

女子舉重選手挺舉預蹲至上挺發力 之運動學分析

邱宏達¹、吳再富²、王信淵³

國立成功大學¹

永平工商²

國立台灣體育學院³

摘 要

挺舉 (clean and jerk) 是舉重比賽最後進行的項目，由於它握槓握距比抓舉窄，所以舉得比抓舉重，對舉重總成績有很大的影響。過去的研究發現，挺舉的失敗次數中以上挺 (jerk) 失敗所佔的比例較大，因此本研究以舉重基層訓練站兩名青年選手及兩名國家級優秀選手，參加九十二年全國青年盃暨國手選拔賽之挺舉上挺動作進行分析。本研究使用一台 60 Hz 高速攝影機 (JVC Dv19800u)，架設於舉重台右方距離選手 7.3 公尺處拍攝動作，並以 APAS 分析選手矢狀面上的運動學參數。由分析結果，青年選手在預蹲期髌膝關節較晚做減速，結果上挺發力期髌膝角最大伸展速度過大，造成衝槓過高，加上下蹲到最低點轉為上挺發力時，髌關節先行伸展，但膝關節卻仍做彎屈的動作，髌膝關節並未同時伸展，以致槓鈴產生較大的向前偏移，因而增加後續接槓的困難度。本研究雖僅以一次成功試舉的結果，來比較分析優秀選手與青年選手上挺動作技術的差異，但由分析比較的結果，仍舊可看出優秀與青年選手在某些髌膝關節運動參數表現的差異。本研究的方法可以作為分析舉重選手實際比賽情況時，上挺動作技術分析之參考。

關鍵字：挺舉、髌膝關節、偶聯角

壹、前言

挺舉 (clean and jerk) 可分為兩期，首先是快速連續地將槓鈴從地面提至胸上，此稱為上擡 (clean)；接著將槓鈴從胸前上挺至兩臂伸直，此稱為上挺 (jerk)。挺舉是舉重比賽最後進行的項目，由於它握槓握距比抓舉窄，所以舉得比抓舉重，對舉重總成績有很大的影響，當抓舉落後對手，利用挺舉挽回局勢的案例甚多。1997年中國全運會女子舉重比賽中，女子舉重九個級別的 108 名運動員挺舉失敗情況統計結果表示，每人三次試舉，共計 324 次，其中成功 199 次，失敗 125 次，失敗次數中，上擡失敗為 41 次，占失敗次數的 32.8%；而上挺失敗為 84 次，占失敗次數的 67.2%。可見上挺在挺舉比賽中，占極大的重要性(蘇園紅，1998)。

我國女子舉重選手的優點是腿部及腰部具有良好的爆發力，上擡與站起的動作完成較沒問題，但上挺動作則常功虧一簣，此應歸咎於技術動作的不確實，因而造成試舉失敗。國內有關舉重的研究並不多，而關於上挺動作技術之研究則更為缺乏，因此選手只能經由教練本身經驗學習及口頭告知錯誤的地方，選手無法理解動作錯誤之處，而此問題常年來一直困擾教練及選手。

本研究藉由基層訓練站青年選手與優秀選手於挺舉比賽中，預蹲至上挺發力之髖膝關節各項運動學參數進行分析與探討，並試圖找出評估選手上挺動作特性的最佳方法，希望藉由研究結果，有助於國內從事實務舉重訓練者與教學者更進一步的幫助與參考。

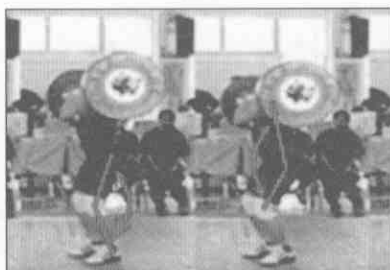
貳、研究方法

本研究以舉重基層訓練站兩名青年選手 A、C 及兩名優秀選手 B、D (基本資料如表一)，參加九十二年全國青年盃暨國手選拔賽之挺舉上挺動作進行分析。在挺舉的三次試舉中，取其成績最好的一次成功試舉作為分析的對象，其試舉重量及個人最佳挺舉成績如表一。在比賽過程中，以一台 60 Hz 高速攝影機 (JVC Dv19800u)，架設於舉重台左方距離選手 7.3 公尺處拍攝動作，拍攝的影片以 APAS (Ariel Performance Analysis System) 動作分析軟體進行影片數位化及訊號的修勻，分析的參數包含槓鈴的運動軌跡及選手髖膝關節在矢狀面上的運動學參數，如關節角度及角速度等。

表一：本研究受試者基本資料。受試者 A、C 為訓練站青年選手，
受試者 B、D 為國家級優秀選手

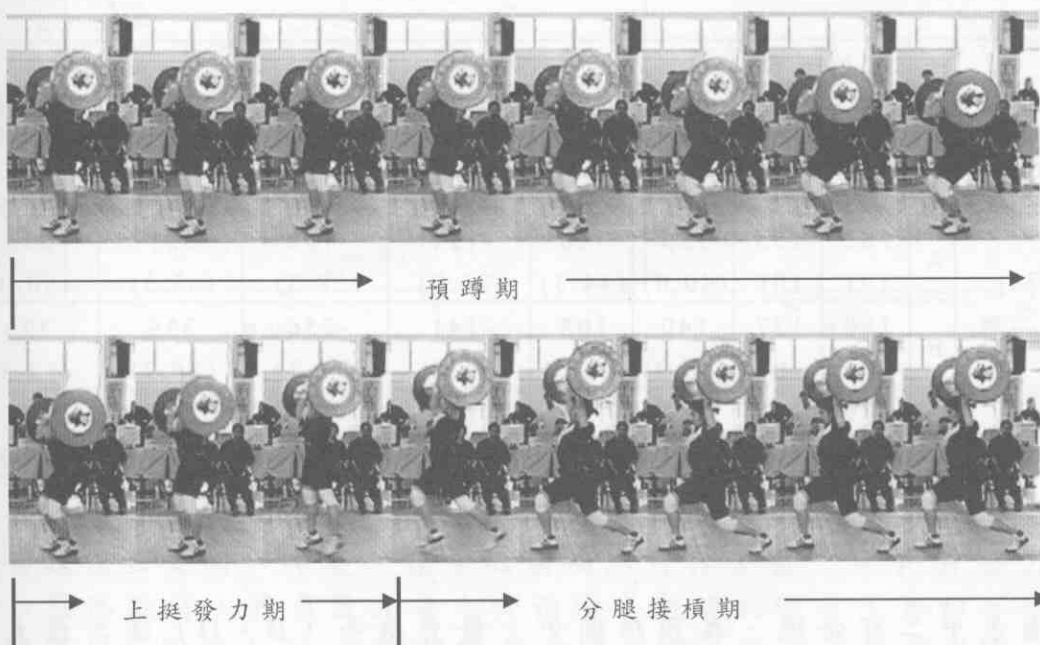
| 受試者 | 年齡 | 身高 (cm) | 體重 (kg) | 舉重 年齡 | 挺舉最佳成績 (kg) | 試舉重量 (kg) |
|-----|----|------------|------------|----------|----------------|--------------|
| A | 17 | 160 | 53 | 6 | 80.0 | 70 |
| B | 23 | 157 | 53 | 7 | 112.5 | 107.5 |
| C | 18 | 162 | 58 | 4 | 87.5 | 75 |
| D | 25 | 158 | 58 | 10 | 122.5 | 110 |

在本研究中，肩關節、髖關節與膝關節之夾角定義為髖關節角度，以下簡稱髖角；髖關節、膝關節與踝關節之夾角則定義為膝關節角度，以下簡稱膝角（如圖一）。雖然肩關節部位在預蹲至上挺發力過程中某些時期會被槓鈴擋到，但本研究影片數位化分析部份是由有經驗的舉重選手負責，其可根據槓鈴中心位置推測肩關節的位置，因此可將此誤差減到最低。



圖一：本研究髖關節角度（右圖）與膝關節角度（左圖）的定義。

一般上挺動作各階段可劃分為：預備姿勢、預蹲、上挺發力、下蹲支撐及起立（如圖二），預蹲期是由預備姿勢到膝角達最小值時，上挺發力期則是膝角最小值到伸展至兩腿分開時。由於預蹲至上挺發力動作的好壞會直接影響後續接槓的困難度，因此本研究探討的動作範圍僅限於由預蹲至上挺發力身體重心達最高點為止。此外，由於選手在預備姿勢時，其髖膝角不停在改變，本研究將預備姿勢定義為髖膝角同時變小的瞬間。過去相關研究將上挺預備姿勢定義為槓鈴重心向下運動的瞬間，但在預備下蹲前，槓鈴仍做小幅度的上下振動，因此選手身體重心向下運動瞬間，槓鈴不一定是向下移動。本研究以髖膝關節同時彎屈瞬間定義為下蹲開始，此時身體重心開始下降，且對選手認知而言，髖膝關節角度的變小應是下蹲動作的開始。

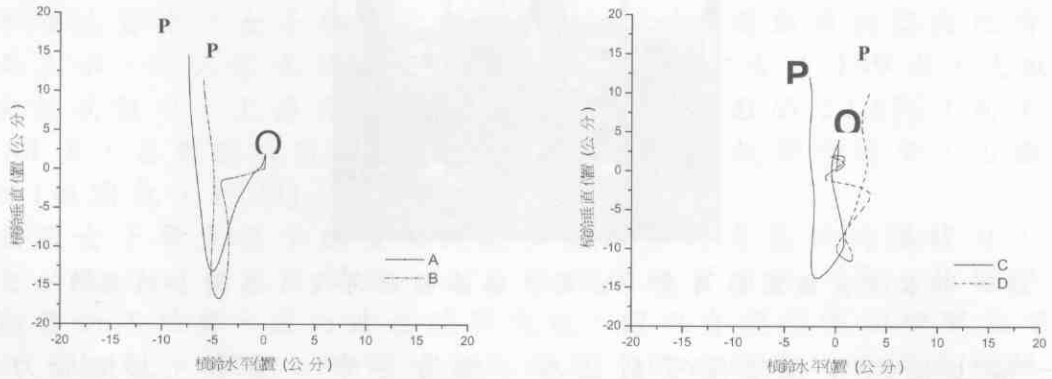


圖二：挺舉上挺動作連續圖。

參、結 果

一、槓鈴軌跡

由槓鈴軌跡可看出，優秀選手（B、D）從預蹲到上挺發力，槓鈴的水平偏移量都較青年選手小。而槓鈴的偏移方向，則除選手 D 的槓鈴往後偏移外，其餘三位選手的槓鈴都是往前偏移。



圖三：預蹲到上挺發力期之槓鈴軌跡圖（O 點為預蹲開始時，P 點為上挺發力重心達最高點時。預蹲開始槓鈴位置為 0，水平位置負值為前方，正值為後方）。

二、髖、膝關節運動學參數

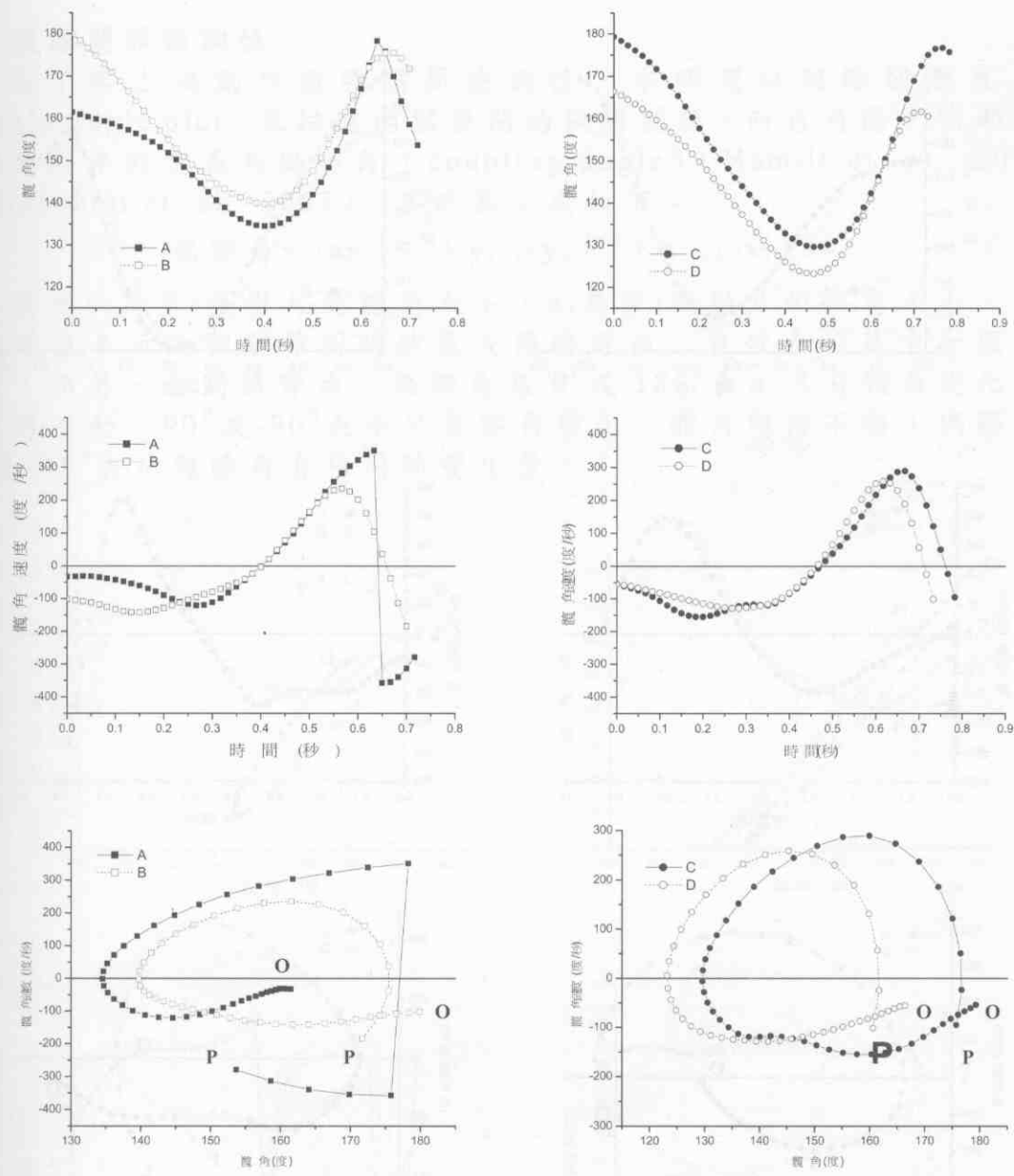
表二為四位選手預蹲到上挺發力，髖膝在某一特定時間點的參數，包含預備姿勢時的角度，預蹲期最小角度、最大彎屈角速度，上挺發力期最大伸展角速度等。

表二：四位選手預蹲上挺發力，膝髖關節運動學參數（括號內為發生時間，單位：ms）。

| 級別 | 選手 | 預備姿勢 | | 預蹲期 | | | | 上挺發力期 | |
|-------------|----|------------|------------|---------------|---------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| | | 髖角 (°) | 膝角 (°) | 最小髖角 (°) | 最小膝角 (°) | 髖角最大彎屈速度 (°/sec) | 膝角最大彎屈速度 (°/sec) | 髖角最大伸展速度 (°/sec) | 膝角最大伸展速度 (°/sec) |
| 53kg 第二級 | A | 162 (0) | 155 (0) | 135 (40.0) | 110 (44.3) | -121 (26.7) | -197 (28.3) | 351 (63.3) | 393 (60.0) |
| | B | 180 (0) | 177 (0) | 140 (40.0) | 108 (41.7) | -141 (15.0) | -256 (16.7) | 235 (56.7) | 390 (53.3) |
| 58kg 第三級 | C | 179 (0) | 180 (0) | 130 (46.7) | 101 (48.3) | -155 (18.3) | -245 (33.3) | 289 (66.7) | 451 (65.0) |
| | D | 166 (0) | 163 (0) | 123 (46.7) | 102 (46.7) | -129 (26.7) | -204 (25.0) | 259 (61.7) | 347 (61.7) |

由表中二可發現，在預蹲期中，優秀選手（B、D）膝角最大彎屈速度發生的時間較早，最小膝角發生的時間也較早；選手 D 最小髖、

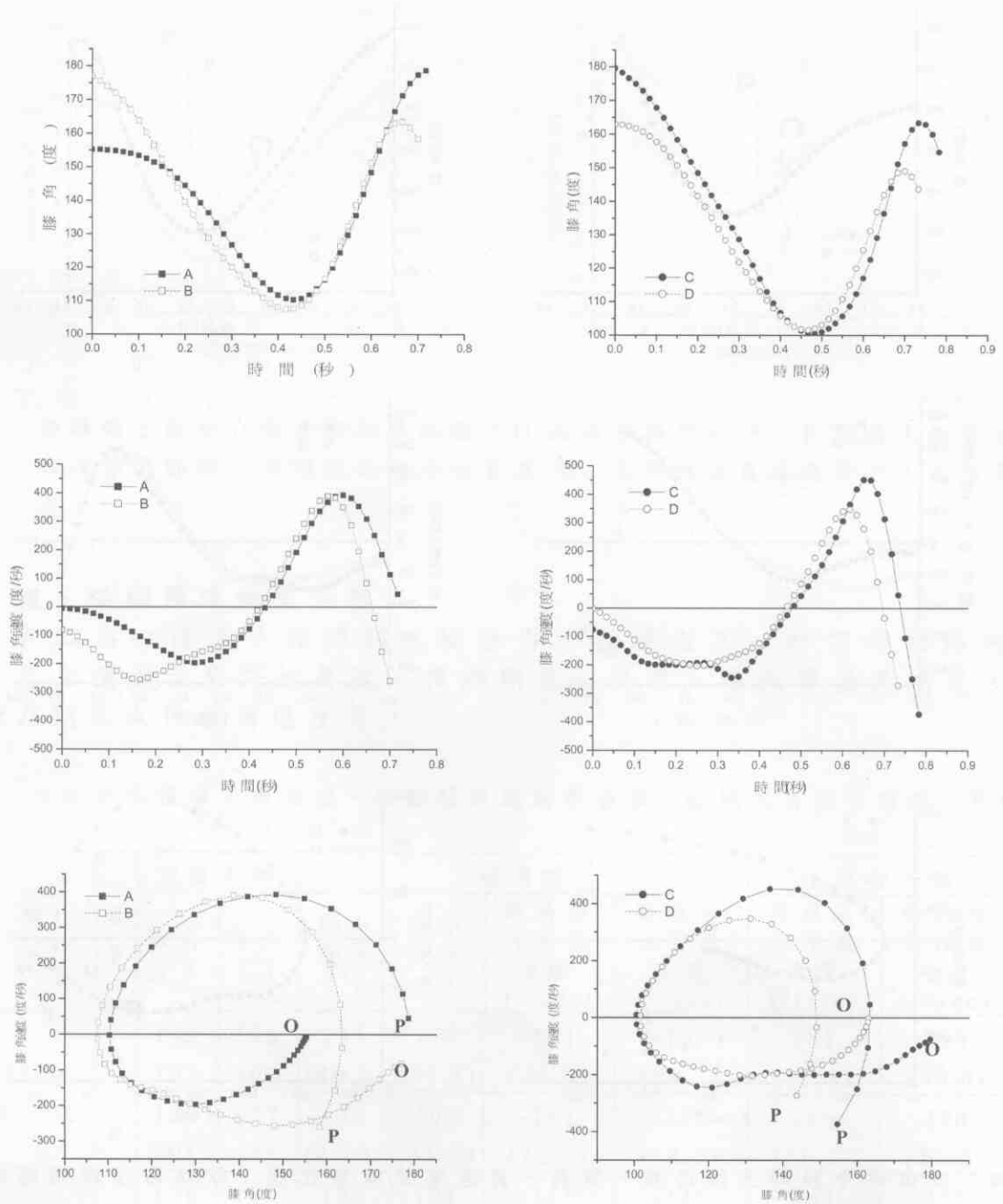
膝角發生的時間相同，而選手 A 最小髻、膝角發生的時間相差最大，約 4.3 ms。在上挺發力期中，優秀選手髻、膝角最大伸展速度都較青年選手小，發生的時間也較早。而不同等級選手比較，58 公斤級選手最小髻、膝角都比 53 公斤級選手小。其他的運動學參數則較沒有一致性。



圖四：四位選手預蹲上挺過程，髻角、角速度連續變化圖（O 點為預蹲開始時，P 點為上挺發力重心達最高點時）。

由髻角的連續變化圖，可看出四位選手有著相同的模式，其動作依序為髻關節彎屈、伸展、達重心最高點前再彎屈。選手 A 發力上挺到重心最高點時，髻角最大值大於預備姿勢時的髻角，其餘三位選手則較為接近（圖四上）。選手 A 在發力上挺重心高度達最高點前，髻角

迅速彎屈，髌角速度突然由正值轉為負值。預蹲期，優秀選手髌角速度變化較為平緩；上挺發力期，髌角伸展較早作減速及再彎屈的動作（圖四中）。以關節的角位移及角速度為座標所描述關節在平面上的運動狀態，稱之為相位圖（phase plot），由髌關節相位圖可看出，上挺發力期（髌角速度為正值）優秀選手曲線所包圍的區域面積較青年選手小（圖四下）。



圖五：四位選手預蹲上挺過程，膝角、角速度連續變化圖（O點為預蹲開始時，P點為上挺發力重心達最高點時）。

由膝角的連續變化圖，可看出四位選手除選手 A 外，也有與髌關節相同的模式，其動作依序為膝關節彎屈、伸展、達重心最高點前再

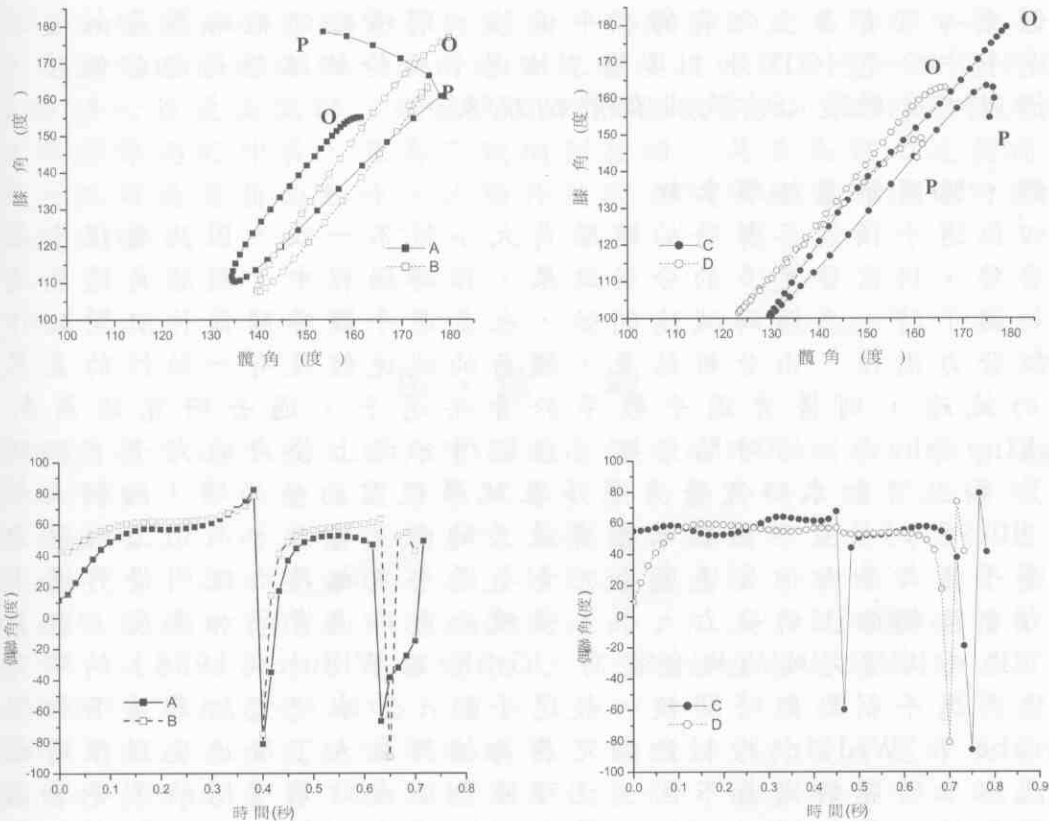
彎屈。選手 A 發力上挺重心最高點時，膝角最大值大於預備姿勢時的膝角，其餘三位選手則小於預備姿勢時的膝角（圖五上）。預蹲期，優秀選手（B、D）膝關節發生最大角速度的時間較早，最小膝角發生的時間也較早；上挺發力期，膝角較早作減速及再彎屈的動作（圖五中）。此外，由膝關節角度速度關係圖可看出，上挺發力期（膝角速度為正值）優秀選手曲線所包圍的區域面積較青年選手小（圖五下）。

三、髌膝關節協調性

為了解上挺動作髌膝關節協調性，本研究以髌膝關節角角圖（angle-angle plot）來描述兩關節間的偶聯關係。而角角圖中相鄰兩點連線的斜率則定義為偶聯角（coupling angle）（Hamill et. al., 2000；Heiderscheit et. al., 2002），其計算公式如下：

$$\text{偶聯角} = \tan^{-1} \left[\frac{(y_{i+1} - y_i)}{(x_{i+1} - x_i)} \right]$$

其中 y_i 為第 i 張影片的膝角大小， x_i 為第 i 張影片的髌角大小。偶聯角為正值表示兩個關節同時伸展或同時彎曲；負值表示其中一個關節伸展，而另一個關節彎曲。偶聯角為 0° 或 180° 表示只有髌角變化，膝角維持不動； 90° 或 -90° 表示只有膝角變化，髌角維持不動。偶聯角為 45° 或 -45° 表示髌膝角有相同的變化量。



圖六：四位選手預蹲上挺過程，髌、膝關節角對角及偶聯角圖（O 點為預蹲開始時，P 點為上挺發力重心達最高點時）。

由髖膝關節的角角圖顯示，青年選手發力期的圖形軌跡有向下偏移的現象，且其偏移量較優秀選手大，其中選手D兩期的圖形軌跡幾乎是在同一直線上（圖六上）。而由髖膝關節偶聯角圖（coupling angle plot），可以發現四位選手預蹲及上挺發力期，髖膝關節偶聯角變化不大（約 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ），但在預蹲至最低點轉為上挺發力時，除選手D之外，其餘三位選手的髖膝關節偶聯角都突然降為負值（圖六下）。

肆、討 論

一、槓鈴軌跡

本研究目的希望藉由基層訓練站青年選手與優秀選手於比賽中，上挺預蹲的膝髖關節運動學參數進行分析比較，以找出評估選手上挺動作特性的最佳方法。預蹲到上挺發力，理想的槓鈴軌跡應是保持在垂直的同一條線上，或是儘可能使槓鈴在水平方向的偏移量減到最小，使後續分腿接槓較能順利完成（郭廷棟，1993）。由四位選手槓鈴軌跡可發現，優秀選手在預蹲到上挺發力，槓鈴的水平偏移量都較青年選手小，由此可見優秀選手在預蹲至上挺發力動作技術上較優於青年選手。而由於上挺動作是將槓鈴由胸前發力上挺至兩臂伸直，此時槓鈴的位置應在頭部正上方或稍後方（如圖二），如果選手在上挺過程中身體重心沒有產生向前的水平偏移，則槓鈴的軌跡應是向後偏移，四位選手中除選手D外，其餘三位選手槓鈴軌跡都是向前偏移，顯示上挺過程中身體重心有向前偏移的現象。

二、髖、膝關節運動學參數

四位選手預備姿勢時的髖膝角大小較不一致，因此要找出最佳的預備姿勢，仍需要更多的分析結果。預蹲過程中，髖膝角速度達最大且開始減小時，為預蹲減速開始，也是選手髖膝關節伸肌開始作用準備上挺發力衝槓。由分析結果，髖角的減速較沒有一致性的差異，但膝角的減速，則優秀選手較早於青年選手。過去研究認為制動期（braking phase）的時間愈短，愈能增加向上發力的大小（郭廷棟，1993），由此可知本研究優秀選手在試舉較重的槓鈴時（約個人最佳成績的90-95%），並不在要求獲得最大的向上發力，而由上挺發力期，優秀選手膝角最大伸展速度小於青年選手，也再次證明優秀選手在上挺發力會控制向上的發力大小，使槓鈴獲得適當的加速度，避免衝槓過高，造成接槓失敗的機會提高。Grabe & Widule（1988）的研究中發現，優秀選手制動期時間較一般選手短，和本研究結果並不相同，由於Grabe & Widule將制動期定義為槓鈴最大下降速度到預蹲最低點時，此與本研究的定義不同，這可能是造成結果不同的主要原因。和預備姿勢的定義相同，以槓鈴最大下降速度定義為減速期開始並不適當，因為當選手髖膝關節伸肌開始用力時，此時槓鈴由於慣性的關係其下降速度並不一定達最大值。

三、髌膝關節協調性

由髌膝關節的角對角圖，青年選手發力期的圖形軌跡有向下偏移的現象，且其偏移量較優秀選手大，較大的偏移量代表選手在預蹲後期轉上挺發力衝槓時，膝關節無法有效伸展，僅靠髌關節的伸展來帶動重心向上，如此將造成重心軌跡的偏移，進而影響槓鈴的軌跡偏移，因而增加後續接槓的困難度。而由髌膝關節偶聯角圖，可以發現四位選手預蹲及發力期，髌膝關節偶聯角變化不大（約 $50^{\circ}\sim 60^{\circ}$ ），顯示選手上挺動作髌膝關節協調性大致相同，但在預蹲至最低點到開始上挺發力衝槓時，除選手D之外，其餘三位選手的髌膝關節偶聯角都突然降為負值，此顯示在發力衝槓初期，髌關節開始伸展時，膝關節卻仍在彎屈。因此，為避免上挺發力衝槓時重心軌跡的偏移，造成後續分腿接槓的困難度增加，選手應加強訓練在預蹲至最低點時膝關節伸肌的爆發力，使發力衝槓時髌膝關節能同時伸展。

四、總結

在本次比賽中，同等級青年選手與國家級選手試舉成功的重量相差約35kg，其中肌力素質可能是影響的因素之一，但上挺的動作技術可能才是造成成績差異如此大的原因。由本研究分析結果，青年選手在預蹲期髌膝關節較晚做減速，結果上挺發力期髌膝角最大伸展速度過大，造成衝槓過高，加上下蹲到最低點轉為上挺發力時，髌關節先行伸展，但膝關節卻仍做彎屈的動作，髌膝關節並未同時伸展，以致槓鈴產生較大的向前偏移，因而增加後續接槓的困難度。而選手A上挺到身體重心達最高點時，髌膝角都較預備姿勢大，顯示選手A上挺衝槓髌膝關節過於伸展，且為了能順利接槓，甚至在重心達最高點前髌關節突然轉為彎屈的動作，此動作技術在試舉較重的槓鈴時將必然造成接槓失敗。

伍、結論

預蹲期優秀選手最大膝角彎屈速度發生的時間較早，顯示選手膝關節較早制動，可知優秀選手在試舉較重的槓鈴時，並不在要求獲得最大的向上發力。而且優秀選手在上挺發力期髌膝角最大伸展速度都較青年選手小，顯示優秀選手在上挺動作模式較具有效率，青年選手較大的髌膝關節伸展速度將造成衝槓過高，加上上挺時髌膝關節並未同時伸展，以致槓鈴水平偏移量較大，更增加接槓的困難度，因而造成成功試舉重量相差達35公斤重。

本研究僅以一次成功試舉的結果，來比較分析優秀選手與青年選手上挺動作技術的差異，雖然較不具代表性，但本研究分析的是選手比賽的動作，在舉重的正式比賽中，挺舉只能有三次試舉，因此資料的取得必然較為缺乏。但是由分析比較的結果，仍舊可看出優秀與青年選手在某些髌膝關節運動參數表現的差異。本研究的方法可以作為分析舉重選手實際比賽情況時，上挺動作技術分析之參考，未來的研



究應針對選手，特別是培訓選手，作長期的追蹤分析，以評估選手動作技術，並作為訓練計畫修訂之參考。

參考文獻

郭廷棟 (1993)：競技舉重運動。人民體育出版社。

蘇園紅 (1998)：女子舉重運動員上挺技能的訓練。上海體育學報，22卷增刊，70-71頁。

Grabe, S.A.and Widule, C.J.(1988) Comparative biomechanics of the jerk in Olympic weightlifting. Research Quarterly for Exercise and Sport, **59**(1), 1-8.

Hamill, J., Haddad, J.M. and McDermott, W.J. (2000) Issue in quantifying variability from a dynamical systems perspective. J. of Applied Biomechanics, **16**, 407-418.

Heiderscheit B.C., Hamill, J. and van Emmerik, R. (2002) Variability of stride characteristics and joint coordination among individuals with unilateral patellofemoral pain. J. of Applied Biomechanics, **18**, 110-121.

Kinematics of The Jerk From Squat to Thrust Phase for Female Weightlifter

Hung-Ta Chiu¹, Tsai-Fu Wu², Shin-Yuan Wang³

Cheng-Kung University¹

Yung-Ping Vocational High School²

Taiwan P.E. College³

Abstract

The motion of jerk for two young and two elite female weightlifters attending the domestic selective trials were analyzed in this study. A high-speed camera (60Hz) was set up on the right side of the platform to film the kinematical parameters on the sagittal plane of the subjects. The distance from the camera to the subject was 7.3m. The results showed that the young weightlifters were later to deceleration the flexion rate of the hip and knee joints in squat phase resulting in the larger extending rate of the two joints in thrust phase. On the transition from squat to thrust phase, the hip was extended first while the knee joint still flexed for the young weightlifter. The motion characteristics of the young weightlifters different from the elites cause the more horizontal deflection and height of the barbell movement that increased the hard level to successfully catch the barbell overhead. Although only one successful attempt was analyzed for each subject in this study, the results showed that some significant differences of the kinematics of the hip and knee joints between the young and elite female weightlifters. The approach used in this study could be referred to analyze the technique of jerk for weightlifter in real competition.

Keywords: clean and jerk, hip and knee joint, coupling angle