

舉重抓舉與挺舉成功與失敗對地面反作用力之比較

鍾寶弘¹、王嗣閔¹、陳瑞蓮²、徐敬亭¹、何維華^{1*}

¹臺北市立大學運動器材科技研究所

²臺北市立大學陸上運動學系

摘要

目的：利用符合舉重運動特性的單軸測力平台，探討菁英選手在抓舉與挺舉時，成功與失敗地面反作用力參數之差異。**方法：**11 名大專舉重選手為本研究參與者。參與者進行符合正式比賽規定的抓舉與挺舉動作時，雙腳需分別站立於長 2 公尺寬 1 公尺的舉重專用測力平台。每位參與者先完成抓舉再進行挺舉，每次試舉過程利用測力平台收集地面反作用力，並計算各階段力量峰值、發力率、壓力中心前後位移、雙腳寬度距離、右腳力量比例，再進行差異比較。**結果：**成功抓舉在第一拉期力量峰值、接槓時間顯著大於失敗；高比例的參與者，在接槓期力量峰值亦小於失敗。成功挺舉在上搏接槓期力量峰值顯著小於失敗。**結論：**失敗最高的階段發生在接槓期。抓舉應提高第一拉期的力量，以爭取更多接槓時間。接槓期應減少負荷力量；在上挺接槓分腿支撐時，可將槓鈴與壓力中心向後移動，並維持壓力中心接近於雙腳跨距中間偏前的位置。舉重專用測力平台能全程給予選手發力方式的回饋，有利於修正技術。

關鍵詞：壓力中心、發力率、雙腳寬度

壹、緒論

正式舉重比賽分為抓舉 (snatch) 與挺舉 (clean & jerk) 二個項目，並由二個項目成功舉起最高重量的總合做為成績排名的依據。抓舉是利用全身強大的爆發力，且在試舉過程不能暫停的情況下，將槓鈴由地面拉起，接著快速下蹲至槓鈴下方，雙手打直將槓鈴支撐起的運動 (蔣明雄, 2017)。挺舉與抓舉不同，是由上搏 (clean) 與上挺 (jerk) 二種舉重動作結合而成，上搏階段是將槓鈴由地面拉起後放置頸前架槓，接著上挺階段是待調整姿勢與節奏後，以全身強大的爆發力將槓鈴向上推起 (邱宏達等, 2004)。

舉重看似靠著強大力量就能完成的動作，實則不然。過程中包含許多細微的技巧，若稍

*通訊作者：何維華 Email: howeihua@gmail.com

地址：111036 台北市士林區忠誠路二段 101 號

有閃失都會使失敗的機率大大提升 (蔣明雄等, 2004)。當比賽過程發生試舉失敗時, 即代表喪失了一次計算成績的機會, 且由於全身已經發力進行試舉動作, 在規則限定的 2 分鐘短暫休息時間內也不易立即恢復, 也會對下一次試舉產生負面影響。過去研究指出, 想要順利完成抓舉, 需要提高全身的發力率, 即是以最快的速度增加地面反作用力, 尤其在第二拉期, 過程中槓鈴亦需貼近身體, 才可提升成功的機會 (Lee et al., 2019)。這是因為抓舉過程中無法暫停調整姿勢, 若選手沒有足夠的爆發力增加槓鈴垂直的高度, 會導致選手接槓時沒有空間完成接槓, 使重心容易靠前發生失敗 (Nagao et al., 2020)。舉重的發力率可參考作為判斷選手當天競技狀態好壞的一項重要指標, 在 16 周的訓練後可明顯提升 (Zaras et al., 2021)。挺舉的上搏動作與抓舉二者在動作模式與生物力學上較為相似 (Kipp & Meinerz, 2017), 但因抓握寬度較窄, 所以上搏比起抓舉可以拉起更重的重量 (DeWeese et al., 2012)。更重的重量, 代表選手需產生更大的力量完成試舉, 伴隨的是失敗的機率也會增加。因為隨著挺舉試舉重量的增加, 地面反作用力會逐漸上升, 甚至會到達體重的 6 倍 (Shalmanov & Skotnikov, 2020); 同時, 槓鈴的水平位移會越來越少, 意即若要增加挺舉成功的機會, 必須增加更多地面反作用力並且槓鈴必須貼近身軀 (Al-Khleifat et al., 2019)。

傳統在指導舉重選手時, 教練會以「雙腳寬度略寬於臀寬」、「腳尖方向朝外」此類基於經驗與觀察的建議要求選手在試舉過程注意, 但支持這些建議的證據有限 (Ho et al., 2014)。利用測力平台等研究工具, 過去研究針對與舉重分解動作有關的全蹲、踮腳蹲、座椅蹲與半蹲進行下肢動力學分析, 發現半蹲對於下肢關節的負荷較小且穩定, 隨著肌力的成長再進行全蹲動作可以降低下肢受傷風險 (翁梓林、廖建隆, 2017)。針對女子優秀舉重選手, 也可透過測力平台發現在抓舉時最大地面反作用力可達到身體體重的 3.17 至 3.19 倍, 並可觀察下肢是否有足夠的發力穩定性 (蔣明雄, 2015)。地面反作用力對於舉重來說是一個重要的動力學參數, 在進行挑戰人類極限的舉重過程中, 若選手動作技巧不純熟, 抑或是對自身當天狀況的好壞不夠了解狀況下, 進行槓鈴加重, 往往會導致失敗的機率上升, 嚴重則造成選手發生運動傷害。因此本研究希望秉持運動科學輔助訓練的精神, 透過科學化儀器重要參數的回饋, 建置選手在舉重過程正確的動作模式。期望能在訓練過程精準的觀察選手的即時狀態, 適當的調整訓練強度與訓練量, 達到成績進步, 同時預防運動傷害的效果。

挺舉較抓舉能舉起更重的重量, 對於比賽勝負的影響也較大, 但過去對於以測力平台進行挺舉的動力學相關研究卻較抓舉少, 其原因在於現有測力平台尺寸的限制。目前市售大多數的測力平台的尺寸較小, 無法進行包含分腿動作在內的挺舉之全程資料收集。本研究針對舉重運動全程動作自行開發舉重專用測力平台, 此平台的設計與正式舉重訓練台一致, 感測區域前後長 2 公尺, 左右寬 1 公尺, 且平台四周均有與平台等高的專業防護地墊, 舉重選手能在此平台進行與平常相同的實際訓練。平台並分為左右兩側搭配自行開發軟體, 可分別測量抓舉與挺舉全程左腳與右腳正向力的變化, 解決了挺舉分腿上挺時雙腳超出測力範圍的問題。綜合上述, 本研究目的更希望透過自行開發舉重專用測力平台, 在不刻意操弄試舉重量的選手平時訓練過程中, 觀察抓舉與挺舉各階段動力學參數的變化, 並比較成功與失敗試舉

在各項動力學參數的差異。透過成功與失敗力學參數的對比，可以找出哪種力學參數才是成功試舉的較佳模式。未來並可將測力平台與得到的較佳模式，應用於舉重平時的實際訓練，作為修正技術的參考。

貳、方法

一、研究對象

本研究招募 11 名大專現役舉重菁英選手，包括 7 名男性、4 名女性。平均年齡： 21.4 ± 1.2 歲、身高： 168.1 ± 7.5 公分、體重： 83.8 ± 18.8 公斤。菁英選手之定義為二年內曾參加全國舉重比賽並有獲得名次者，選入條件為實驗日期前六個月沒有足以影響舉重動作之上肢及下肢重大傷害，且目前持續有規律訓練者。在實驗前須詳知實驗流程，並簽署同意書與填寫個人基本資料，包括慣用側（經調查後慣用側均為右側）、近二年訓練與參賽記錄等，以確認符合本研究之選入條件。本研究通過臺北市立大學人體研究倫理委員會審查通過（通過編號：IRB-2018-033）。

二、研究工具

本研究使用自行開發單軸測力平台（如圖 1 所示）進行舉重全程地面反作用力的測量。感測區域前後長 2 公尺，左右寬 1 公尺，且平台四周均有與平台等高的專業防護地墊。透過自行開發的程式先將 16 組力感測元件的原始電壓訊號進行 6Hz 的低通濾波以消除雜訊，再將電壓訊號轉換為力量訊號（單位：kgw），取樣頻率為 1000Hz。本測力平台可分別計算出左側與右側垂直地面反作用力的變化，並透過各感測元件得到力量的比例，計算出前後方向與左右方向壓力中心的變化。



圖 1、自行開發之舉重專用測力平

三、研究流程

參與者全程皆在測力平台範圍完成抓舉與挺舉的訓練動作，選手會先進行舉重專項熱身。

熱身結束後，參與者會先進行輕重量的抓舉熱身，漸進式增加重量至完成一次全程動作。過程中同時收取資料，確保實驗儀器可以正常操作。

因本研究參與者皆為有豐富比賽經驗的選手，且測試期間正值重要國內賽的前 1 個月，所以選手會依照當天自覺能力自行選定開把重量，並進行後續加重嘗試達到自己最佳紀錄。實驗比照正式比賽流程，首先完成抓舉 3 次，完成後休息 10 分鐘再完成 3 次挺舉，每次試舉之間休息 2 分鐘。試舉成功與失敗是由具有中華民國舉重協會 C 級舉重裁判資格的裁判員進行評判。依據中華民國舉重協會舉重規則，判定成功的條件為：參與者以一連貫動作將槓鈴拉離地面，至兩臂完全伸直於頭頂以上；重量舉起後至保持最後不動姿勢，必須臂和腿伸直，兩腳站立在同一條線上；當身體各部分均已完全靜止，並由裁判說「完成」後，始得將槓鈴放回地面。否則，即被判定為失敗。

四、資料處理

首先將 11 位參與者測力平台數據分為抓舉與挺舉，再依據裁判評判結果分為成功與失敗試舉。失敗的代表資料是選取 3 次試舉後發生第 1 次失敗的資料，而成功的代表資料則是選取 3 次試舉後最後 1 次成功的資料，再進行成功與失敗的比較。

本研究透過自行開發的舉重專用測力平台進行抓舉與挺舉地面反作用力的收集。地面反作用力參考 Souza 等 (2002) 的分期與參數定義方式，將發力階段分成第一拉期 (first pull)、轉換期 (unweighted)、第二拉期 (second pull)，而在發力階段之後則為接槓期 (catching)。如圖 2 所示，抓舉的第一拉期峰值為地面反作用力開始大於參與者淨體重後，出現的第 1 次峰值；第二拉期峰值為達到最低點後開始上升出現的第 2 次峰值；接槓期峰值為身體完全離地 (地面反作用力減為 0) 到再觸地 (地面反作用力再次大於 5 kgw) 後，地面反作用力從 0 急速上升出現的第 1 次峰值。

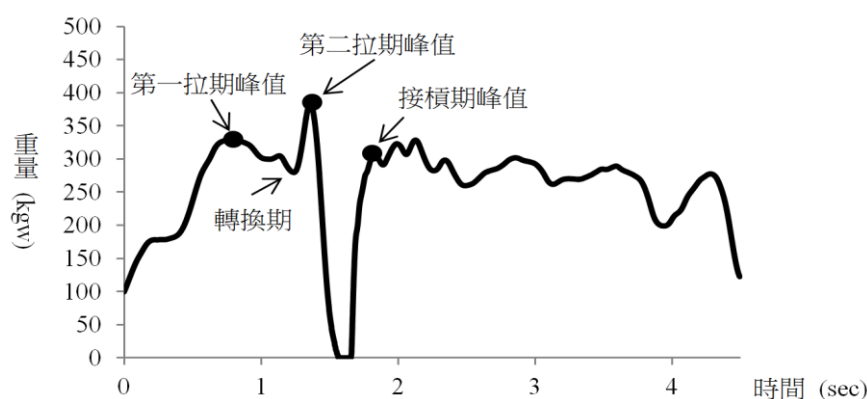


圖 2、抓舉地面反作用力分期圖

如圖 3 所示，挺舉上擡階段的第一拉期峰值為地面反作用力開始大於參與者淨體重後，出現的第 1 次峰值；第二拉期峰值為達到最低點後開始上升出現的第 2 次峰值；接槓期峰值為身體完全離地（地面反作用力減為 0）到再觸地（地面反作用力再次大於 5 kgw）後，地面反作用力從 0 急速上升出現的第 1 次峰值；在下蹲接槓後，地面反作用力會再次上升。上挺階段分期，上推期峰值為停止預蹲並再次向上推槓，直到地面反作用力達到第 1 次峰值；接槓期峰值為身體完全離地（地面反作用力減為 0）進行快速分腿動作，到再觸地（地面反作用力再次大於 5 kgw）後，地面反作用力從 0 急速上升出現的第 1 次峰值。在進行分期後，再找出並計算各分期的力量峰值、標準化力量峰值、發力階段作用於槓鈴的發力率 (rate of force development)、接槓期承受槓鈴重量的負荷率 (loading rate)、雙腳寬度距離、壓力中心前後移、右腳力量比例、接槓時間等動力學與運動學參數，計算方式如表 1 所示。

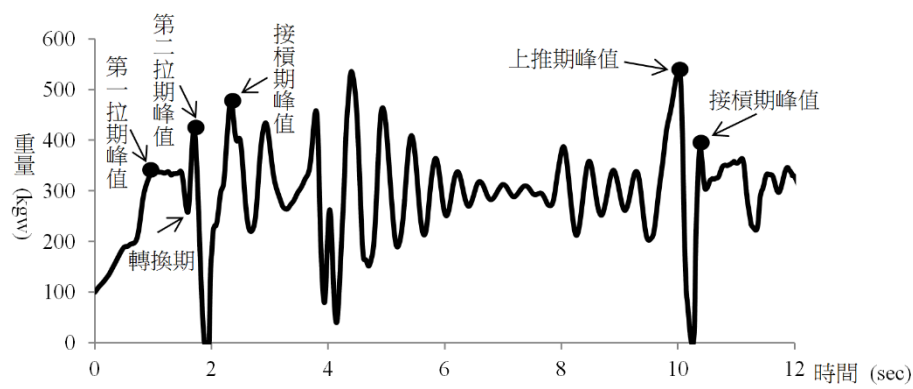


圖 3、挺舉地面反作用力分期圖

表 1、舉重動力學與運動學參數與計算方式

參數	計算方式	單位
力量峰值	vGRF 最大值	kgw
標準化力量峰值	vGRF 最大值/(BW+BAR)	倍
發力率 (接槓期負荷率)	$(vGRF_{i+1}-vGRF_{i-1})/2t$	kgw/sec
雙腳寬度 (圖 4)	X_R-X_L	mm
壓力中心前後位移 (圖 4)	Y_i-Y_0	mm
右腳力量比例	$vGRF_R/vGRF_{Total}$	%
接槓時間	接槓期峰值時間點-再觸地時間點	sec

註：vGRF (vertical ground reaction force) 為垂直地面反作用力；BW (body weight) 為體重；BAR 為槓鈴重量； $vGRF_{i+1}$ 為第 i 筆的後 1 筆垂直地面反作用力； $vGRF_{i-1}$ 為第 i 筆的前 1 筆垂直地面反作用力；t 為取樣時間； X_R 為右腳壓力中心左右 X 軸座標； X_L 為左腳壓力中心左右 X 軸座標； Y_i 為第 i 筆全身壓力中心前後 Y 軸座標； Y_0 為全身壓力中心前後起始 Y 軸座標； $vGRF_R$ 為右腳地面反作用力； $vGRF_{Total}$ 為全身地面反作用力。

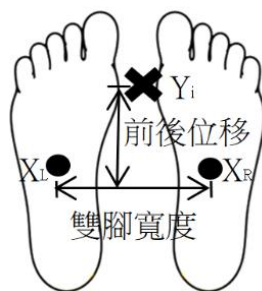


圖 4、雙腳寬度與壓力中心前後位移示意圖 (參數定義請參考表 1 附註)

五、統計分析

以 SPSS 26.0 Windows 版進行統計分析。首先將所得數值以平均數 \pm 標準差進行描述性統計，再以相依樣本 t 檢定比較成功與失敗在抓舉與挺舉各階段的動力學與運動學參數之差異，顯著水準訂為 $\alpha = .05$ 。若達顯著差異，並會進行 Cohen's d 效果量 (ES, effect size) 的計算，以呈現量化現象的強度。

參、結果

抓舉成功與失敗動力學、運動學參數比較表分別如表 2、表 3 所示，其中 1 位參與者在 3 次試舉沒有失敗，因此最後分析人數為 10 位。抓舉的第一拉期標準化力量峰值成功顯著大於失敗 ($p = .012$, ES = 0.25)，接槓期接槓時間也顯著大於失敗 ($p = .014$, ES = 0.88)。所有運動學參數皆未達統計上的差異。

表 2、抓舉成功與失敗動力參數比較表 (n = 10)

	成功	失敗	t 值	p 值
第一拉期				
力量峰值 (kgw)	244.0 \pm 69.2	244.9 \pm 71.3	-0.467	.652
標準化力量峰值 (倍)	1.29 \pm 0.08	1.27 \pm 0.08	3.145	.012*
發力率 (kgw/sec)	962.5 \pm 530.2	1030.0 \pm 428.0	-0.420	.684
右腳比例 (%)	52.8 \pm 2.3	52.4 \pm 2.2	1.000	.343
第二拉期				
力量峰值 (kgw)	288.6 \pm 73.3	288.1 \pm 71.8	0.115	.911
標準化力量峰值 (倍)	1.54 \pm 0.10	1.50 \pm 0.09	1.524	.162
發力率 (kgw/sec)	1723.0 \pm 434.5	1653.0 \pm 553.0	0.628	.546
右腳比例 (%)	50.7 \pm 3.0	51.2 \pm 3.6	-1.103	.299

接槓期				
力量峰值 (kgw)	262.9 ± 64.3	265.7 ± 57.4	-0.216	.834
標準化力量峰值 (倍)	1.41 ± 0.16	1.40 ± 0.18	0.033	.975
負荷率 (kgw/sec)	3933.0 ± 1293.5	4043.5 ± 1293.5	-0.471	.649
右腳比例 (%)	49.3 ± 4.4	47.0 ± 5.4	1.484	.172
接槓時間 (sec)	0.38 ± 0.10	0.30 ± 0.08	3.029	.014*

註：*表示達顯著差異 $p < .05$ 。

表 3、抓舉成功與失敗運動學比較表 (n = 10)

	成功	失敗	t 值	p 值
第一拉期				
壓力中心前後 (mm)	NA	NA	NA	NA
雙腳寬度 (mm)	457.4 ± 41.1	456.0 ± 34.9	0.341	.741
第二拉期				
壓力中心前後 (mm)	14.4 ± 14.0	9.6 ± 35.9	0.592	.568
雙腳寬度 (mm)	464.7 ± 39.3	459.2 ± 32.3	0.816	.435
接槓期				
壓力中心前後 (mm)	-82.2 ± 40.8	126.4 ± 156.3	0.870	.407
雙腳寬度 (mm)	532.2 ± 111.7	528.3 ± 142.7	0.157	.879

註：NA 表示為初始值未進行比較。

挺舉成功與失敗動力學、運動學參數比較表分別如表 4、表 5 所示，其中 7 位參與者失敗發生在上搏階段，4 位發生在上挺階段，因此分別與該名參與者在該階段之前的成功參數進行比較。挺舉的上搏階段接槓期力量峰值成功顯著小於失敗 ($p = .044$, $ES=0.30$)。基於此一結果，並考量到本研究因招募對象為舉重菁英選手有人數的限制。若以個別比較抓舉接槓期力量峰值的差異，亦可發現 10 位參與者有 8 位的成功接槓期力量峰值小於失敗。挺舉的上搏階段第二拉期壓力中心前後位移 ($p = .065$, $ES = 0.90$)、接槓期雙腳寬度 ($p = .070$, $ES = 0.28$)，以及上挺階段接槓期前腳比例 ($p = .056$, $ES = 0.51$) 雖然因人數未達顯著差異，但仍可以看出成功數值小於失敗的趨勢。

表 4、挺舉成功與失敗動力學參數比較表

	成功	失敗	<i>t</i> 值	<i>p</i> 值
上擡 (n=7)				
第一拉期				
力量峰值 (kgw)	278.5 ± 72.8	297.6 ± 82.8	-1.558	.163
標準化力量峰值 (倍)	1.22 ± 0.84	1.28 ± 0.22	-.980	.360
發力率 (kgw/sec)	1127.6 ± 684.2	1246.4 ± 951.2	-0.590	.574
右腳比例 (%)	51.4 ± 2.2	50.1 ± 1.1	1.213	.265
第二拉期				
力量峰值 (kgw)	329.3 ± 82.8	335.0 ± 81.3	0.969	.365
標準化力量峰值 (倍)	1.44 ± 0.08	1.44 ± 0.14	.241	.816
發力率 (kgw/sec)	1630.0 ± 604.4	2155.0 ± 1028.0	-1.711	.131
右腳比例 (%)	52.0 ± 3.1	51.4 ± 5.0	0.544	.603
接槓期				
力量峰值 (kgw)	370.1 ± 92.2	398.8 ± 95.8	-2.445	.044*
標準化力量峰值 (倍)	1.62 ± 0.14	1.66 ± 0.15	-.556	.595
負荷率 (kgw/sec)	4111.3 ± 1689.0	4374.4 ± 1655.8	-2.212	.063
右腳比例 (%)	52.5 ± 2.6	52.5 ± 2.8	0.000	1.000
接槓時間	0.38 ± 0.14	0.42 ± 0.08	-0.847	.425
上挺 (n = 4)				
上推期				
力量峰值 (kgw)	397.0 ± 84.1	406.0 ± 80.8	-0.683	.532
標準化力量峰值 (倍)	1.81 ± 0.10	1.77 ± 0.83	1.226	.288
發力率 (kgw/sec)	1909.0 ± 706.6	2257.0 ± 646.9	-1.656	.173
前腳比例 (%)	50.2 ± 2.3	51.2 ± 3.8	-.659	.546
接槓期				
力量峰值 (kgw)	308.4 ± 71.0	297.2 ± 68.6	1.226	.288
標準化力量峰值 (倍)	1.35 ± 0.08	1.28 ± 0.08	1.500	.208
負荷率 (kgw/sec)	5856.0 ± 1891.0	6026.0 ± 1158.7	-.334	.755
前腳比例 (%)	52.2 ± 4.1	54.4 ± 4.5	-2.667	.056
接槓時間	0.18 ± 0.12	0.12 ± 0.01	1.077	.342

註：*表示達顯著差異 $p < .05$ 。

表 5、挺舉成功與失敗運動學參數比較表

	成功	失敗	<i>t</i> 值	<i>p</i> 值
上搏 (n = 7)				
第一拉期				
壓力中心前後 (mm)	NA	NA	NA	NA
雙腳寬度 (mm)	459.9 ± 47.4	457.9 ± 44.7	0.270	.795
第二拉期				
壓力中心前後 (mm)	-8.0 ± 52.0	27.4 ± 19.7	-2.189	.065
雙腳寬度 (mm)	461.6 ± 44.5	454.4 ± 32.5	1.105	.306
接槓期				
壓力中心前後 (mm)	-59.8 ± 63.8	-37.40 ± 64.3	-0.837	.430
雙腳寬度 (mm)	545.3 ± 73.2	566.8 ± 77.9	-2.141	.070
上挺 (n = 4)				
上推期				
壓力中心前後 (mm)	NA	NA	NA	NA
雙腳寬度 (mm)	508.4 ± 47.1	506.0 ± 53.4	.161	.880
接槓期				
壓力中心前後 (mm)	-63.6 ± 72.7	137.8 ± 103.1	1.242	.282
雙腳寬度 (mm)	472.8 ± 69.3	457.0 ± 90.3	.516	.633

註：*表示達顯著差異 $p < .05$ ；NA 表示為初始值未進行比較。

肆、討論

本研究以自行開發的舉重專用測力平台比較抓舉與挺舉地面反作用力參數的差異。首先可以發現，抓舉與挺舉在動作過程的失敗皆發生在接槓期，與過去文獻相符合 (陳贊仰、相子元，2016；Nagao et al., 2020)。抓舉成功的第一拉期力量峰值標準化後顯著高於失敗。過去研究指出，造成抓舉失敗的主要原因在於第一拉期的速度過慢影響後續階段的發力，導致槓鈴沒有足夠的上升空間來完成接槓 (莊銘修等，2012)。優秀的女子舉重選手，提鈴期最大發力率大概都發生在 1 秒左右，瞬間能將力量爆發出來的選手，比賽成績會較佳 (陳瑞蓮等，2010)。在抓舉接槓時間也發現成功顯著長於失敗，接槓時間的長短也能反映選手是否有足夠的空間與時間鑽入槓鈴下方完成支撐。過去研究也指出，在抓舉時減少槓鈴上升到最高點後下降的距離，能夠提升更多的成功機會 (Nagao et al., 2020)。另外，可以觀察到在抓舉與挺舉上搏的接槓期雙腳寬度都會大於第一拉期、第二拉期。過去研究指出，較窄的雙腳寬度能顯著增加股四頭肌力量，而較寬的雙腳寬度則是顯著增強腿後肌群之力量 (Sinclair et al., 2022)。較大的雙腳寬度代表選手在接槓期，能有更多的下蹲空間完成接槓，進而提升成功的機會。抓舉為左右平衡的動作，動作過程稍有閃失都會導致失敗甚至於受傷。本研究參與者均為訓

練經驗豐富的舉重選手，所以統計結果看不出成功與失敗在左右腳發力與支撐的差異。但仍可發現多數選手在發力階段仍習慣使用右腳（慣用腳）產生較多的力量，但在接槓時仍會接近左右腳各 50% 的支撐力量。膝關節為舉重常見發生運動傷害的部位 (Aasa et al., 2017)，本研究發現在高負荷時，雙腳產生的力量或有不平衡的現象，未來研究亦可探討高負荷下不平均的施力方式，是否會增加運動傷害的風險。

挺舉的上擡階段接槓期力量峰值成功顯著小於失敗，但在第一拉期、第二拉期未達顯著差異。雖然挺舉接槓期的力量峰值在統計沒有差異，但考慮到測試對象為菁英舉重選手的人數限制，亦進行參與者個別比較的次數分配後發現，10 位發生失敗的參與者，亦有 8 位的挺舉成功接槓期力量峰值小於失敗。上述發現可以證明，減少接槓期負荷力量是重要的技術指標。Shalmanov 與 Skotnikov (2020) 指出，選手若在上擡第一拉期用力過大，會產生更多水平的力量與槓鈴位移。在接槓期也需承受更多力量完成接槓，導致更多的體能消耗，使得下一次試舉時增加槓鈴水平位移，失敗的機率也因此上升 (Winchester et al., 2005)。挺舉的槓鈴重量比抓舉更重，對比賽勝負的影響也更大。隨著槓鈴重量增加，更應專注於上擡第二拉期的發力，並施加槓鈴更多向後的力量 (Kipp & Meinerz, 2017)。Hardee 等 (2013) 也指出，在上擡階段向後跳是較好的發力模式，可以更有效地提高功率的輸出，且對於後續接槓也會更為穩定。在本研究發現，成功試舉的上擡階段第二拉期壓力中心前後位移是向後 8 mm，而失敗則是向前 27.4 mm，也證明向後發力以提升槓鈴是較好的技術。成功試舉的上擡階段接槓期雙腳寬度略小於失敗，推測可能是失敗時上擡發力階段力量過大，導致接槓期力量峰值也顯著大於成功，選手需要增加雙腳寬度，以完成下蹲至槓鈴下方接槓之動作。較大的雙腳寬度也代表後續上挺階段的發力將更為分散，導致下肢力量的消耗增加，完成上挺動作將更為困難 (Paoli et al., 2009)。

挺舉上挺階段在上推期的動力學參數沒有差異，代表選手進行上推動作的力量控制相當精準。過去研究也指出，選手在上挺時，槓鈴軌跡不會因為槓鈴重量越重而下蹲得越多，對於預蹲深淺的控制相當精確 (陳葦綾, 2007)。本研究認為，上挺接槓發生失敗的原因，多是在雙腳細微的寬度距離、壓力中心前後位移與前後腳力量比例的差異性。成功挺舉接槓期壓力中心前後位移是向後 63.6 mm，而失敗則是向前 137.8 mm，成功比失敗有更多向後的壓力中心位移。接槓期前腳會較後腳有稍大的支撐力量，但也不能過大。若前後腳支撐力不平均，可能造成壓力中心靠前，使前腳受力過多，增加槓鈴向前掉落的機率。

地面反作用力對於舉重來說是一個重要的動力學參數。舉重又是追求人類力量極致表現，並展現平衡的運動，若在過程中稍有閃失都會增加失敗的風險。本研究為增加實務應用，實驗設計是以模擬真實比賽的方式進行，不刻意操弄參與者試舉重量。參與者的選取條件為有兩年內比賽經驗且正在備戰的菁英選手，也導致了部分重要參數成功與失敗未達顯著差異，但仍可從次數分配看出大多數人的趨勢。透過本研究可以發現，在抓舉與挺舉上擡第二拉期時，應專注於向後發力。不論抓舉或挺舉，雙腳發力與支撐力量應平均。而接槓期有較小的

支撐力量，代表著有較好的技術。過去在舉重訓練時，教練受限於設備並需要同時指導多位選手，往往僅能給予口頭的指導。但或許因太過抽象，導致雙方在溝通上有理解的盲區。若未來在平時訓練時，教練能搭配本研究的舉重專用測力平台，並以重要參數給予選手口頭與視覺的同時回饋。如此，更能讓選手快速的了解動作過程產生技術缺失，並立即針對本身動作進行調整，就可達到精準運科服務選手與教練的目標，提升選手表現，並且降低運動傷害的風險。

伍、結論

抓舉與挺舉發生失敗皆在接槓期。抓舉在第一拉期就應產生相對於槓鈴重量較大的力量，以便將槓鈴提升至適當高度，有利於爭取更多接槓空間。接槓時雙腳應跳開使得雙腳寬度大於發力階段，並保持雙腳支撐力量的平衡。以便爭取更多的接槓時間，並減少接槓期支撐的力量。

挺舉在上搏階段開始不宜用力過大，且第二拉期應將槓鈴與壓力中心向後移動；與抓舉不同，上搏階段的接槓期為過渡階段，因此雙腳寬度不宜過寬，才能有利於減少接槓期支撐的力量，對於後續上挺階段上推動作的發力也較有利。上挺階段應著重在支撐期，在分腿支撐時將槓鈴與壓力中心向後移動，並維持壓力中心接近於雙腳跨距中間偏前的位置。

陸、實務應用

本研究針對舉重運動開發的專用測力平台，能滿足全程記錄抓舉與挺舉地面反作用力的需求，並可計算出各階段力量峰值、發力率、左右腳力量比例、接槓時間、壓力中心前後移動與雙腳寬度等參數，並證明了這些參數是與舉重成功的試舉有關聯性。未來可將本測力平台應用於舉重選手平時訓練，以監控選手在抓舉時，是否能產生較大的第一拉期力量，在接槓期也能有較大的雙腳寬度、左右較平均的施力支撐，以及較小的支撐力量；在挺舉時，是否在第二拉期與分腿支撐時，壓力中心能向後移動，最後維持在雙腳跨距中間位置。未來舉重測力平台，亦可搭配攝影機同步進行動作修正，並能在訓練具體的給予實際數值的回饋，作為觀察當天體能好壞的指標。以科學化數據精準的調整訓練負荷，更能提高訓練效果，並且避免運動傷害。對於失敗率較高的接槓期，也可透過本測力平台的數值回饋，配合教練設計將接槓動作獨立安排成訓練動作，達到精進接槓動作技術的目的。

利益衝突

本研究無任何利益衝突。

致謝

本研究感謝國家科學及技術委員會計畫編號 NSTC-112-2425-H845-002 的支持。

引用文獻

- 邱宏達、吳再富、王信淵 (2004)。女子舉重選手挺舉預蹲至上挺發力之運動學分析。 *教練科學*，4，1-11。
- 翁梓林、廖建隆 (2017)。動態蹲型態對下肢生物力學之影響。 *運動表現期刊*，4(1)，43-51。
- 莊銘修、張立羣、王信淵 (2012)。抓舉試舉成功與失敗動作之槓鈴運動學分析。 *華人運動生物力學期刊*，7，1-4。
- 陳瑞蓮、陳淑枝、黃達德 (2010)。大專女子舉重選手抓舉與挺舉提鈴期之動力學分析。 *華人運動生物力學期刊*，2，64-69。
- 陳葦綾 (2007)。 *挺舉上挺預蹲深淺高度之研究-以陳葦綾為例* [未出版碩士論文]。國立體育大學。
- 陳贊仰、相子元 (2016)。舉重失敗關鍵期之分析。 *運動表現期刊*，3(1)，15-21。
- 蔣明雄 (2015)。優秀女子舉重選手抓舉之動力學探討-個案分析。 *運動表現期刊*，2(2)，49-51。
- 蔣明雄 (2017)。大專優秀女子舉重選手抓舉動作技術之研究。 *成大體育學刊*，49(1)，19-33。
- 蔣明雄、盧素娥、鴻宗穎 (2004)。舉重抓舉提鈴期至發力期槓鈴中心運動學特徵之研究。 *運動教練科學*，41，23-30。
- Aasa, U., Svartholm, I., Andersson, F., & Berglund, L. (2017). Injuries among weightlifters and powerlifters: A systematic review. *British Journal of Sports Medicine*, 51(4), 211-219.
- Al-Khleifat, A. I., Al-Kilani, M., & Kilani, H. A. (2019, September 11-13). *Biomechanics of the clean and jerk in weightlifting national Jordanian team*. 8th International Workshop and Conference of the International Society of Performance Analysis of Sport, Budapest, Hungary. https://rua.ua.es/dspace/bitstream/10045/100411/1/JHSE_14_Proc5_58.pdf
- DeWeese, B. H., Serrano, A. J., Scruggs, S. K., & Sams, M. L. (2012). The clean pull and snatch pull: Proper technique for weightlifting movement derivatives. *Strength and Conditioning Journal*, 34(6), 82-86.
- Hardee, J. P., Lawrence, M. M., Zwetsloot, K. A., Triplett, N. T., Utter, A. C., & McBride, J. M. (2013). Effect of cluster set configurations on power clean technique. *Journal of Sports Sciences*, 31(5), 488-496.
- Ho, L. K., Lorenzen, C., Wilson, C. J., Saunders, J. E., & Williams, M. D. (2014). Reviewing current knowledge in snatch performance and technique: The need for future directions in applied research. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(2), 574-586.
- Kipp, K., & Meinerz, C. (2017). A biomechanical comparison of successful and unsuccessful power clean attempts. *Sports Biomechanics*, 16(2), 272-282.
- Lee, S., DeRosia, K. D., & Lamie, L. M. (2019). Determining the best combination of ground reaction force parameters for maximising power during the power snatch. *International*

Journal of Performance Analysis in Sport, 19(3), 313-322.

- Nagao, H., Huang, Z., & Kubo, Y. (2023). Biomechanical comparison of successful snatch and unsuccessful frontward barbell drop in world-class male weightlifters. *Sports Biomechanics*, 22(9), 1120-1135.
- Paoli, A., Marcolin, G., & Petrone, N. (2009). The effect of stance width on the electromyographical activity of eight superficial thigh muscles during back squat with different bar loads. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(1), 246-250.
- Souza, A. L., Shimada, S. D., & Koontz, A. (2002). Ground reaction forces during the power clean. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 16(3), 423-427.
- Shalmanov, A. A., & Skotnikov, V. F. (2020). Classic weightlifting clean-and-jerk style: Ground response and bar control biomechanics analysis. *Theory and Practice of Physical Culture*, 6, 28-30.
- Sinclair, J., Taylor, P. J., Jones, B., Butters, B., Bentley, I., & Edmundson, C. J. (2022). A multi-experiment investigation of the effects stance width on the biomechanics of the barbell squat. *Sports*, 10(9), 136-150.
- Winchester, J. B., Erickson, T. M., Blaak, J. B., & McBride, J. M. (2005). Changes in bar-path kinematics and kinetics after power-clean training. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(1), 177-183.
- Zaras, N., Stasinaki, A. N., Spiliopoulou, P., Arnaoutis, G., Hadjicharalambous, M., & Terzis, G. (2020). Rate of force development, muscle architecture, and performance in elite weightlifters. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 16(2), 216-223.

Comparisons of ground reaction force between successful and unsuccessful lifts in snatch and clean-and-jerk in weightlifting

Paohung Chung¹, Simin Wang¹, Juilien Chen², Chingting Hsu¹, Weihua Ho^{1*}

¹Graduate Institute of Sports Equipment Technology, University of Taipei, Taipei, Taiwan.

²Department of Athletics, University of Taipei, Taipei, Taiwan.

Abstract

Purpose: To explore the differences in ground reaction force parameters between successful and unsuccessful lifts during the snatch and clean-and-jerk using an internally developed uniaxial force platform. **Methods:** Eleven elite college-level weightlifters were recruited in this study. They were asked to stand on a 2m×1m force platform to perform the snatch and clean-and-jerk with self-selected weights by following the official competition rules. The maximal total ground reaction force (vGRF), rate of force development, the center of pressure, feet distance, and force distribution of the right foot were calculated and compared across different phases. **Results:** In the snatch, the peak vGRF of the first pull and the catching time in successful lifts were significantly higher than in unsuccessful ones. Moreover, the peak vGRF of catching in successful lifts was lower than in unsuccessful lifts. In successful clean-and-jerk, the peak vGRF of catching during clean in successful attempts was lower than in unsuccessful lifts. **Conclusion:** The phase with the highest failure rate occurred during the catch phase. In the snatch, increasing the force during the first pull may allow for more time in the catching phase. It is also recommended that the loading force should be reduced during the catching phase. In the split jerk, results showed moving the barbell and the center of pressure backward while maintaining the center of pressure slightly forward of the midpoint between the feet can improve stability. It is recommended that during weightlifting training, the internally developed force platform serves as a valuable tool to provide feedback on biomechanical indicators such as force development and help coaches and athletes refine weightlifting techniques in real-time.

Keywords: Center of pressure, rate of force development, foot width.
