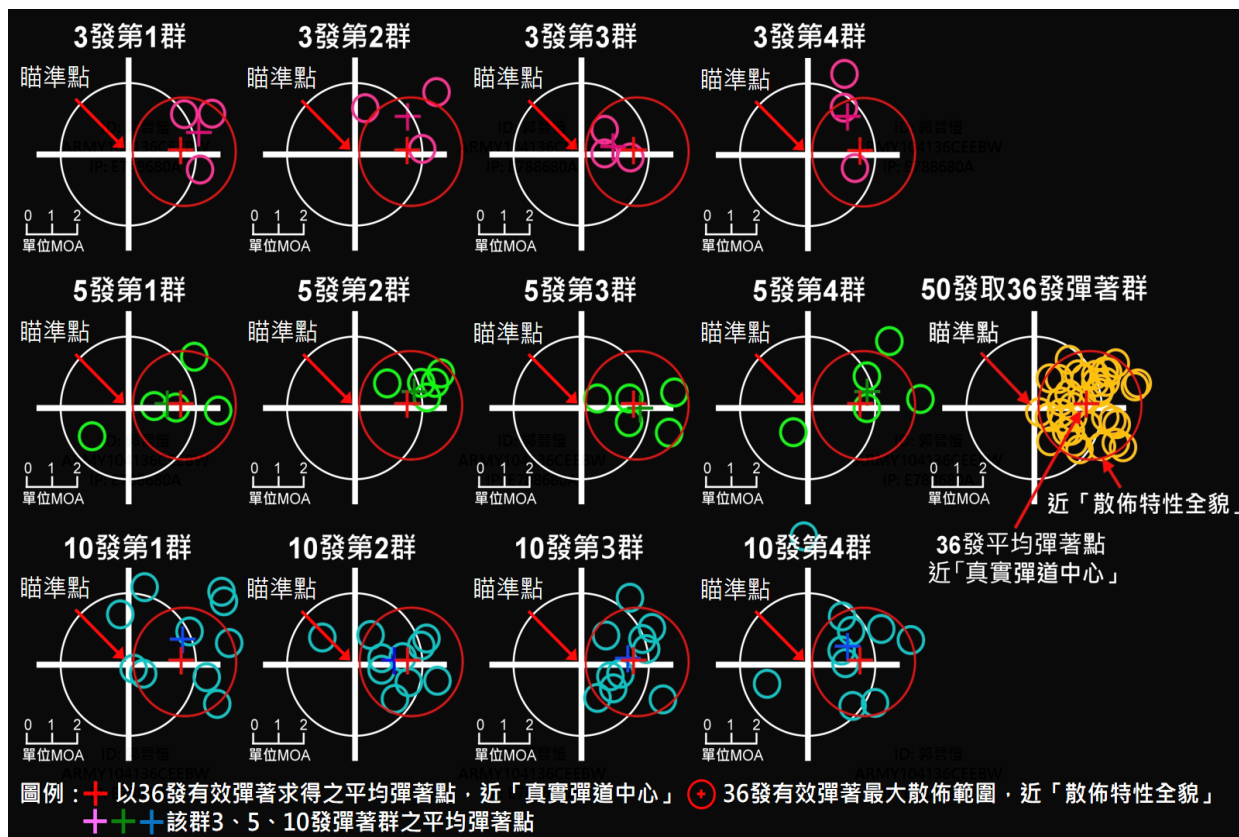
只是，射擊不可能像投擲骰子一樣，為了讓平均數接近 3.5，硬是將一個彈著群的發數射擊到 10 發、甚或 100 發，這樣的想法在執行面是完全行不通的，既浪費資源也沒有效率。那麼究竟有沒有一種折衷的方案，能保持統計學樣本蒐集的客觀性同時減少不必要的資源與時間浪費？其實抽樣統計應取多少樣本數？一直是統計研究者最關切的問題。通常實際的取樣數量，會因取樣的難易度、時間與成本等因素考量而有所不同。統計學中最廣為接受的一個普遍原則是樣本量化分析法則，也就是樣本數應大

於或等於「30」。其理由可參考統計學者高邱生於 2010 年〈市場調查—量化分析為何樣本數要大於等於 30？〉一文所述：「樣本數 1，統計結果不是 0%就是 100%，資料跳動相當大，就測量的信度（Reliability）而言非常低，樣本數 2 時，資料的穩定度就會在 0%和 50%間跳動，樣本數為 10，一個資料影響的穩定度最大為 10%，20 時則為 5%，30 時為 3.3%，40 時為 2.5%，50 時為 2%，100 時為 1%，以此類推…我們可以發現隨著樣本數由 1 一個個增加，一個樣本數影響統計資料跳動的力量會越來越小，到了 30 時，樣本影響力為 3.3%最為適當。過 30 時，每增加一個樣本讓資料越穩定的貢獻力越小，例如 40 比 30 多出 10 個樣本，但其所帶來的穩定效益也才增加 0.8%，在實務的統計運用上一定會有人力、物力、財力和時間限制，不可能只為了增加小於 1%的效益而增加花費，故在量化分析資料時，樣本數 n 通常會以 30 為一個標準」。也就是說，理論上歸零時如果能取得 30 發以上的有效彈著作為一彈著群，那麼，所求得之平均彈著點理論上將能有效呈現出彈道中心真正的所在位置。以此為據，射手也越有機會實現幾乎完美的槍枝歸零。

只是，射擊對比樣本蒐集，其實同樣也有著上述人力、物力、財力和時間限制等考量，應實際衡量槍械特性與接戰需求（是否真的有必要將槍械校正到這麼準確？）及歸零執行上的難易度…等因素，歸零一群所射擊之發數實在不宜過多。若過多！不僅會加速槍管磨耗、浪費時間與彈藥，也會有彈孔重疊難以辨識的問題，不太可能以「30 發」作為歸零的一個基數。參考民國 76 年與 84 年由陸軍總司令部頒行之《國軍地面部隊輕兵器射擊教範—國造七四式 7.62 公厘機與 5.56 公厘班用機槍》內文所述：「平均彈著點之求法分為單發、三發、多發等數種方法，多發歸零尚有 5 發、6 發、10 發之歸零。」最多也只建議使用 10 發來歸零。雖然，作者過去為了保障槍枝準確度以行各種遠距離彈道驗證射擊，曾有大量使用步槍及狙擊槍，一次射擊 10 發、20 發甚至 30 發的歸零經驗。然而，作者從中的深刻體會是：一次射擊的發數越多、也就代表射手在射擊過程中必須越專注，相對射擊的負擔與壓力也就越大，反而容易造成更多難以預期的失誤而適得其反。到了這個時候，反倒必須認真地思考統計學裡「抽樣的品質與抽樣的大小同等重要」這句話的道理。如果抽樣的方法無法有效表現出母體該有的特徵，甚至完全偏離母體，那麼「與其打得多？還不如打得精、打得巧！」。

為了證明上述理論與實際歸零射擊之關係，作者特地以 5.56 公厘步槍搭配反射式快瞄鏡（內紅點）於 25 公尺進行多次實彈射擊驗證，來觀察不同發數彈著群所形成的平均彈著點，理論上與彈道中心之差異。圖十四所示，即為 3 發 1 群、5 發 1 群與 10 發 1 群之平均彈著點對比作者以高達 36 發有效彈著求得之「近似彈道中心」（紅色十字粗線）之結果，可以看到 5 發 1 群所產生之誤差確實較 3 發 1 群產生之誤差略小，而 10 發 1 群理論上應更優於 5 發，然因射手壓力與專注力等問題，並未因多射擊 5 發而額外產生更多實質效益。

故綜合考量槍械特性、射手射擊能力、槍管壽命與彈藥成本、歸零效率乃至最終品質管控...作者經理論研究與大量實彈驗證所得之結論，完全與美軍看法一致，即針對具 300 公尺以上中、遠距離射擊能力之武器系統，欲提升其射擊成效，宜使用「5 發 1 群」作為精確歸零之基準數量。



圖十四 作者以 3 發 1 群、5 發 1 群與 10 發 1 群分別驗證平均彈著點與彈道中心差異
(此圖測試槍枝為 5.56 公厘步槍，距離 25 公尺)

資料來源：作者經實彈驗證後調製（2023年3月29日）

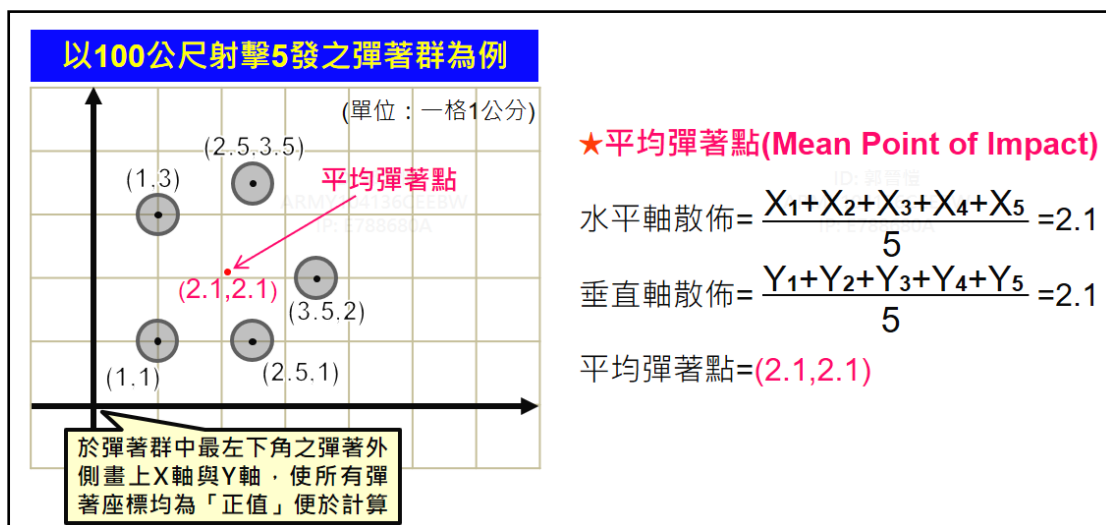
伍、5發1群歸零具體作法與注意事項

一、平均彈著點求法

歸零修正瞄準具前，必先計算該彈著群之平均彈著點，如果只射擊**3**發，計算平均彈著點通常只需將三個彈著點連接成三角形，再用「分角線法」或「邊線平分法」等方法求得平均彈著點，相當簡單。但如果改一次射擊**5**發，甚或部分讀者在理解上述統計取樣的精神後，可能也會想嘗試以一次射擊**10**發甚至更多發的方式來精校槍枝。那麼，將隨即出現一個讓人困擾的問題，也就是：「該如何計算**5**發（含）以上的平均彈著點呢？」目前較為使用的**5**發（含）以上彈著群之平均彈著點計算方法有兩種，分別說明如下：

(一) 座標法：即藉賦予每顆彈著點座標，求取平均座標之方法。(參考圖十五)
實際計算方式為：假設彈著群發數為 5 發，先於彈著群最左下角之彈著點

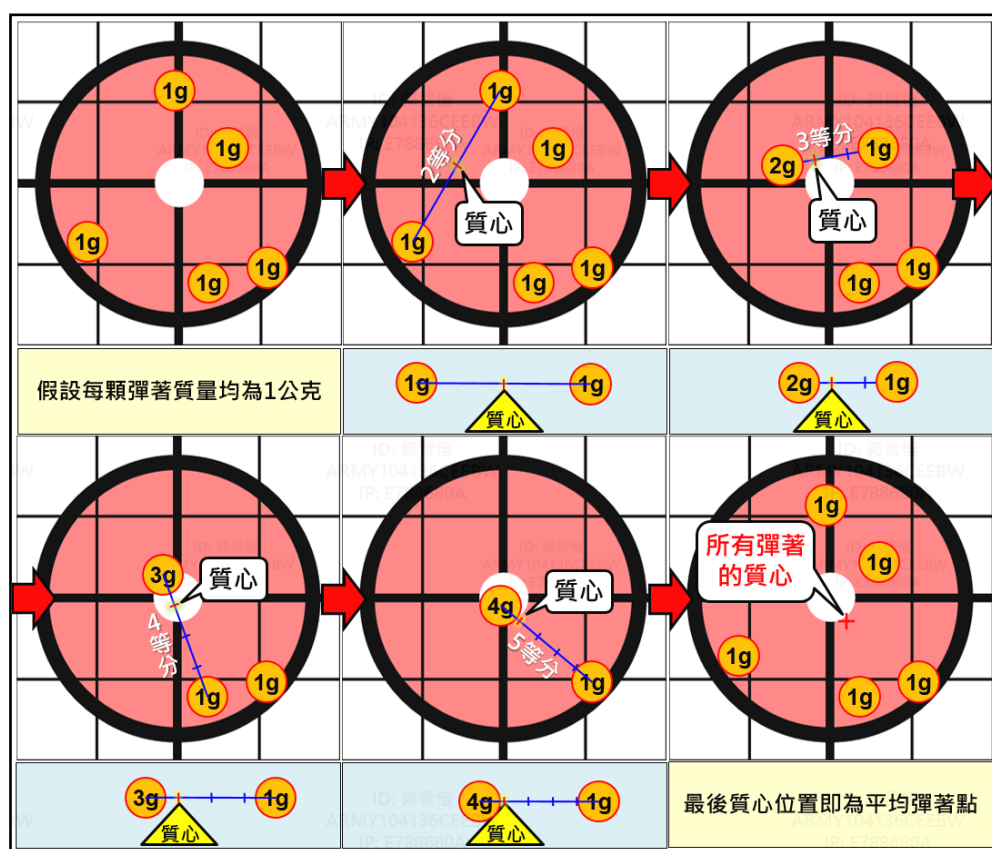
外側任一點上設定為原點，並於原點上畫出 X 軸與 Y 軸（如此可使所有彈著座標均為正值便於計算，再賦予每一個彈著點座標，隨後將所有彈著點之 X 軸與 Y 軸座標分別相加後再除以彈著數，即可分別得到 X 中心與 Y 中心，此時（X 中心, Y 中心）即為平均彈著點位置。



圖十五 5 發（含）以上彈著群之平均彈著點計算方法一座標法

資料來源：作者調製（2021 年 11 月 12 日）

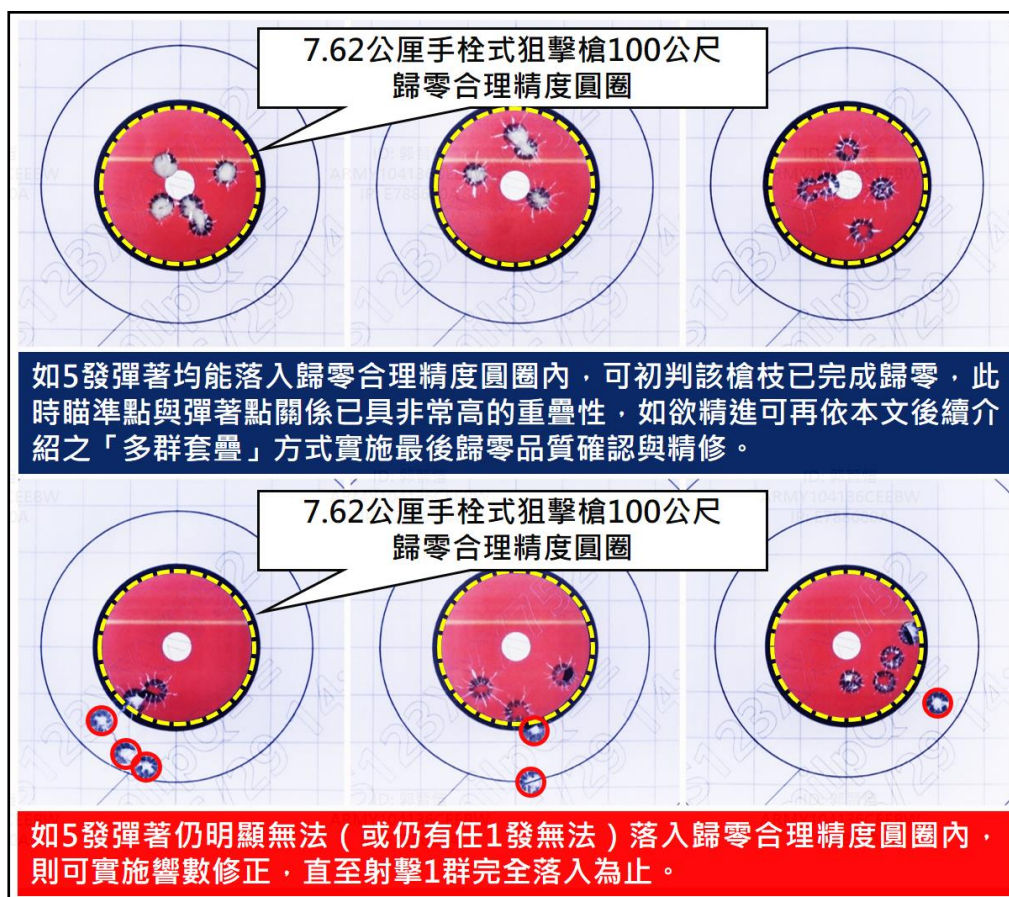
- (二) 質心法：即假設每顆彈著均具相同質量，藉求取所有彈著點質心位置之方法。(參考圖十六) 實際計算方式為：先假設每顆彈著質量均為 1 公克，將任兩顆 1 公克的彈著點連成一線，將其二等分，中間點即為質心位置，且其重量增為 2 公克。接著將 2 公克的質心再與任一顆 1 公克的彈著點連成一線，將其三等分，此時三等分且靠近 2 公克質心的點即為質心位置，且其重量增為 3 公克。接著將 3 公克的質心再與任一顆 1 公克的彈著點連成一線，將其四等分…以次類推，直至尋求到與最後一顆彈著之質心為止，最後質心所在位置即為平均彈著點。



圖十六 5發（含）以上彈著群之平均彈著點計算方法—質心法

資料來源：作者調製（2023年6月13日）

由於，上述兩種方法均要以人工方式反覆測量與計算，相當費力與耗時。故為能節省時間，提高5發1群歸零可行性，若在靶場上因時間不足時，可先改採以下折衷辦法：以該歸零距離預期之彈著點為中心，畫出該距離上該武器系統理論精度大小之圓圈，當所有射彈均能「完全」落入指定圓圈內時，即使沒有時間精算平均彈著點位置，也可「大致預期」此時之歸零品質，瞄準點與彈著點關係已具非常高的重疊性，待離開靶場或時間充分有餘後再進行平均彈著點的計算，若發現還有「精修」瞄準具空間，則於下一次射擊前完成調整。或者即使沒有足夠時間精算與調整，就槍枝目前準確度而言，也足以應付大部分情況之射擊需求。圖十七為目前本部狙擊手訓練班100公尺歸零及年度狙擊手100公尺精準度鑑測現行靶紙，圖中射擊範例均由不同射手以不同槍枝所完成，可見上排三群均已「完全」落入指定圓圈內，可初判該槍枝已完成歸零；下排則明顯仍有響數修正之空間。



圖十七 提高 5 發 1 群歸零可行性之折衷辦法示意圖

資料來源：作者拍攝（2023 年 7 月 7 日）

當然，最理想的狀態，還是建議能於靶場上立即完成平均彈著點之計算、第一時間完成瞄準具調整。目前國外被廣泛使用且計算最迅速的方法為：使用智慧手機下載 SubMOA、Ballistics X...等精準度輔助測量軟體，藉由翻拍靶紙將彈孔於程式內逐一完成標示，軟體遂能自行計算出平均彈著點、精度與平均散佈半徑（MR, Mean Radius）⁵甚至是彈著點與瞄準點的偏差量，（操作程序步驟參考圖十八所示）可大幅度增進歸零射擊效率與最終歸零品質。除非彈著群非常密集且幾乎完全重疊一致難以辨識每一發彈著所在位置，可省略上述精算之步驟。否則，射手都不應直接以目視判斷平均彈著點所在位置。

⁵ 平均散佈半徑（MR, Mean Radius）：指某彈著群中每一個彈著點與平均彈著點距離的平均值。相較傳統直接精度（ES, Extreme Spread）測量方法（即直接量取彈著群中散佈最遠兩發之直線距離），MR 較不會因單一離群彈著所造成之偏差，而影響精度之客觀判讀，且通常射彈發數越多，MR 數值越趨穩定（ES 則完全相反，射彈越多，因人為失誤造成的離群彈著越多，精度測量數值越大），是為一種能更客觀衡量精度的方式。本部於民國 111 年起正式將「新式狙擊手精準射擊能力評估與鑑定作為」納入狙擊手訓練班課程設計，其一重要精神便是以「平均散佈半徑」作為精度考核之工具。



圖十八 Ballistics X 精準度輔助測量軟體操作程序步驟示意圖

資料來源：作者調製（2021 年 11 月 12 日）

二、射彈發數與散佈面大小之關係

我們都知道通常射擊彈藥數量越多，雖然越能客觀顯示出槍枝彈藥真正的精度，但相對地散佈面往往也會變得更大。如某位射手原本使用某槍枝於某距離上射擊 3 發精度為 3 公分，則在相同條件下，改採一次射擊 5 發方式歸零，精度還能維持原本的 3 公分嗎？為了解決這個問題，且能制訂出未來如全面改採 5 發 1 群實施歸零修正時，判定彈著群散佈面是否合格之合理標準。作者蒐整國外文獻，發現美國彈道學家 Bryan Litz 早於《Modern Advancements in Long Range Shooting》一書第 8 頁中提出「不同射擊數量與彈著群散佈大小換算理論」。（如圖十九）經研究，其內所有數據，都是原作者以大數據統計而來，可幫助射手了解並掌握以不同彈藥數量進行歸零時，射擊精度所應達到的最低標準。如某位射手原本使用某槍枝於某距離上以 3 發 1 群實施歸零射擊時，精度要求標準為 3 公分，則在相同條件下，改採一次射擊 5 發方式歸零，理論上精度應以不超過 3.84 公分為原則，即將原本的 3 發精度標準 3 公分乘上 3 發對應到 5 發的彈著群放大係數 1.28 倍（Scale Factor）。

		Extend group to this many shots						
		2	3	4	5	10	20	30
		Scale Factor						
Shots in group	2	1	1.35	1.57	1.73	2.15	2.50	2.70
	3		1	1.16	1.28	1.58	1.85	1.99
	4			1	1.10	1.36	1.59	1.72
	5				1	1.24	1.45	1.56
	10					1	1.17	1.26
	20						1	1.08
	30							1

Table 1.1. Growth in group size based on number of shots.

圖十九 Bryan Litz 不同射擊彈藥數量之彈著群散佈大小換算理論

資料來源：Bryan Litz, 《Modern Advancements in Long Range Shooting- Volume II》(U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2016), P8. (檢索日期 2021 年 9 月 16 日)

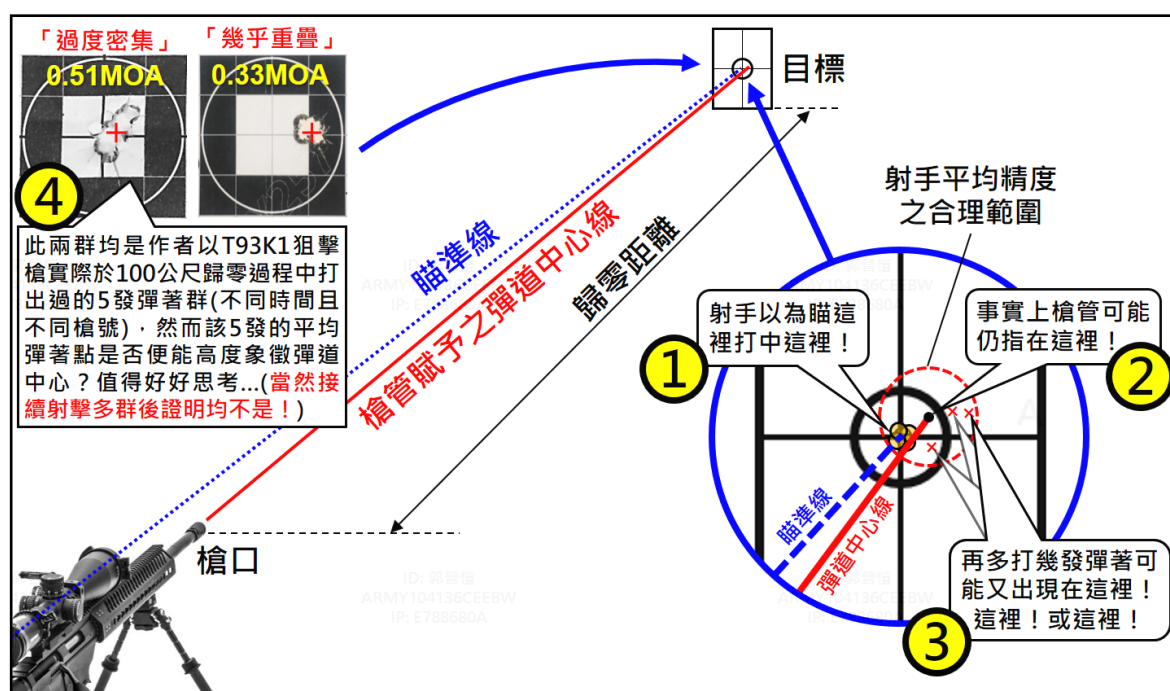
三、留意可能之歸零射擊潛在誤差

歸零射擊雖然是一個必須「眼見為憑」的過程，且理論上採取 5 發 1 群歸零射擊，有著較高的機率能獲得較客觀的平均彈著點，進而對瞄準具實施較有效之修正，提高最終歸零射擊品質。然而，如果射手無法正確評斷「自身射擊水準」並有效掌握射彈散佈的「真實樣貌」，往往會遭眼前「少數」⁶或「過度密集」的彈著點欺騙而不自知，以致應修多（少）而修少（多），彈著群不斷在瞄準點周邊跑來跑去，遲遲無法完成歸零射擊；又或射手好不容易誤以為完成歸零了（只是剛好打進與瞄準點相同位置的精度範圍內），卻又在射擊更遠距離時出現彈著群「無法居中」問題，容易不自覺地導向懷疑槍、鏡、彈是否發生異常，而嚴重打擊射手信心。這便是遠距離精準射擊專欄作家 RocketmanOU 於〈Statistics, Shooting and the Myth of the Three Shot Group〉一文中所提到：「少數幾發密集的彈著群（Tight Group）並無法有效確立歸零品質，也無法保障射手便能命中目標中心」之問題。

尤其當射手偶然地射擊出遠優於自身能力所及之精度（譬如某位射手以 5.56 公厘口徑步槍於 25 公尺射擊 5 發 1 群，大部分情況精度多落在 3 至 5 公分之間，突然在歸零射擊過程中打出一群 5 發彈孔幾乎重疊的彈著群），同時該密集之彈著群的平均彈著點又恰巧完美地落在歸零的所望位置上。那麼，射手必然會高興地驚呼：「哇！這一群運氣超好！這把槍已歸零好了！」、「簡直太完美了！」事實上，如果該射手還有機會再行一次驗證，平均彈著點將有很大的機率又落在截然不同的位置上，射手便可能接著說出：「準度怎麼又跑掉了？這把槍應該有問題！」、「嗯…這一群應該是沒打好！」、「反正上一群就已經歸進去了，這群不要算沒關係！」等不願意面對事實，反覆自我催眠的說詞。

⁶ 縱使改採 5 發 1 群方式，然在統計量化分析理論中充其量也只能稱為「少數」。

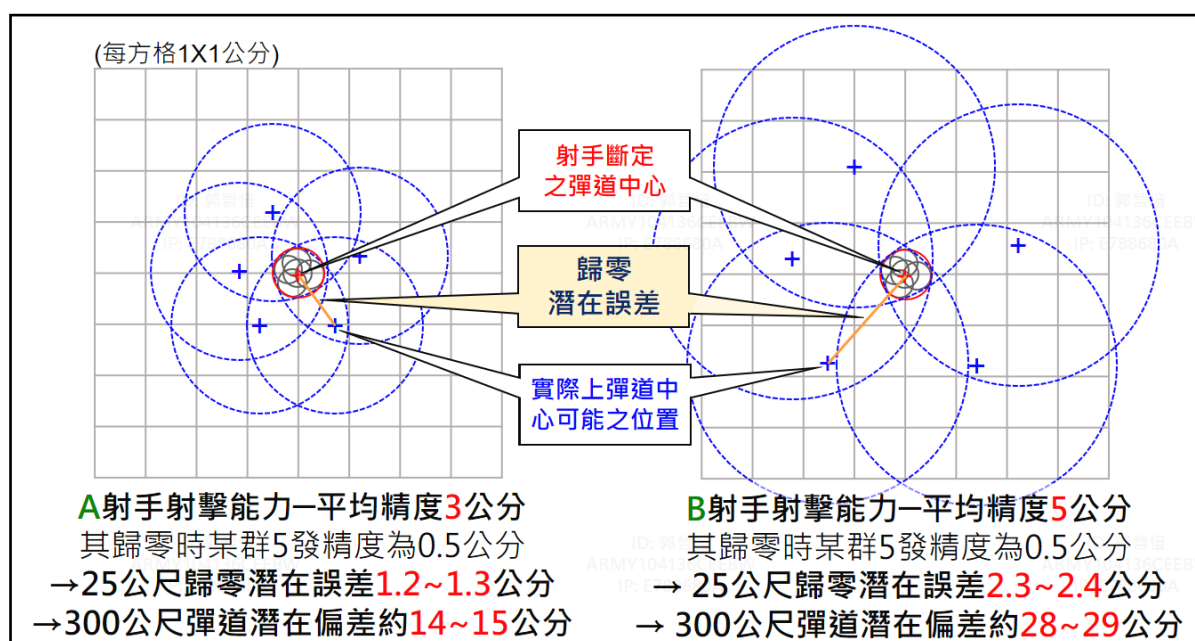
只是，為何「過度密集」或「幾乎重疊」的彈著群反而容易有如此之假象？其實終究還是圍繞在「射彈自然散佈特性」的基礎上。試想，以目前國際標準而言，7.62 公厘手栓式狙擊槍精度普遍介於 0.8-1.2MOA 之間、7.62 公厘半自動精準步槍精度普遍介於 1.5-2MOA 之間、至於 5.56 公厘自動步槍精度則普遍介於 2.5-3.5MOA 之間。而 5 發幾乎重疊之情況，以 7.62 公厘口徑槍枝 100 公尺歸零射擊為例，精度至少必須在 0.35MOA 內，⁷彈孔看起來才有可能重疊，5.56 公厘口徑槍枝 25 公尺歸零則精度至少必須在 0.8MOA 內才有可能。既然原廠以槍架固定射擊或透過神射手精細驗證後所訂定之機械精度都無法達到如此密集之水準，那麼該群幾乎重疊或者過度密集的彈著，大部分只是來自射手平均精度範圍內任一角落的 5 發（只是剛好非常幸運地落在同一個位置上）。射手並無法保證這 5 發的平均彈著點便是歸零過程所欲追求的彈道中心，而且仍有很高的機率：射手雖瞄著目標正中間，但事實上槍管所賦予產生的彈道中心線此時仍在瞄準點四周的其他地方。（如圖二十）如果射手硬是要斷定其為彈道中心，而選擇不再多射擊幾群來驗證，就得必須承受「看似已精確完成歸零」，實際上「歸零品質尚有瑕疵」之風險。



圖二十 「過度密集或幾乎重疊」之彈著群易產生歸零品質瑕疵風險示意圖
資料來源：作者自行調製（2023 年 6 月 10 日）

⁷ 經作者實際蒐集近 1000 群彈著群統計數據後發現，精度標準差(SD)通常為其精度(ES)之 29~30%，故以某位射手 5 發 5 群平均精度 1MOA 為例，其標準差可能為 0.3MOA，依統計學理論可預測其隨機打出 1 群精度(ES) 小於 0.5MOA 的機率約為 4.6%；小於 0.35MOA 彈著群的機率約為 1.4%。故「過度密集」或「幾乎重疊」的彈著群絕對不可能是射彈散佈之「常態」。

參考圖二十一，以 5.56 公厘自動步槍於 25 公尺實施 5 發歸零射擊為例：假設 A、B 兩位射手均打出一群 5 發看起來「幾乎重疊」的彈著且經測量精度為 0.5 公分，A 射手射擊能力平均精度為 3 公分（以其代表現行準則「有」依托射擊之合格標準），則實際之彈道中心與 A 射手依實際彈著群所斷定之彈道中心，最多將可能存在約 1.2-1.3 公分誤差。又若 B 射手平均精度更低為 5 公分（以其代表現行準則「無」依托射擊之合格標準），則誤差將可能變得更大，最多為 2.3-2.4 公分。此無法立即釐清與判斷之落差，便是歸零過程中可能的潛在誤差，是歸零「眼見為憑」思維下的陷阱，也是造成 300 公尺以上中距離射擊時，射彈之平均彈著點偏離目標中心，導致命中率下降的潛在原因之一。

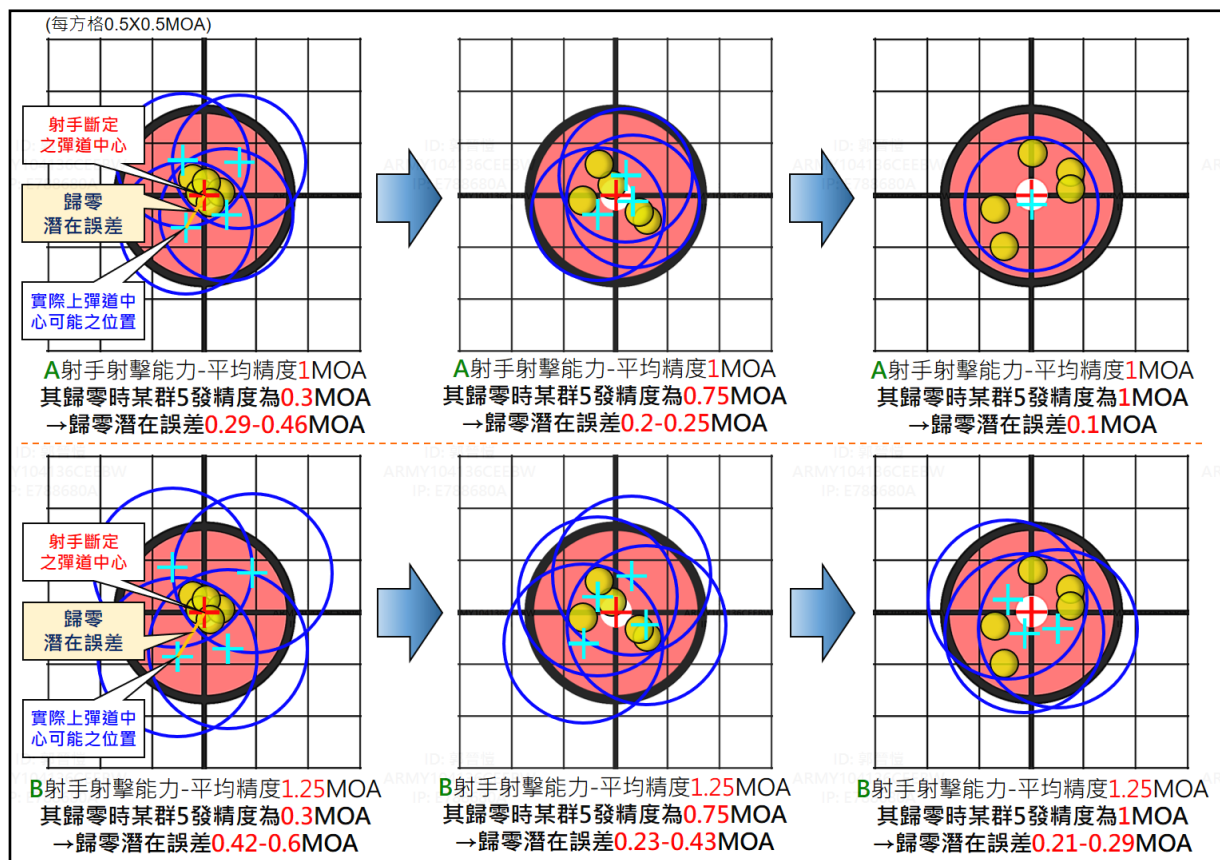


圖二十一 歸零潛在誤差示意圖

資料來源：作者自行調製（2023 年 6 月 9 日）

作者特地以相同模式再調製一張 7.62 公厘狙擊槍 100 公尺歸零最大潛在誤差示意圖提供讀者參考（圖二十二）。經觀察不然發現：當 5 發 1 群打的越密集，與射手自身能力所及之平均精度落差越大，實際彈道中心可能的位置便有更多的選擇彈性，而此彈性便是潛在的歸零誤差。反之，5 發 1 群散佈的越均勻，其大小越接近射手平均精度水準，則歸零可能存在的潛在誤差，將隨之減小。也就是說射擊能力越差、平均精度越大的射手，其實越是應該要擔心出現「過度密集」或「幾乎重疊」的彈著群；而射擊能力越好、平均精度越小的射手，則應多期待與其能力相符的「彈著群」出現。因此，歸零射擊過程出現「過度密集」或「幾乎重疊」之彈著群，多數情況下其實並不是什麼值得高興的事情。不妨試想，既然歸零以「特定發數」求取平均彈著點的過程，與統計學中「隨機抽樣」概念相同，為了求得越接近真實彈道中心之平均彈著點，我們也都有至少射擊 5 發 1 群的共識，而「取樣本的目的原本是要對母體一窺堂奧，

且在蒐集資訊時要盡可能避免不必要的干擾。」⁸只是當射手好不容易專注地射擊出 5 發後，結果在射彈自然散佈、不可控制之變因影響下，最終只在靶紙上呈現出約 2-3 倍彈孔大小、過度密集或幾乎重疊之彈著群，這樣的結果是否就如同統計學上僅抽取 2 至 3 個樣本呢？值得深思。



圖二十二 7.62 公厘狙擊槍 100 公尺歸零潛在誤差示意圖

資料來源：作者自行調製（2023 年 6 月 9 日）

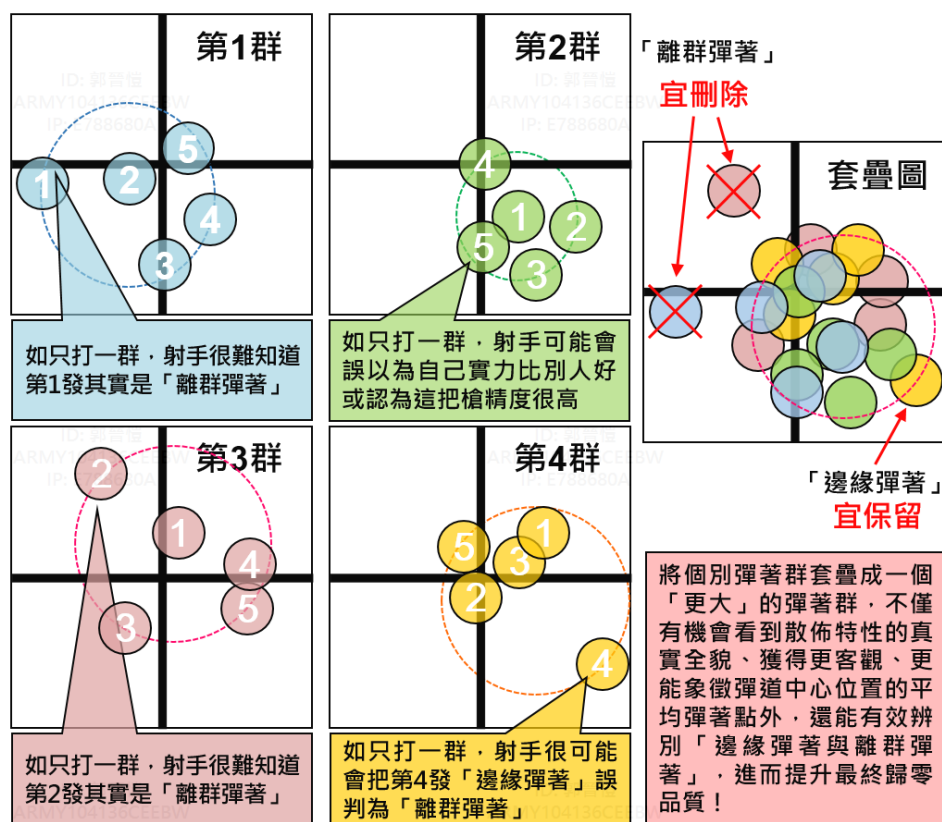
綜整上述，僅以單一彈著群即欲斷定最終歸零品質之好壞，是絕對不夠的，畢竟實際上穿過靶紙留下的彈孔，即使全在合理的精度範圍內，仍舊存有太多「實力」與「運氣」交錯的機率問題。因此，如何在歸零射擊的過程中，對每一群彈著客觀地做出合理且正確之判斷，全賴射手是否能正確評斷自身射擊水準並明確掌握到射彈散佈的真實樣貌，再透過大量實彈射擊加以驗證，從中練習觀察、判斷與分析，當累積足夠經驗後，必能明白其中奧秘。

四、以「多群套疊」彈著群精校最終歸零品質

為了徹底解決僅以 1 次 5 發彈著群確認最終歸零品質所衍生的歸零潛在誤差問題，作者建議如射擊條件許可，不妨嘗試於「判斷」完成歸零後（即射手確認 5 發精度符合標準且彈著群已落入預期範圍內），在不動響數或調整瞄準具的前提下，再

⁸ 墨爾（David S. Moore），諾茨（William I. Notz）著，鄭惟厚、吳欣蓓《統計，讓數字說話》（臺北市，遠見天下文化出版股份有限公司，民國 112 年 1 月），頁 51。

用更多發數的彈著群來驗證歸零品質，如採 5 發 4 群、5 發 5 群甚至 10 發 3 群等方式（實際採何種組合？射手除須衡量自身能力外，同時也須考量口徑與精度特性，避免選擇在歸零距離上容易產生彈孔重疊造成彈著難以辨識之方案，如 7.62 公厘狙擊槍 100 公尺 10 發便容易造成上述問題），將各別彈著群套疊成一個「更大」的彈著群。在如此精密的操作下，射手不僅將有機會看到散佈特性的真實全貌、獲得更客觀、更能象徵彈道中心位置的平均彈著點外，還能獲得僅射擊一次「5 發」彈著群所完全不能及的好處，便是：射手將有機會清楚辨別出打在靶紙上的彈孔中，誰是真正的「邊緣彈著（Outlier）」？而誰又是真正的「離群彈著（Flyer）」？（圖二十三）應把連邊都沾不上、完全離群的「離群彈著」果斷刪除；將差點被誤判為「離群彈著」的「邊緣彈著」保留後，再重新計算平均彈著點，以此作為「再一次」精校響數的依據，射手將更有機會把最終歸零品質控制在小於 1/2 個響數修正量的「理想境界」！如某武器瞄準裝置一響修正量為 0.5MOA，即 100 公尺是 1.45 公分，那麼最後一群的平均彈著點與瞄準點之落差，應該被控制在 0.25MOA，即約 0.7 公分的範圍內。（如圖二十四、二十五）



圖二十三 藉套疊彈著群來辨識「離群彈著與邊緣彈著」示意圖

資料來源：作者自行調製（2021 年 10 月 27 日）



圖二十四 5.56 公厘步槍 100 公尺 10 發 5 群套疊圖範例

資料來源：作者經實彈驗證後調製（2023 年 3 月 3 日）



圖二十五 7.62 公厘狙擊槍 100 公尺 10 發 2 群與 5 發 2 群套疊圖範例

資料來源：作者經實彈驗證後調製（2023 年 6 月 10 日）

在如此講究的作業下，射手必能對自己的歸零品質更具信心，進而在科學彈道數據的協助下，準確命中有效射程內任何距離之目標，提升彈道應用成效。甚至還能延長武器有效射程、提升單兵接戰距離，如作者曾以此方法精校槍枝最終歸零品質，再分別驗證 5.56 公厘自動步槍與 7.62 公厘手栓式狙擊槍於「最大有效射程」上仍否具備精準射擊效能？實證結果平均命中率均高於七成，效果尚能滿足作戰實需（射擊目標為 101X50 公分單人跪姿人形靶，5.56 公厘自動步槍於 600 公尺 100 發命中 75 發，命中率 75%；7.62 公厘手栓式狙擊槍於 1000 公尺 18 發命中 13 發，命中率 72%）。

陸、結語

隨著彈藥性能提升與光學瞄準鏡日漸普及，單兵的接戰能力從傳統的 300 公尺不斷地被延伸至 600 公尺甚至 800 公尺。然而，欲使先進之精準武器發揮最大效能：射手是否具備良好的射擊技術？射手的射擊技術能否支撐槍枝達成良好的最終歸零品質？以及射手在完成槍枝的校正後，是否能運用正確的知識與工具有效掌控彈道（無論使用固定數值的標準射表、原廠內建之射程刻劃，亦或是以彈道計算機計算獲得精確參數…等方法），上述三者為影響 300 公尺以上中、遠距離射擊命中率的關鍵因素。畢竟一位射手的射擊能力高低，將決定射手能否有效完成歸零射擊且能否將歸零品質控制在合理的範圍內；而歸零射擊品質的好壞又直接攸關科學彈道應用是否能達「立竿見影」功效的主要關鍵，因此三者同等重要且缺一不可。

分析美軍近年來將步、機槍與狙擊槍等輕兵器，3 發 1 群歸零方式調整成 5 發為 1 群，主要原因在使射手於歸零過程中，能更有效求得一更接近真實彈道中心位置的平均彈著點，其目的則是在精進槍械歸零品質並提升官兵武器裝備使用效率，確保單兵接戰能力得以滿足理論之最大有效射程。正所謂「他山之石，可以攻錯」，此重大轉變絕對有我們可以參考的價值，而背後的學理，更有深入研究的必要。尤其國軍未來即將換發高性能新型步槍，倘若屆時每枝步槍都配賦有先進光學瞄準具，如何改善現行歸零射擊方法，並藉以精進歸零射擊品質，將是我們應重視的訓練革新問題。因此，作者特地精心投入大量時間研究直射武器彈道與精準射擊相關學理，蒐整國外專業知識與技術並經實彈射擊驗證後，已先後彙整成冊，本文即是此研究過程之部分成果。除能幫助部隊射手消除過往之迷思，提供射擊訓練過程參用外，更盼此拋磚引玉之舉，能為國軍未來換發新式武器裝備後，緊接而來的相關訓練革新奠定良好科學基礎。

參考文獻

1. 郭晉愷，《狙擊彈道學—第四版第二刷》（高雄市，陸軍步兵訓練指揮部，民國 112 年 3 月 14 日編印）。
2. 墨爾（David S. Moore），諾茨（William I. Notz）著，鄭惟厚、吳欣蓓《統計，讓數字說話》（臺北市，遠見天下文化出版股份有限公司，民國 112 年 1 月）。
3. 鈴木香織、竹原一彰著，李貞慧譯，《圖解 機率・統計》（台北市，積木文化出版，民國 105 年）。
4. 陸軍官校機械系主編，《武器系統》（高雄市，陸軍官校機械系，民國 92 年）。
5. 郭正祥，《輕兵器設計技術手冊》（高雄市，聯勤第 205 廠，民國 75 年）。
6. 徐聲亮，《輕兵器彈藥設計技術手冊》（高雄市，聯勤第 205 廠，民國 75 年）。
7. TC 3-22.10, 《Sniper》（U.S.A., Headquarters Department of the Army, 2017）
8. TC 3-22.9, 《Rifle and Carbine》（U.S.A., Headquarters Department of the Army, 2016）
9. TC 3-20.40, 《Training and Qualification Individual Weapon》（U.S.A., Headquarters Department of the Army, 2019）
10. Bryan Litz, 《Accuracy and Precision for Long Range Shooting》（U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2012）
11. Bryan Litz, 《Applied Ballistics for Long Range Shooting》（U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2015）
12. Bryan Litz, 《Modern Advancements in Long Range Shooting- Volume II》（U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2016）
13. Bryan Litz, 《Ballistic Performance of Rifle Bullet- 3rd Edition》（U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2017）
14. Bryan Litz, 《Modern Advancements in Long Range Shooting- Volume III》（U.S.A., Applied Ballistics, LLC, 2022）
15. Cal Zant, 《How To Predict The Future - Statistics For Shooters Part1》（U.S.A., PrecisionRifleBlog.com, 2022）
16. Cal Zant, 《Muzzle Velocity Stats - Statistics For Shooters Part2》（U.S.A., PrecisionRifleBlog.com, 2022）
17. Cal Zant, 《Precision & Group Size - Statistics For Shooters Part3》（U.S.A., PrecisionRifleBlog.com, 2022）