

手榴彈投擲動作之運動學分析

黃國揚

空軍軍官學校總教官室

教官

摘 要

本研究主要目的在於分析手榴彈投擲時，出手瞬間角度、各關節位移速度、角度及出手後手榴彈瞬間速度，對手榴彈基本投擲成績表現之影響。研究以陸軍步兵學校專業軍官班受訓學員男、女各乙員為研究對象，並以Kwon3D 動作分析軟體計算與擷取各項運動學參數，並將所得參數套入SPSS 12.0 for Windows 統計套裝軟體進行統計分析。研究主要以描述性統計與皮爾遜積差相關進行各項運動學參數之分析，進而建立一個手榴彈投擲技術力學模式。最後依據本研究之實驗成果，綜合整理得出以下結論：一、投擲手榴彈時上肢肢段以右腕關節速度、右肘關節角度、左肩關節角度、左肘關節角度對手榴彈投擲距離具有顯著的影響；下肢肢段以右髖關節速度、左髖關節速度、左膝關節速度、左膝關節角度對手榴彈投擲距離具有顯著的影響。二、投擲出手角度與手榴彈離手時的瞬間速度對手榴彈投擲距離具有顯著影響。三、手榴彈投擲的動作要領在於身體旋轉帶動、瞬間投擲角度以及加大投擲時的旋轉半徑等三大要素。因此建議往後在手榴彈投擲訓練中，可針對該三項要素作投擲練習，達到事半功倍之訓練成效。

關鍵詞：手榴彈、動作分析、運動學

壹、緒論

一、研究背景與動機

國軍肩負保國衛民、保家保產的重責大任，必先具備良好的體能、精湛的戰技及堅韌不拔的心理素質，其之賴以養成者為嚴格的體能及近戰格鬥訓練，才能達到軍事上所謂的「軍以戰為主，戰以勝為先」的要求。從持恆的體能訓練中，鍛鍊強健體魄，又在實戰化的近戰格鬥中，培養不畏戰、不懼戰、勇猛剽悍的戰鬥意志，此乃高科技戰爭下，各國仍然重視體能戰技訓練的原因。

我國國軍部隊五項體能戰技訓練有手榴彈投擲、射擊、三千公尺徒手跑步、五百公尺障礙超越及刺槍術，而手榴彈投擲不但是國軍所重視的體能戰技之一，在戰時亦是一項殺傷範圍廣大的近戰武器，其原因為手榴彈構造簡單、用途廣泛、威力強大、攜帶使用均極便利^{1 2}。綜觀現代戰爭中，高科技武器的運用是現代戰爭的趨勢，使戰爭的距離及範圍加大，但是仍然會有機會發生近距離的肉搏戰，而手榴彈的使用價值就成為了致勝與否的重要關鍵。手榴彈投擲的訓練目的，在使國軍官兵皆能具備基礎的投擲能力，且能利用各種不同地形，結合戰鬥動作，採取適當之投擲姿勢，才能發揮手榴彈強大的殺傷力³。

手榴彈俗稱「口袋砲兵」，是近戰殲敵利器，由於手榴彈具有相當的重量，又有一定的殺傷半徑，運用時必須投擲到敵方且又不傷己的安全距離與位置，而在國軍新兵訓練時，要求手榴彈投擲必須超過 25 公尺才算合格^{4 5}；然而隨著科技文明、生活型態改變、人類勞動機會銳減、運動量減少等因素，導致役男有體能不足之狀況，亦增加入伍後戰技訓練的難度與安全顧慮，從手榴彈投擲遠度的普遍下滑，及難以杜絕的訓練傷害案例即可印證⁶。由國軍受訓預官與新兵訓練手榴彈基本投擲測驗之統計結果數據可以得知，不論新兵以至部隊訓練而言，手榴彈訓練是難以克服的障礙⁷。

有鑑於手榴彈投擲為國軍體能戰技項目之一，而且手榴彈的重量又較一般常見的投擲運動之投擲物重量要重，所以在投擲動作的運動學參數上，是否會有別於其他運動的投擲動作，目前尚未得到驗證。雖然已有學者研究手榴彈投擲之運動學分析，但由於受測人員之技術參差不齊，無法有效評估手榴彈投擲動作技術的優劣，因此本研究希望透過運動生物力學的運動學分析方法，來瞭解國軍優秀手榴彈投擲者之運動學參數，做為國軍未來在手榴彈投擲訓練上的教學依據。

¹ 林國順，〈手榴彈投擲熱身與伸展運動暨輔助訓練法〉《體能戰技訓練研究彙編》，第 191 期，西元 2005 年，頁 112~123。

² 陳連淦、王文筆，〈手榴彈投擲訓練的理論與實務〉《復興崗體育》，第 8 期，民國 92 年，頁 33~45。

³ 楊惟斯，〈如何增進手榴彈投擲基礎能力不佳者之投擲遠度及準度〉《陸軍步兵訓練指揮部暨步兵學校八十八年體能戰技訓練研討會資料彙編》，民國 88 年，頁 29-34。

⁴ 同註 3。

⁵ 趙培鑫，〈精進手榴彈投擲訓練成效與安全的具體作法〉《步兵學校九十三期體幹班心得彙編》，第 93 期，民國 92 年，頁 30~42。

⁶ 同註 5

⁷ 同註 3

二、研究目的

本研究將其細分為以下部份作探討，冀望手榴彈投擲訓練之運動學概念能有所提升，並呈現一系列運動學參數，以供未來訓練時的依據。故提出研究目的如下：

- (一)分析手榴彈投擲時，上肢肢段對手榴彈投擲成績表現之影響。
- (二)分析手榴彈投擲時，下肢肢段對手榴彈投擲成績表現之影響。
- (三)分析手榴彈投擲時，手榴彈瞬間速度、投擲角度對投擲成績表現之影響。

三、操作性名詞定義

(一)手榴彈：

本研究中所指的手榴彈，係指 M6 式訓練用手榴彈，亦為國軍平時訓練用手榴彈，其體積、重量皆與實彈(MK2 殺傷力手榴彈，爆炸時間為 3-5 秒，爆炸半徑範圍為 15 公尺)相同⁸。

(二)空間方位之定義，如圖 1 所示：

- 1.以投擲者而言，其投擲方向為前方，反之為後方，在此定義為前後方向，即為 Y 軸。
- 2.垂直於水平面與前後方向之平面軸，在此定義為垂直方向，即為 Z 軸。
- 3.垂直於前後方向與垂直方向的平面軸，在此定義為左右方向，即為 X 軸。

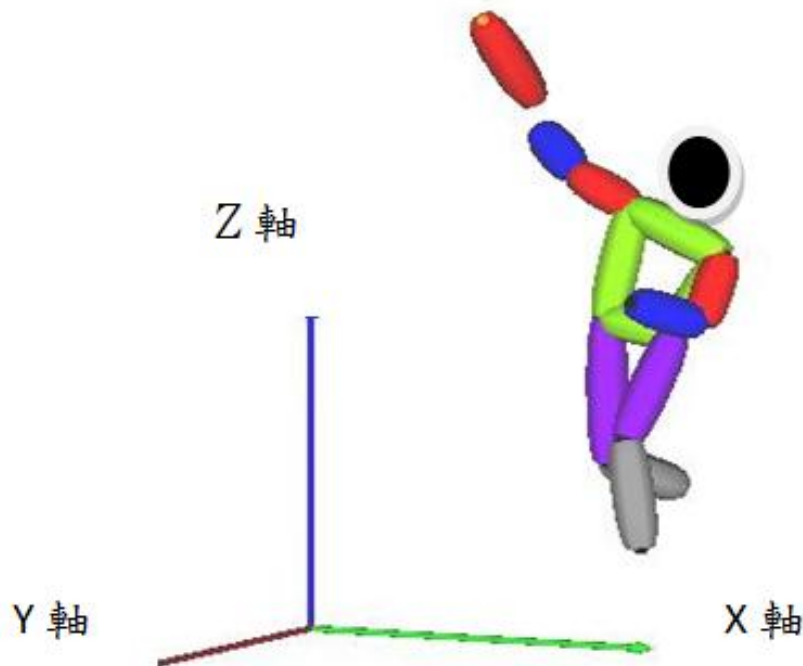


圖 1. 投擲空間方向

資料來源：作者繪製

⁸ 國防部陸軍司令部，《近戰戰技手冊》(桃園縣：國防部陸軍司令部，民國 95 年)。

(三)肩關節角度

以右手為投擲慣用手為例，是指右(左)肘-右(左)肩-左(右)肩三點連線所形成之夾角，其中肩關節定義為肩胛骨肩峰，如圖 2 所示。

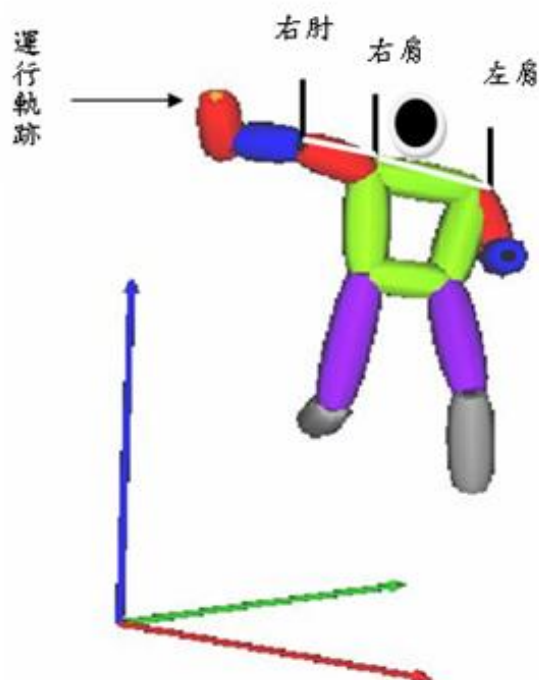


圖 1. 肩關節角度示意圖

資料來源：作者繪製

(四)肘關節角度

係是指右(左)肩-右(左)肘-右(左)腕三點連線所形成之夾角，其中肘關節定義為肱骨外髁與肱骨內髁連線的中間點，如圖 3 所示。

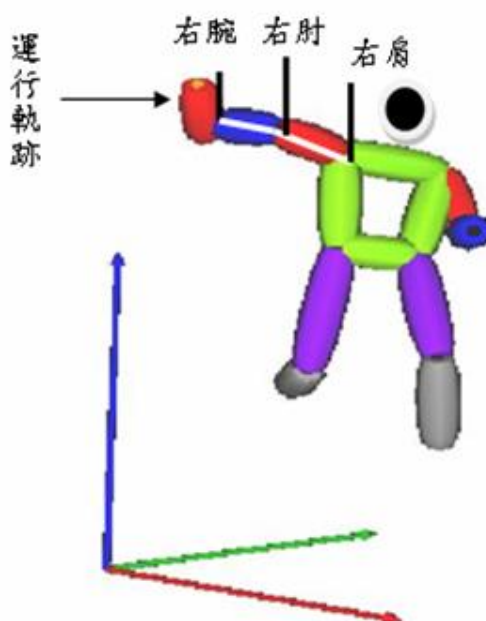


圖 3. 肘關節角度示意圖

資料來源：作者繪製

(五)膝關節角度

係是指右(左)髖-右(左)膝-右(左)踝三點連線所形成之夾角，如圖 4 所示。

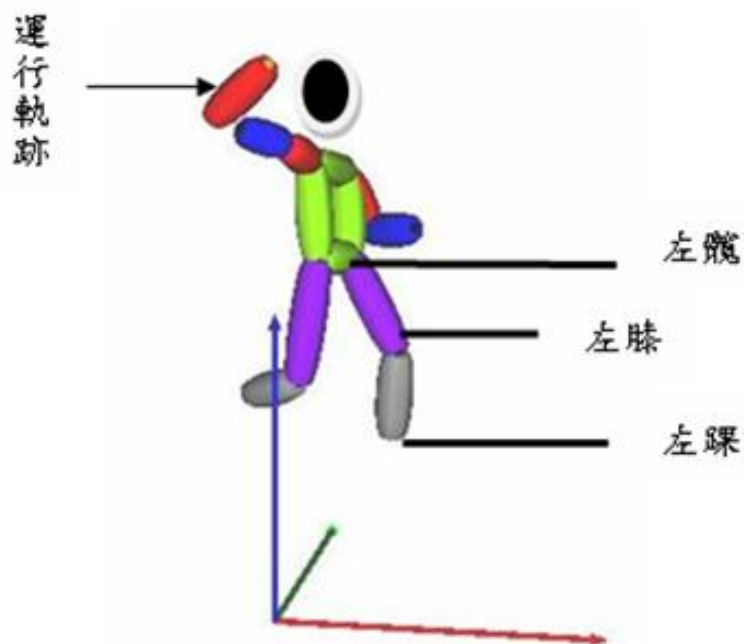


圖 4. 膝關節角度示意圖

資料來源：作者繪製

(六)投擲角度

係指手榴彈出手瞬間，彈體瞬間的運行軌跡與水平面所產生的夾角，如圖 5 所示。

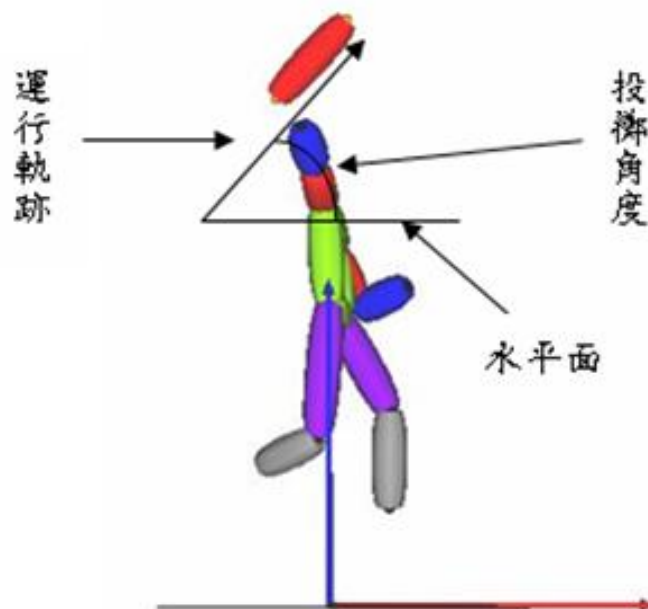


圖 5. 手榴彈投擲角度示意圖

資料來源：作者繪製

(七)投擲瞬間速度：即為手榴彈離手瞬間所產生的切線速度。

貳、研究方法

一、研究對象

本研究以陸軍步兵學校專業軍官班受訓學員等 2 員(男、女各乙員)為實驗對象(以下簡稱為受試者)，且均為研究者授課班隊投擲能力最佳及全校投擲遠度最遠之人員，且所測最高成績皆較國軍運動會(金湯盃)之手榴彈擲遠成績佳，男、女受試者身高與體重，如表 1 所示。在實驗開始前已充分告知研究目的、實驗流程，以取得受試者最佳的配合。

表 1.受試者基本資料表

	身高(cm)	體重(kg)	慣用手	最遠成績(m)
男性	180	90	右手	85.63
女性	158	52	右手	39.82
金湯盃手榴彈投擲最佳成績			男性	73.00
			女性	38.09

資料來源：作者繪製

二、實驗器材與場地佈置

(一)實驗器材

本研究以科學儀器記錄投擲者投擲的動作，進而分析其出手瞬間角度、各關節位移速度與角度、出手後手榴彈瞬間速度以及手榴彈投擲距離等各項運動學參數。主要研究器材與設備如下所示：

1.Sony 數位攝影機兩台，如圖 6 所示。



圖 6. Sony 數位攝影機示意圖

2.三維空間座標架(peak calibration frame)一座，如圖 7 所示。

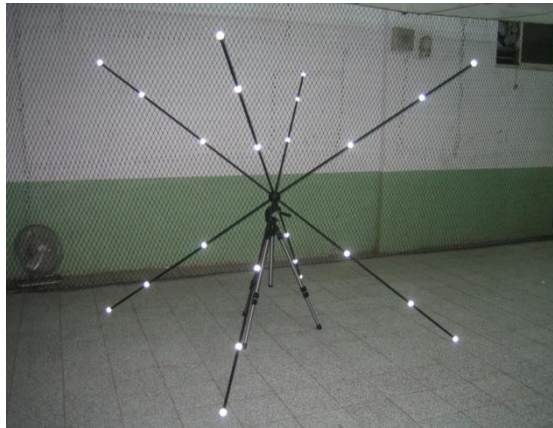


圖 7. 三維空間座標架示意圖

3.Kwon3D 動作分析軟體。

(二)實驗場地佈置

本研究於陸軍步兵學校手榴彈基本投擲場進行實驗，事先已丈量投擲場的距離，並於每五公尺標示距離牌一座；在攝影機架設方面，分別將兩部 Sony 攝影機架設於離受試者正面 7.9 公尺與 8.1 公尺處，且夾角為 65 度，以利於拍攝範圍可涵蓋受試者整個投擲過程，如圖 8 所示。

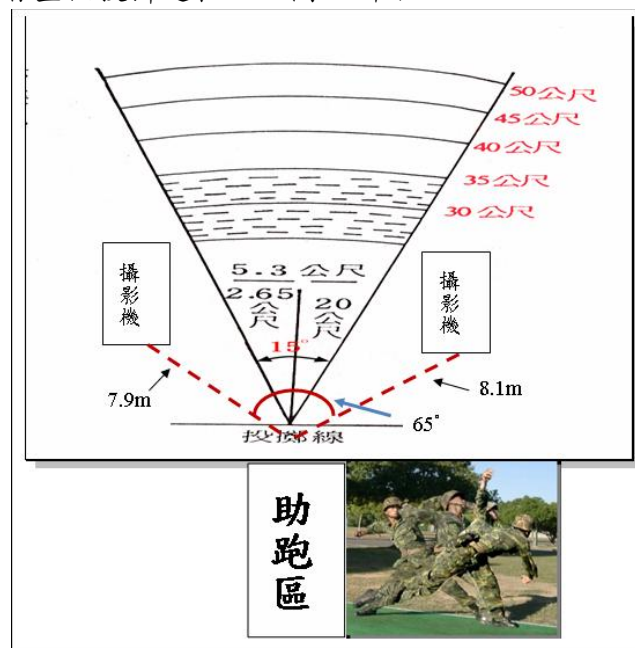


圖 8.實驗場地佈置圖

三、實驗步驟

在實驗前將場地佈置成如圖 8，並檢視各儀器設備之配線，以確定皆正常運作，之後再拍攝三維空間座標架，擷取與輸入 Kwon3D 動作分析儀器，建立三度空間立體座標。

請受試者進行 10 至 15 分鐘之熱身運動，之後開始進行受試者之身體肢段的測量、標誌與黏貼反光貼片，爾後開始拍攝。在進行手榴彈投擲動作之拍攝時，

由二名研究助理負責攝影機之操作；受試者須以前交叉步法進行投擲動作，且於實驗開始前，即充分告知受試者必須盡全力投擲；拍攝以交替投擲進行，男性受試者先拍攝投擲動作，在換女性受試者拍攝投擲動作，以此類推，每人各拍攝五次動作，在此過程中，每當受試者完成一次投擲，則由另一名研究助理協助測量其投擲距離，方便實驗進行。

確認拍攝資料正確無誤後，則開始資料的擷取與建檔，研究以五次投擲中距離最遠的三次進行分析，並將該三次動作影像檔輸入 Kwon3D 動作分析軟體，以設定各肢段的關節角度、關節位移速度、手榴彈瞬間速度與手榴彈投擲角度等參數設定，最後再將所取得的運動學參數輸入 SPSS 12.0 for windows 統計套裝軟體進行分析與呈現結果。

四、數據擷取與資料處理

實驗以三維空間座標架作為三度空間線性轉換之比例尺；空間座標定義前後方向為 Y 軸，垂直方向為 Z 軸，左右方向為 X 軸；兩部攝影機分別架設在不同角度，拍攝整個手榴彈投擲過程的情況，並將所得之手榴彈投擲動作影像輸入 Kwon3D 動作分析軟體，進行數位化(digitize)處理並取得原始數據，且以 Kwon3D 動作分析軟體內建的零相位移數位濾波法(Butterworth Fourth-order Zero Lag Digital Filter)，將所得之原始數據之雜訊進行平滑處理，以增加研究之效度，最後輸入 SPSS 12.0 for windows 統計套裝軟體，以描述性統計與皮爾遜積差相關進行分析。

參、結果與討論

一、研究結果

(一)出手瞬間各關節平均角度

由表 2 與表 3 得知，男性受試者在進行手榴彈投擲時，右肘關節角度平均為 170.76 ± 3.34 度，左肘關節角度平均為 93.88 ± 5.28 度，右肩關節角度平均為 168.96 ± 10.24 度，左肩關節角度平均為 112.92 ± 4.62 度，右膝關節角度平均為 114.66 ± 2.40 度，左膝關節角度平均為 156.48 ± 3.59 度；在女性受試者方面，其右肘關節角度平均為 163.06 ± 2.29 度，左肘關節角度平均為 135.85 ± 22.68 度，右肩關節角度平均為 168.15 ± 7.89 度，左肩關節角度平均為 134.24 ± 1.19 度，右膝關節角度平均為 112.02 ± 5.01 度；左膝關節角度平均為 175.13 ± 3.10 度。

表 2. 男性手榴彈投擲瞬間之各關節角度統計表

單位：°

	樣本數	平均數	標準差	最小值	最大值
右肘關節	3	170.76	3.34	167.13	173.71
左肘關節	3	93.88	5.28	90.69	99.97
右肩關節	3	168.96	10.24	159.52	179.84
左肩關節	3	112.92	4.62	108.75	117.89
右膝關節	3	114.66	2.40	111.89	116.16
左膝關節	3	156.48	3.59	152.67	159.81

表 3. 女性手榴彈投擲瞬間之各關節角度統計表

單位：°

	樣本數	平均數	標準差	最小值	最大值
右肘關節	3	163.06	2.29	160.71	165.28
左肘關節	3	135.85	22.68	111.52	156.40
右肩關節	3	168.15	7.89	160.69	176.41
左肩關節	3	134.24	1.19	133.42	135.61
右膝關節	3	112.02	5.01	106.54	116.36
左膝關節	3	175.13	3.10	172.67	178.61

(二) 出手瞬間各關節平均速度

由表 4 與表 5 得知，男性受試者在進行手榴彈投擲時，右肩關節速度平均為 2.84 ± 0.17 公尺/秒，左肩關節速度平均為 0.38 ± 0.03 公尺/秒，右肘關節速度平均為 4.08 ± 0.23 公尺/秒，左肘關節速度平均為 1.31 ± 0.11 公尺/秒，右腕關節速度平均為 10.26 ± 0.12 公尺/秒，左腕關節速度平均為 1.15 ± 0.10 公尺/秒，右髖關節速度平均為 1.61 ± 0.13 公尺/秒，左髖關節速度平均為 1.57 ± 0.13 公尺/秒，右膝關節速度平均為 2.34 ± 0.23 公尺/秒，左膝關節速度平均為 1.95 ± 0.23 公尺/秒，右踝關節速度平均為 2.06 ± 0.23 公尺/秒，左踝關節速度平均為 0.46 ± 0.06 公尺/秒；而女性受試者方面，其右肩關節速度平均為 2.65 ± 0.21 公尺/秒，左肩關節速度平均為 0.39 ± 0.15 公尺/秒，右肘關節速度平均為 4.00 ± 0.30 公尺/秒，左肘關節速度平均為 1.14 ± 0.53 公尺/秒，右腕關節速度平均為 8.79 ± 0.13 公尺/秒，左腕關節速度平均為 0.86 ± 0.30 公尺/秒，右髖關節速度平均為 0.58 ± 0.19 公尺/秒，左髖關節速度平均為 0.69 ± 0.03 公尺/秒，右膝關節速度平均為 1.97 ± 0.25 公尺/秒，左膝關節速度平均為 1.23 ± 0.26 公尺/秒，右踝關節速度平均為 1.90 ± 0.19 公尺/秒，左踝關節速度平均為 1.67 ± 0.57 公尺/秒。

表 4.男性手榴彈投擲瞬間之各關節速度統計表

單位：m/s

	樣本數	平均數	標準差	最小值	最大值
右肩關節	3	2.84	0.17	2.67	3.01
左肩關節	3	0.38	0.03	0.36	0.41
右肘關節	3	4.08	0.23	3.84	4.30
左肘關節	3	1.31	0.11	1.23	1.43
右腕關節	3	10.26	0.12	10.15	10.38
左腕關節	3	1.15	0.10	1.09	1.26
右腕關節	3	1.61	0.13	1.49	1.75
左腕關節	3	1.57	0.13	1.46	1.71
右膝關節	3	2.34	0.23	2.14	2.59
左膝關節	3	1.95	0.23	1.81	2.21
右踝關節	3	2.06	0.23	1.83	2.28
左踝關節	3	0.46	0.06	0.43	0.53

表 5.女性手榴彈投擲瞬間之各關節速度統計表

單位：m/s

	樣本數	平均數	標準差	最小值	最大值
右肩關節	3	2.65	0.21	2.42	2.84
左肩關節	3	0.39	0.15	0.24	0.53
右肘關節	3	4.00	0.30	3.66	4.18
左肘關節	3	1.14	0.53	0.54	1.50
右腕關節	3	8.79	0.13	8.66	8.92
左腕關節	3	0.86	0.30	0.52	1.08
右腕關節	3	0.58	0.19	0.43	0.80
左腕關節	3	0.69	0.03	0.67	0.72
右膝關節	3	1.97	0.25	1.69	2.18
左膝關節	3	1.23	0.26	0.95	1.45
右踝關節	3	1.90	0.19	1.68	2.04
左踝關節	3	1.67	0.57	1.02	2.09

(三)手榴彈投擲之瞬間速度、角度、以及投擲距離

由表 6、表 7 與表 8 可以得知，男、女性受試者在進行手榴彈投擲時，手榴彈出手後的瞬間速度平均值分別為 18.55 ± 0.66 公尺/秒與 10.52 ± 0.37 公尺/秒；男、女性受試者手榴彈投擲角度平均值分別為 54.91 ± 1.63 度與 42.62 ± 1.87 度；男、女性受試者手榴彈投擲距離平均值分別為 81.82 ± 1.80 公尺與 39.56 ± 1.63 公尺。

表 6.手榴彈投擲之手榴彈瞬間速度統計表

單位：m/s

	樣本數	平均數	標準差	最小值	最大值
男性	3	18.55	0.66	18.14	19.31
女性	3	10.52	0.37	10.10	10.78

表 7.手榴彈投擲之投擲角度統計表

單位：m/s

	樣本數	平均數	標準差	最小值	最大值
男性	3	54.91	1.63	53.63	56.74
女性	3	42.62	1.87	40.46	43.74

表 8.手榴彈投擲之投擲距離統計表

單位：m/s

	樣本數	平均數	標準差	最小值	最大值
男性	3	81.82	1.80	80.25	83.78
女性	3	39.56	1.63	38.58	41.45

(四)手榴彈投擲瞬間之各關節角度與手榴彈瞬間速度相關性

由表 9 得知，手榴彈投擲瞬間，右肘關節角度與手榴彈瞬間速度呈顯著正相關($r = 0.881$)；左肘關節角度與手榴彈瞬間速度呈顯著負相關($r = -0.862$)；左肩關節角度與手榴彈瞬間速度呈顯著負相關($r = -0.993$)；左膝關節角度與手榴彈瞬間速度呈顯著負相關($r = -0.947$)。

表 9.手榴彈投擲瞬間之各關節角度與手榴彈瞬間速度相關表

	右肘 關節	左肘 關節	右肩 關節	左肩 關節	右膝 關節	左膝 關節	瞬間 速度
右肘關節		-0.608	-0.120	-0.847*	0.248	-0.714	0.881*
左肘關節	-0.608		-0.244	0.894*	-0.493	0.899*	-0.862*
右肩關節	-0.120	-0.244		-0.110	-0.287	-0.087	0.045
左肩關節	-0.847*	0.894*	-0.110		-0.329	0.969**	-0.993**
右膝關節	0.248	-0.493	-0.287	-0.329		-0.295	0.380
左膝關節	-0.714	0.899*	-0.087	0.969**	-0.295		-0.947**
瞬間速度	0.881*	-0.862*	0.045	-0.993**	0.380	-0.947**	

* $r_{.95(4)} = 0.811(p < .05)$ ** $r_{.99(4)} = 0.917(p < .01)$

(五)手榴彈投擲瞬間之各關節速度與手榴彈瞬間速度相關性

由表 10 與表 11 得知，手榴彈投擲瞬間，右腕關節速度與手榴彈瞬間速度呈顯著正相關($r = 0.998$)；右腕關節速度與手榴彈瞬間速度呈顯著正相關($r = 0.963$)；左腕關節速度與手榴彈瞬間速度呈顯著正相關($r = 0.993$)；左膝關節速度與手榴彈瞬間速度呈顯著正相關($r = 0.885$)；左踝關節速度與手榴彈瞬間速

度呈顯著負相關($r = -0.842$)。

表 10.手榴彈投擲之上肢關節速度與手榴彈瞬間速度相關表

	右肩 關節	右肘 關節	右腕 關節	左肩 關節	左肘 關節	左腕 關節	瞬間 速度
右肩關節		0.005	0.508	0.709	0.797	0.116	0.542
右肘關節	0.005		0.237	-0.543	-0.160	0.796	0.213
右腕關節	0.508	0.237		-0.123	0.180	0.630	0.998**
左肩關節	0.709	-0.543	-0.123		0.817*	-0.507	-0.073
左肘關節	0.797	-0.160	0.180	0.817*		0.046	0.237
左腕關節	0.116	0.796	0.630	-0.507	0.046		0.625
瞬間速度	0.542	0.213	0.998**	-0.073	0.237	0.625	

* $r_{.95(4)} = 0.811$ ($p < .05$)

** $r_{.99(4)} = 0.917$ ($p < .01$)

表 11.手榴彈投擲之下肢關節速度與手榴彈瞬間速度相關表

	右髖 關節	左髖 關節	右膝 關節	左膝 關節	右踝 關節	左踝 關節	瞬間 速度
右髖關節		0.982**	0.796	0.956**	0.619	-0.942**	0.963**
左髖關節	0.982**		0.776	0.919**	0.548	-0.869*	0.993**
右膝關節	0.796	0.776		0.761	0.609	-0.733	0.711
左膝關節	0.956**	0.919**	0.761		0.780	-0.898*	0.885*
右踝關節	0.619	0.548	0.609	0.780		-0.572	0.469
左踝關節	-0.942**	-0.869*	-0.733	-0.898*	-0.572		-0.842*
瞬間速度	0.963**	0.993**	0.711	0.885*	0.469	-0.842*	

* $r_{.95(4)} = 0.811$ ($p < .05$)

** $r_{.99(4)} = 0.917$ ($p < .01$)

(六)手榴彈投擲瞬間之各關節角度與投擲距離相關性

由表 12 得知，手榴彈投擲瞬間，右肘關節角度與手榴彈投擲距離呈顯著正相關($r = 0.883$)；左肘關節角度與手榴彈投擲距離呈顯著負相關($r = -0.838$)；左肩關節角度與手榴彈投擲距離呈顯著負相關($r = -0.989$)；左膝關節角度與手榴彈投擲距離呈顯著負相關($r = -0.950$)。

表 12.手榴彈投擲瞬間之角度與投擲距離相關表

	右肘 關節	左肘 關節	右肩 關節	左肩 關節	右膝 關節	左膝 關節	投擲 距離
右肘關節		-0.608	-0.120	-0.847*	0.248	-0.714	0.883*
左肘關節	-0.608		-0.244	0.894*	-0.493	0.899*	-0.838*
右肩關節	-0.120	-0.244		-0.110	-0.287	-0.087	0.001
左肩關節	-0.847*	0.894*	-0.110		-0.329	0.969**	-0.989**
右膝關節	0.248	-0.493	-0.287	-0.329		-0.295	0.360
左膝關節	-0.714	0.899*	-0.087	0.969**	-0.295		-0.950**
投擲距離	0.883*	-0.838*	0.001	-0.989**	0.360	-0.950**	

*r .95(4)=.811(p < .05)

**r .99(4)=.917(p < .01)

(七)手榴彈投擲之各肢關節速度與投擲距離相關性

由表 13 與表 14 得知，手榴彈投擲瞬間，右腕關節速度與手榴彈投擲距離呈顯著正相關(r = 0.996)；右腕關節速度與手榴彈投擲距離呈顯著正相關(r = 0.964)；左腕關節速度與手榴彈投擲距離呈顯著正相關(r = 0.990)；左膝關節速度與手榴彈投擲距離呈顯著正相關(r = 0.873)；左踝關節速度與手榴彈投擲距離呈顯著負相關(r = -0.858)。

表 13.手榴彈投擲之上肢關節速度與投擲距離相關表

	右肩 關節	右肘 關節	右腕 關節	左肩 關節	左肘 關節	左腕 關節	投擲 距離
右肩關節		0.005	0.508	0.709	0.797	0.116	0.499
右肘關節	0.005		0.237	-0.543	-0.160	0.796	0.215
右腕關節	0.508	0.237		-0.123	0.180	0.630	0.996**
左肩關節	0.709	-0.543	-0.123		0.817*	-0.507	-0.109
左肘關節	0.797	-0.160	0.180	0.817*		0.046	0.221
左腕關節	0.116	0.796	0.630	-0.507	0.046		0.647
投擲距離	0.499	0.215	0.996**	-0.109	0.221	0.647	

*r .95(4)=.811(p < .05)

**r .99(4)=.917(p < .01)

表 14.手榴彈投擲之下肢關節速度與投擲距離相關表

	右髖關節	左髖關節	右膝關節	左膝關節	右踝關節	左踝關節	投擲距離
右髖關節		0.982**	0.796	0.956**	0.619	-0.942**	0.964**
左髖關節	0.982**		0.776	0.919**	0.548	-0.869*	0.990**
右膝關節	0.796	0.776		0.761	0.609	-0.733	0.711
左膝關節	0.956**	0.919**	0.761		0.780	-0.898*	0.873*
右踝關節	0.619	0.548	0.609	0.780		-0.572	0.433
左踝關節	-0.942**	-0.869*	-0.733	-0.898*	-0.572		-0.858*
投擲距離	0.964**	0.990**	0.711	0.873*	0.433	-0.858*	

*r .95(4)=.811(p < .05)

**r .99(4)=.917(p < .01)

(八)手榴彈投擲之投擲角度、手榴彈瞬間速度、以及投擲距離相關性

由表 15 得知，手榴彈投擲瞬間，投擲角度與手榴彈瞬間速度呈顯著正相關(r = 0.991)；投擲角度與投擲距離呈顯著正相關(r = 0.983)；手榴彈瞬間速度與投擲距離呈顯著正相關(r = 0.998)。

表 15.手榴彈投擲之投擲角度、手榴彈瞬間速度以及投擲距離相關表

	投擲角度	手榴彈瞬間速度	投擲距離
投擲角度		0.991**	0.983**
手榴彈瞬間速度	0.991**		0.998**
投擲距離	0.983**	0.998**	

*r .95(4)=.811(p < .05)

**r .99(4)=.917(p < .01)

二、討論

(一)上肢關節速度、角度與手榴彈瞬間速度和投擲距離分析討論

根據研究結果得知，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以右肘關節角度與手榴彈瞬間速度、右腕關節速度與手榴彈瞬間速度、右肘關節角度與手榴彈投擲距離、右腕關節速度與手榴彈投擲距離呈現正相關。此與文獻所指手榴彈投擲之動力鏈的傳達概念相符，即遠端肢段之速度乃取決於近端肢段所產生的速度^{9 10}。此外各項參數的相關性與轉動慣量之原理亦相符合¹¹，根據轉動慣量原理得知，人體在進行投擲動作的旋轉中心為軀幹，是故右肘關節角度愈大，投擲物體離旋轉中心也就愈遠，在角動量相同情況下，投擲物體離旋轉中心愈遠，所得到的角速度也就愈大，則投擲物體的切

⁹ 同註 3¹⁰ 同註 1¹¹ 同註 11

線速度亦愈大。在進行手榴彈投擲時，增加右肘關節角度有益於右腕關節速度的提升，使手榴彈具有較佳的角速度，當手榴彈離手後，其切線加速度達到最大，進而有效增加投擲距離；此外，右肩關節角度雖與手榴彈瞬間速度與投擲距離未達顯著相關，但依轉動慣量原理所述，增加右肩關節角度亦可加大投擲的旋轉半徑，故亦不可忽視。

上肢關節速度、角度與手榴彈投擲距離相關性中，以左肩關節角度與手榴彈瞬間速度、左肩關節角度與手榴彈投擲距離、左肘關節角度與手榴彈瞬間速度、左肘關節角度與手榴彈投擲距離呈現負相關。根據力偶原理瞭解，人體的對稱特性有利於力偶矩的作用，而力偶矩的產生為兩相反作用力同時作用於一軸線上，在投擲動作中，若投擲側為正作用力，則另一側勢必須產生一反作用力，致使身體發生力偶矩現象在投擲動作中¹²。而此與本研究結果相符，即左肩關節與左肘關節角度愈小，代表受試者身體左側所施以的反作用力愈大，相對受試者產生的力偶矩與角速度便愈佳，故可有效提升手榴彈投擲的距離。

(二)下肢關節速度、角度與手榴彈瞬間速度和投擲距離分析討論

在下肢關節部分，與手榴彈投擲距離呈現正相關的有右髖關節速度與手榴彈瞬間速度、左髖關節速度與手榴彈瞬間速度、左膝關節速度與手榴彈瞬間速度、右髖關節速度與手榴彈投擲距離、左髖關節速度與手榴彈投擲距離、左膝關節速度與手榴彈投擲距離。本研究結果與學者劉于詮等人在不同重量球體對過肩投擲中肢段的移動序列性、移動速度以及球速之影響的研究相符；文獻指出當投擲者在進行 600 公克重球投擲時，投擲者會因物體的重量而減低投擲臂的速度，是故在整個投擲動作中，投擲者勢必產生較長的揮臂時間來加速手中投擲物體，並以骨盆或軀幹等近端肢段作為投擲物體加速度的力量來源^{13 14}。本研究所使用之手榴彈重量介於 595 公克至 600 公克之間，亦屬於重物投擲的動作，故投擲時的力量來源在於骨盆所產生的力量。此外，在國軍手榴彈投擲教材教法與訓練方式中提到，手榴彈投擲乃利用蹬地施力時獲得更多的腹背肌肉力量，加大施力的工作距離，注重蹬足、扭腰、轉體、挺胸、前壓、揮臂、壓腕等順序動作，強調腿部蹬地肌力、爆發力、肌耐力以及轉髖扭腰之協調性^{15 16 17}；且依據轉矩平衡的概念瞭解，在投擲動作所產生的旋轉動作中，為使上半身產生正力矩的旋轉方向，故會有一反力矩作用於下半身上¹⁸，而此反力矩之力量來源即為地面對腳部的水平反作用力所為。承上所述，手榴彈投擲時，下肢蹬地關乎骨盆是否可獲取足夠的旋轉力量，來加大身體所產生的力偶矩，因此左膝關節伸展的速度，是為手榴彈投擲遠近的要素之一，此亦與本研究結果相符。

下肢關節速度、角度與手榴彈瞬間速度和投擲距離呈現負相關的有左膝關節角度與手榴彈瞬間速度、左踝關節速度與手榴彈瞬間速度、左膝關節角度與手榴彈投擲距離以及左踝關節速度與手榴彈投擲距離。就平衡轉矩原理，以及國軍手榴彈教材教法與訓練方式所述，下肢關節的伸展大小與蹬地力量應造成

¹² 同註 12

¹³ 同註 19

¹⁴ 同註 20

¹⁵ 同註 2

¹⁶ 同註 5

¹⁷ 同註 10

¹⁸ 同註 12

較佳的手榴彈投擲距離，但因女性受試者在進行投擲時，右腳離地時間過早，至使重心置於左腳上，當投擲瞬間，為求地面反作用力的產生，左腳跟因而順勢提起，故使左腳踝位移速度加大，至此助長了地面對下肢的垂直反作用力，而減少了水平反作用力，因此在相關統計結果中產生此一不合理的結果。承上所述，下肢蹬地為手榴彈投擲的重要動作之一，但在蹬地的過程中必須符合平衡轉矩的原理，盡可能將蹬地的力量運用在轉體上，以提升手榴彈投擲的距離。

(三)手榴彈投擲角度、瞬間速度與投擲距離分析討論

投擲角度與手榴彈瞬間速度、投擲角度與投擲距離以及手榴彈瞬間速度與投擲距離等參數呈顯著正相關，以上各參數的相關性與學者許樹淵所指相符，即影響投擲距離的遠近是依據出手速度與投擲角度而定¹⁹，而本研究結果說明手榴彈的投擲距離會隨著出手後的瞬間速度與投擲角度的增加而增加。學者陳連淦等人認為手榴彈離手時的最佳投擲角度以 45 度為佳²⁰，然而此與本研究男性受試者結果有所落差，故依照研究結果顯示，男性投擲角度應以 54.91 ± 1.63 度為佳，女性最佳投擲角度為應以 42.62 ± 1.87 度為佳。

肆、結論與建議

一、結論

本研究主要目的在於分析手榴彈投擲時，各關節位移速度及角度、手榴彈瞬間速度、投擲角度等，對手榴彈基本投擲距離表現之影響，並以各項運動學參數分析投擲動作，進而建立一個手榴彈投擲動作力學模式。最後依據本研究之實驗成果，綜合整理得出以下三點結論：

- (一)上肢肢段以右腕關節速度、右肘關節角度、左肩關節角度、左肘關節角度對投擲距離具有顯著的影響，且男、女性右腕關節速度應為 10.26 ± 0.12 公尺/秒、 8.79 ± 0.13 公尺/秒；男、女性右肘關節角度應為 170.76 ± 3.34 度、 163.06 ± 2.29 度；男、女性左肩關節角度應為 112.92 ± 4.62 度、 134.24 ± 1.19 度；男、女性左肘關節角度應為 93.88 ± 5.28 度、 135.85 ± 22.68 度。
- (二)下肢肢段以右髖關節速度、左髖關節速度、左膝關節速度、左膝關節角度對投擲距離具有顯著的影響，且男、女性右髖關節速度應為 1.61 ± 0.13 公尺/秒、 0.58 ± 0.19 公尺/秒；男、女性左髖關節速度應為 1.57 ± 0.13 公尺/秒、 0.69 ± 0.03 公尺/秒；男、女性左膝關節速度應為 1.95 ± 0.23 公尺/秒、 1.23 ± 0.26 公尺/秒；男、女性左膝關節角度應為 156.48 ± 3.59 度、 175.13 ± 3.10 度。
- (三)投擲角度與手榴彈瞬間速度對手榴彈投擲距離具有顯著的影響，且男、女性投擲角度應為 54.91 ± 1.63 度、 42.62 ± 1.87 度；男、女性手榴彈瞬間速度應為 18.55 ± 0.66 公尺/秒、 10.52 ± 0.37 公尺/秒。

二、建議

由研究得知，手榴彈投擲的動作要領在於身體旋轉的帶動、瞬間投擲角度以及加大投擲時的旋轉半徑等三大要素，因此建議往後在手榴彈投擲訓練中，可針對該三項要素練習，已達事半功倍之成效。

¹⁹ 同註 12

²⁰ 同註 2

Kinematics Analysis of the Grenade Throwers Who have Elite in Taiwan Army

Kuo-Yang Huang
Air Force Academy Instructor General's Office

Abstract

The purpose of the study is to explore the grenade score which was influenced on the angle of release, the velocity and angle of joints, and the velocity of grenade when the grenade was released in the moment. Masculine and feminine receiving training student from the specialized reserve officer class in Army Infantry School were selected as research participants for analyses. Kwon3D motion analysis system was used to analyze and obtain sport parameters. SPSS 12.0 for Windows were applied for statistical analyses. The descriptive statistics method and Pearson's product correlation were carried out to analyze parameters of Kinematics. Results are as follows:

1. The velocity of right wrist joints、the angle of right elbow joints、the angle of left shoulder joints and the angle of left elbow joints are significant with the distance of release ; the velocity of right hip joints、the velocity of left hip joints、the velocity of left knee joints and the angle of left knee joints are significant with the distance of release.
2. The angle of release and the velocity of grenade in the moment are significant with the distance of release.
3. According to the study that the grenade score is effected by the twisting body、the velocity of grenade in the moment and increasing radius of twisting body. By result of this study increasing training in the twisting body、the velocity of grenade in the moment and increasing radius of twisting body will gain more the grenade score than before.

Key words : Grenade, Motion analysis, Kinematics.