



不同層級大專棒球選手揮擊不同高度位置之揮棒動作分析

羅瑋勻、莊博堯、張家豪*

國立臺灣師範大學體育學系

投稿日期：2019 年 01 月；通過日期：2019 年 05 月

摘要

目的：在於了解不同擊球高度對於大專選手打擊動作的影響，提供教練及選手訓練依據。**方法：**以大專公開組第一級（身高： 174.3 ± 6.8 公分；體重： 71.1 ± 8.5 公斤；年齡： 23.0 ± 2.1 年）及公開組第二級（身高： 175.0 ± 5.8 公分；體重： 68.9 ± 5.8 公斤；年齡： 22.7 ± 2.8 年）棒球選手各 10 名，使用 Vicon Motion 三維動作分析系統、Kistler 測力板系統及 Fastec 高速攝影機同時進行數據擷取。地面反作用力以體重進行百分比標準化，並以混合二因子變異數分析做為統計方式，事後比較採用 Tukey 法，顯著水準定為 $\alpha = .05$ 。**結果：**高擊球高度之重心內移、上移較多、前導腳著地瞬間之前導腳與擊球瞬間之軸心腳膝關節較為伸展，造成骨盆旋轉角速度下降，肘關節較為屈曲使力臂較短。公開組第一級有較大的前後地面反作用力峰值，其發生點也早於公開組第二級，而著地瞬間之軸心腳膝關節較為屈曲，骨盆之角速度峰值也較大。**結論：**高擊球高度之棒頭最大合速度較小、揮棒時間較長，壓縮了用於判斷及調整姿勢的時間，因此擊球高度越高越不易揮擊。公開組第一級骨盆角速度較快，整體而言有較好的打擊表現。

關鍵詞：運動學、地面反作用力、揮擊

壹、緒論

打擊為棒球得分之重要技術之一，打擊能力常做為球隊的戰力指標。然而棒球打擊技術被認為是最困難的技術之一 (DeRenne, 2007; DeRenne, Morgan, Hetzler, & Taura, 2008; Race, 1961)，其結合了打擊時動力鏈傳遞時序與其效能、肢段與球棒運動的協調整合、判斷與反應能力等因素，使打擊成功率四成的打者即可被稱之為優秀打者，可見其複雜程度。過去研究指出，揮棒速度越快，則球速越高 (Adair, 2002; Cheng & Ku, 2015; Elliott & Ackland, 1982; J. Sprigings & Neal, 2001; Mitchell, Jones, & King, 2001; Nicholls, Elliott, Miller, & Koh, 2003)，球速快配合適當的落點，容易使球穿過防守網，進而形成安打，因此揮棒速度常成為判斷打擊能力的指標之一，而如何提高打者的揮棒速度，也成為熱門的研究主題。

過去藉由分析優秀選手之揮棒動作，可瞭解何種生物力學參數能產生較高的揮棒速度並有利於打擊表現。由動作型態來看，棒球打擊屬於開放式動力鏈，其地面反作用力做為力量傳導的源頭；當前導腳著地

後，向後地面反作用力及前膝關節伸展力矩能提供力量有助於身體穩定，因此，相較於青棒選手，有技巧的成棒打者於前導腳著地瞬間其膝關節較為屈曲，使前導腳膝關節在揮擊期具有更大的伸展空間 (Escamilla et al., 2009)。接著力量傳遞至骨盆，骨盆的旋轉會帶動軀幹、手臂及球棒的動作，因此需要穩定重心與旋轉軸使力量更有效的傳遞。因此優秀打者之重心位移量較少，且身體旋轉軸心幾乎保持一直線 (Baseball Skills, 2008、陳丕欣, 2006)。當力量傳遞至手臂後，肘關節逐漸伸展，至前肘角度約 110 度時，會有最大的棒頭向前線性速度，也是較佳的擊球時機 (周家穎、王慧與趙果豐, 1996；賴平常, 2000)。由於投手投出的球路多變，球飛行至本壘板上方之位置也所有不同，高度的變化也造成打者揮棒上的難度。經打者觀察球路，判斷球與球棒接觸的位置後，亦需要調整身體動作使之在適當的位置擊到球 (Katsumata, Himi, Ino, Ogawa, & Matsumoto, 2017)，這牽扯到多肢段的動作與協調，特別是好球帶的高度範

*通訊作者：張家豪 國立臺灣師範大學體育學系
地址：臺北市文山區汀州路四段88號
E-mail: jhchang@ntnu.edu.tw

圍約為身高的 40%，選手需要在極短的時間調整動作，由於投手經常會使用高直球引誘打者揮棒，更需要相關的知識以提升打擊表現。綜合過去文獻，雖然可知優秀打者之動作及力量傳遞情況，卻不知在不同打擊情境下打者於動作型態上的變化，不同層級的選手可能因技術及訓練上的不同，可能反映於動作型態上，影響擊球表現。在缺乏資訊的情況下，教練過去常以經驗傳授其動作，便難以針對選手給與更細緻的調整。因此，本研究目的在於瞭解不同層級選手於不同擊球高度下之打擊動作，藉由分析揮棒時間、擊球球速、棒頭與重心相關參數、骨盆角速度、棒頭位移與時序相關參數、導腳著地瞬間與擊球瞬間之骨盆角度、肘與膝之關節角度、地面反作用力等參數，更有系統的了解不同擊球高度對於大專選手揮棒動作的影響，提供教練及選手調整的方向，以利進行技術上的改善。為了減少打者判斷上的差異，本研究使用可調式球座模擬不同擊球高度的情境，能夠更直觀瞭解不同擊球高度對於打者動作的影響。

貳、研究方法

一、研究對象

本研究對象為大專公開組第一級 (身高： 174.3 ± 6.8 公分；體重： 71.1 ± 8.5 公斤；年齡： 23.0 ± 2.1 年)、公開組第二級 (身高： 175.0 ± 5.8 公分；體重： 68.9 ± 5.8 公斤；年齡： 22.7 ± 2.8 年) 棒球選手各10名，且於半年內無受傷病史。實驗前告知實驗目的及步驟，並簽署知情同意書。

二、研究工具

使用三維人體動作分析系統 (Vicon MX13+ Oxford Metrics Ltd., Oxford, England) 以頻率250 Hz進行人體動作數據擷取。並同時使用兩塊測力板 (Kistler 9281, Kistler 9287, Winterthur, Switzerland)，以1000 Hz的頻率分別擷取前導腳與軸心腳之地面反作用力。另外，使用高速攝影機 (Fastec HiSpec, Fastec Imaging, San Diego, CA, USA, 1000 Hz) 同步紀錄球之飛行軌跡 (圖1)。

三、研究步驟

參與者熱身後於人體黏貼反光球，其黏貼方式參照Plug-in-Gait marker placement (Chan, Huang, Chang, & Kernozek, 2009)，並加入左/右股骨內側髌 (medial epicondyle of femurs)、左/右脛骨的內側髌 (medial

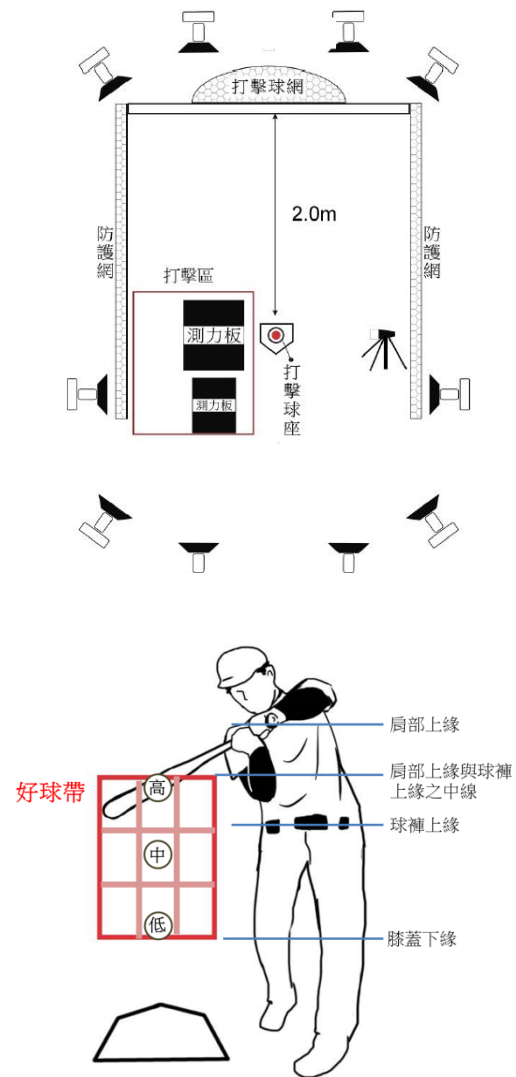


圖1 (A)實驗室配置圖

圖1 (B)打擊位置示意圖

malleolus)、左/右股骨大轉子 (greater trochanter of femurs) 及左/右肱骨內上髁 (medial epicondyle of humerus)，同時於球棒之棒頭、棒尾及球座上也分別固定一顆反光球以捕捉球棒及球座軌跡。正式實驗前要求參與者之前導腳與軸心腳各站立於一塊測力板上，就打擊站姿並試揮，紀錄該名參與者之好球帶及四種擊球高度 (高、中、低及習慣高度，如圖1所示)，並於力板上標記其雙腳擺放位置，以避免每次打擊時之站位差異。高擊球高度為好球帶之上限高度，也就是肩部上緣與球褲上緣之中間平行線之高度 (0.69倍身高)；低擊球高度為好球帶之下限高度，也就是膝蓋下緣 (0.26倍身高)；中擊球高度為好球帶上限與下限之中點

位置 (0.48倍身高)；習慣高度為該參與者認為動作最流暢，最利於打擊之高度 (正式實驗前先讓參與者以最習慣動作揮擊，經計算後為0.43倍身高)。正式實驗時參與者需以平衡次序法打擊球座上四種不同高度的球 (高、中、低及習慣高度) 各10次，每次打擊間隔1分鐘。每種高度需至少成功打擊3次，當參與者打擊時能避免球棒接觸球座，並準確的將球座上的球擊出，使球平飛進入目標區則視為成功打擊。

四、資料處理

(一) 運動學參數

利用Nexus軟體及反光球之黏貼位置定義出人體肢段及球棒，用於計算人體重心、關節角度、棒頭速度峰值及棒頭位移。重心位移為前導腳著地瞬間與擊球瞬間之重心位置改變量，其中重心之前移 (往前導腳方向)、內移 (往內角方向)、上移為正 (圖2)，其重心位置改變量定義為擊球瞬間與前導腳著地瞬間兩時間點之重心位置差。膝關節角度定義為矢狀面上大腿與小腿之內部夾角，小腿完全伸展使之與大腿成一直線時定義為 180° ；肘關節角度定義為矢狀面上上臂與下臂之內部夾角，下臂完全伸展並與上臂成一直線時定義為 180° 。骨盆角度定義為髌前上棘連線與實驗室座標系X軸之夾角，平行X軸時夾角為 0° ，其角度隨著打擊動作進行而變大，以右打者為例，逆時鐘旋轉為正。骨盆最大角速度之時間點以揮擊期進行時間百分比標準化，揮擊期定義為前導腳著地瞬間 (0%) 至擊球瞬間 (100%)，而揮擊期時間長度為揮棒時間 (圖3)。另外使用Kwon3D分析球速，擊球球速定義為球離開球棒後10個frames (0.01秒) 之平均速度。棒頭最低的時間點及最大棒頭合速度時間點為該事件發生時間點與擊球瞬間之時間差，早於擊球瞬間定義為負，數值越接近0則越靠近擊球瞬間。

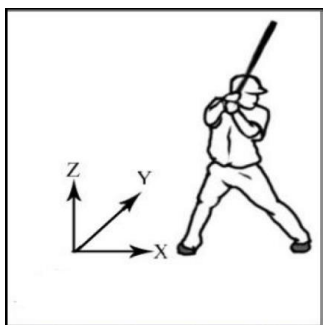


圖2實驗室座標系

(二) 動力學參數

地面反作用力經該名參與者之體重進行百分比標準化。而最大地面反作用力出現之時間點則以該筆動作之揮棒時間進行百分比標準化。

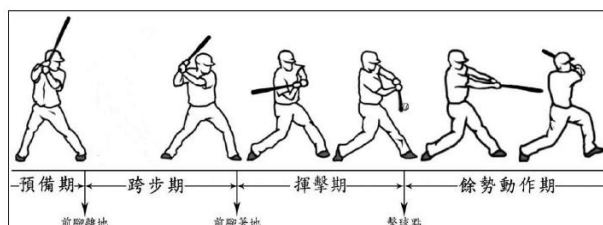


圖3 棒球打擊之動作分期

(三) 統計方式

各高度取成功打擊且球速最快之3筆，平均後進行變異數分析，包括：揮棒時間、擊球球速、棒頭與重心相關參數、骨盆角速度、棒頭位移與時序相關參數、導腳著地瞬間與擊球瞬間之骨盆角度、肘與膝之關節角度、地面反作用力等參數。使用統計軟體SPSS 21.0版以混合二因子變異數分析 (two-way Mixed-design ANOVA)，若交互作用為顯著，則進行主要效果比較；若無交互作用，則進行單純主要效果比較。事後比較採用Tukey法，顯著水準定為 $\alpha = .05$ 。

參、結果

一、揮棒時間、擊球球速、棒頭速度、重心位移及骨盆角速度相關參數

在揮棒時間、擊球球速、棒頭及重心相關參數皆沒有交互作用 (表1)。公開組第一級於擊球球速及最大棒頭合速度皆大於公開組第二級，而公開組第二級之揮棒時間長於公開組第一級，其他參數公開組第一級和公開組第二級則沒有差異。而在不同擊球高度之間，高擊球高度之揮棒時間比習慣及低擊球高度長，且高擊球高度之擊球球速及最大棒頭合速度最小。於重心相關參數上，高擊球高度之重心內移、上移最多，低擊球高度之重心內移、上移最少 (甚至反之下移)，而在重心合位移上，高擊球高度大於習慣及低擊球高度。最大棒頭合速度時間點及重心前移則於層級間及高度間皆無差異。公開組第一級之骨盆最大角速度大於公開組第二級，且兩組之骨盆最大角速度於高擊球高度時小於習慣與中擊球高度。

表1 揮棒時間、擊球球速、棒頭速度、重心位移及骨盆角速度相關參數

參數	層級	擊球高度				事後比較
		高	中	習慣	低	
揮棒時間 ^{ab} (ms)	公開一	245(32)	229(26)	218(24)	222(31)	高>習慣；高>低
	公開二	290(64)	285(65)	277(72)	272(76)	
擊球球速 ^{ab} (m/s)	公開一	30.2(2.3)	32.0(1.5)	32.4(1.4)	31.4(2.7)	習慣>高；低>高；中>高
	公開二	26.0(2.3)	28.4(1.3)	28.6(1.8)	27.9(3.2)	
最大棒頭 合速度 ^{ab} (m/s)	公開一	29.6(2.0)	31.3(1.6)	31.8(1.6)	31.0(2.5)	習慣>高；低>高；中>高
	公開二	25.7(2.1)	28.0(1.3)	27.9(1.5)	27.9(2.6)	
最大棒頭合速 度時間點 (ms)	公開一	-4.7(1.7)	-5.7(1.4)	-4.7(1.7)	-5.5(1.7)	
	公開二	-5.5(1.8)	-5.5(1.5)	-6.5(2.5)	-7.6(3.6)	
重心前移 (cm)	公開一	19.7(4.4)	19.4(4.2)	19.0(4.4)	19.2(3.3)	
	公開二	22.5(2.6)	22.0(3.5)	21.2(3.2)	21.5(4.5)	
重心內移 ^b (cm)	公開一	7.0(2.1)	6.2(2.5)	5.4(2.1)	3.4(2.2)	高>習慣；高>中； 高>低；習慣>低； 中>低
	公開二	5.5(1.8)	4.0(2.0)	3.8(2.2)	2.1(2.2)	
重心上移 ^b (cm)	公開一	2.9 (2.2)	1.1(2.7)	0.3(2.5)	-1.4 (3.0)	高>習慣；高>中； 高>低；習慣>低； 中>低
	公開二	3.7(2.2)	2.5(2.1)	1.7(3.1)	-0.5(2.2)	
重心合位移 ^b (cm)	公開一	21.3(4.4)	20.7(4.3)	20.1(4.3)	19.9(3.3)	高>習慣；高>低
	公開二	23.7(2.3)	21.8(4.4)	21.9(3.1)	22.8(3.3)	
骨盆最大角速 度 ^{ab} (deg/s)	公開一	609.3(43.5)	656.6(52.9)	673.6(61.7)	636.0(81.0)	習慣>高；中>高
	公開二	548.3(75.1)	594.0(88.7)	571.64(78.8)	551.6(112.3)	
骨盆最大角速 度之時間點(%)	公開一	65.5(5.8)	67.8(4.3)	67.2(4.5)	66.5(5.8)	
	公開二	66.6(5.7)	68.4(5.2)	68.2(7.4)	70.0(6.3)	

a: 公開一、公開二達顯著差異 ($p < .05$)b: 擊球高度間達顯著差異 ($p < .05$)

二、棒頭位移及時序相關參數

棒頭合位移具交互作用，公開組第一級於低擊球高度之棒頭合位移最大，其他高度間沒有差異；而公開組第二級之合位移有隨著擊球高度變低而變大的趨勢，除了低擊球高度之棒頭合位移最大，於高擊球高度之棒頭合位移最小 (表2)。而在棒頭向外、向下位

移皆不具交互作用，但不同擊球高度下則有所差異。高擊球高度下棒頭之向外位移最多、向下位移最少；而低擊球高度下棒頭之向外位移最少、向下位移最多。另外，公開組第一級在棒頭最低時間點較公開組第二級靠近擊球瞬間。骨盆最大角速度之時間點則是在層級間及擊球高度間沒有差異。

表2 棒頭位移及時序相關參數

參數	層級	擊球高度				事後比較
		高	中	習慣	低	
棒頭向外位移 ^b (cm)	公開一	122.1(10.0)	102.8(10.6)	101.3(10.2)	89.2(10.1)	高>習慣；高>中； 高>低；習慣>低； 中>低
	公開二	114.7(8.5)	95.6(13.3)	95.4(12.8)	86.0(14.9)	
棒頭向下位移 ^b (cm)	公開一	57.8(15.0)	94.3(11.2)	103.2(14.3)	129.8(7.9)	低>高；低>習慣； 低>中；習慣>高；習慣 >中；中>高
	公開二	61.9(11.5)	95.6(11.6)	107.9(12.9)	135.1(9.8)	
棒頭合位移 ^{*b} (cm)	公開一	143.5(5.7)	145.1(10.0)	149.2(9.3)	161.3(8.5)	^b 公開一： 低>高；低>習慣； 低>中； ^b 公開二： 低>高；低>習慣； 低>中；習慣>高；中> 高
	公開二	137.7(13.6)	146.0(15.7)	151.24(15.6)	167.4(15.2)	
棒頭最低 時間點 ^a (ms)	公開一	-6.7(5.3)	-3.5(3.6)	-3.9(3.4)	-3.7(2.4)	
	公開二	-9.2(5.8)	-7.5(3.7)	-7.6(3.9)	-7.3(4.2)	

a: 公開一、公開二達顯著差異 ($p < .05$)

b: 擊球高度間達顯著差異 ($p < .05$)

三、前導腳著地瞬間之關節角度

前導腳著地瞬間，前導腳及軸心腳膝關節角度、前肘及後肘關節角度皆不具交互作用，且層級間沒有差

異，而不同擊球高度間則有所不同 (表3)。軸心腳膝關節角度於高擊球高度下最大，而前肘關節角度在低擊球高度下最大。

表3前導腳著地瞬間之關節角度

參數	層級	擊球高度				事後比較
		高	中	習慣	低	
前導腳膝關節 角度 ^b (deg)	公開一	132.1(7.6)	130.0(8.9)	129.6(10.1)	129.0(11.5)	高>中
	公開二	133.8(10.4)	129.3(11.2)	131.8(9.2)	131.9(7.4)	
軸心腳膝關節 角度 ^b (deg)	公開一	134.2(7.9)	129.5(6.4)	127.0(8.0)	125.5(8.4)	高>習慣；高>低；高>中
	公開二	136.8(8.8)	132.0(10.6)	131.8(9.9)	130.5(10.8)	
骨盆角度 ^b (deg)	公開一	-20.8(8.2)	-20.7(10.7)	-18.7(8.0)	-18.0(8.7)	低>中
	公開二	-24.8(7.1)	-27.0(10.0)	-22.9(12.0)	-20.5(12.6)	
前肘關節角度 ^b (deg)	公開一	105.3(8.2)	108.4(8.4)	108.4(9.2)	112.0(9.1)	低>習慣；低>高；低>中
	公開二	105.1(7.5)	105.9(10.0)	107.1(9.5)	109.5(10.4)	
後肘關節角度 ^b (deg)	公開一	59.1(6.2)	58.7(5.8)	58.1(5.1)	60.2(5.8)	低>習慣；低>中
	公開二	59.1(6.6)	58.6(6.8)	58.4(5.5)	60.5(6.8)	

b: 擊球高度間達顯著差異 ($p < .05$)

四、擊球瞬間之關節角度

擊球瞬間，軸心腳膝關節角度及後肘關節角度具交互作用 (表4)。在公開組第一級的結果中，軸心腳膝關節角度於高擊球高度下最大，且有其角度有隨著擊球高度提高而變大的趨勢，公開組第二級於高擊球高度下其軸心腳膝關節角度大於低及習慣擊球高度。另外，於習慣高度下，公開組第一級之軸心腳膝關節角

度小於公開組第二級。公開一及公開組第二級之後肘關節角度於低擊球高度下最大。前導腳膝關節角度及前肘關節角度於不同擊球高度間有所差異，高擊球高度之前導腳膝關節角度大於低擊球高度，而高擊球高度之前肘關節角度最小，低擊球高度之前肘關節角度最大。

表4 擊球瞬間之關節角度

參數	層級	擊球高度				事後比較
		高	中	習慣	低	
前導腳膝關節 角度 ^b (deg)	公開一	157.6(4.4)	155.2(5.2)	154.5(6.9)	151.8(7.0)	高>低
	公開二	154.1(8.4)	151.7(9.0)	152.7(8.6)	150.5(9.6)	
軸心腳膝關節 角度 ^{*ab} (deg)	公開一	128.7(10.3)	116.6(9.5)	111.8(9.0)	107.4(7.9)	^a 習慣、低 ^b 公開一：高>習慣；高>低；高>中；中>低 ^b 公開二：高>習慣；高>低
	公開二	133.1(11.0)	127.2(12.4)	126.2(13.4)	122.1(13.2)	

骨盆角度* ^{ab} (deg)	公開一	78.8(9.3)	82.7(10.2)	85.4(9.1) ^a	77.0(12.2)	^a 習慣 ^b 公開一：習慣>高；中>低
	公開二	75.3(6.6)	73.8(6.3)	73.5(6.4)	68.9(7.8)	習慣>低 ^b 公開二：高>低
前肘關節角度 ^b (deg)	公開一	124.3(9.7)	125.9(10.8)	126.9(11.3)	134.5(11.4)	低>高；低>習慣；低>中；中>高；
	公開二	125.1(8.1)	130.0(11.7)	132.0(10.6)	139.8(10.8)	習慣>高
後肘關節角度* ^b (deg)	公開一	98.4 (10.3)	97.5(9.6)	93.9(8.7)	103.5(9.4)	^b 公開一： 低>習慣；低>高 低>中
	公開二	100.8(11.7)	102.5(11.7)	103.8(12.0)	113.4(8.7)	^b 公開二： 低>習慣；低>高 低>中

*: 交互作用達顯著 ($p < .05$)

a: 公開一、公開二達顯著差異 ($p < .05$)

b: 擊球高度間達顯著差異 ($p < .05$)

五、揮擊期之前導腳不同方向之地面反作用力峰值及其出現時間點

揮擊期之前導腳最大前後、垂直方向地面反作用力及出現時間點皆無交互作用 (表5)。公開組第一級之前導腳最大前後方向地面反作用力大於公開組第二

級，且高擊球高度之前後方向地面反作用力峰值小於低及習慣擊球高度。而在前導腳地面反作用力峰值發生之時間點上，公開組第一級於前後方向及垂直方向皆早於公開組第二級。

表 5 揮擊期之前導腳不同方向之地面反作用力峰值及其出現時間點

參數	層級	擊球高度				事後比較
		高	中	習慣	低	
最大前後方向地面反作用力 ^{ab} (倍體重)	公開一	0.54(0.18)	0.61(0.16)	0.65(0.15)	0.64(0.11)	習慣>高；低>高
	公開二	0.44(0.12)	0.48(0.10)	0.47(0.09)	0.47(0.09)	
最大垂直方向地面反作用力 (倍體重)	公開一	1.35(0.34)	1.47(0.31)	1.48(0.34)	1.39(0.26)	
	公開二	1.29(0.21)	1.36(0.16)	1.33(0.18)	1.34(0.10)	
最大前後方向地面反作用力時間點 ^a (%)	公開一	70.1(6.6)	67.9(7.1)	67.2(8.0)	70.0(10.8)	
	公開二	74.0(8.2)	77.8(6.4)	77.1(3.9)	75.7(4.9)	
最大垂直方向地面反作用力時間點 ^a (%)	公開一	75.1 (8.8)	69.7(10.2)	69.1(10.7)	71.5(9.8)	
	公開二	79.3(8.8)	80.0(5.6)	80.0(7.2)	83.0(7.3)	

a: 公開一、公開二達顯著差異 ($p < .05$)

b: 擊球高度間達顯著差異 ($p < .05$)

肆、討論

本研究發現，公開組第一級及第二級於高擊球高度之揮棒時間皆較長，且重心之內移與上移較多、前導腳著地瞬間及擊球瞬間之膝關節較為伸展。另外，公開組第一級於棒頭最大合速度、擊球球速、前後方向地面反作用力、擊球瞬間之骨盆角度、最大前後方向地面反作用力皆大於公開組第二級；而揮棒時間、前導腳著地瞬間軸心腳膝關節皆小於公開組第二級。從數據中發現，公開組第一級於棒頭最大合速度與擊球球速皆大於公開組第二級，此外，公開組第一級的揮棒時間較公開組第二級短，說明提高揮棒速度相對減少揮擊期時間，於實際比賽中，減少揮棒時間使打者有更多判斷及決策的時間，有助於針對球路進行動作上的調整 (Breen, 1967; Williams & Underwood, 1986)，這可能是由於肌力及技術差異所造成。而就擊球高度的面向來看，公開一與公開組第二級有同樣的趨勢：在高擊球高度下，其棒頭最大合速度與擊球球速較其他擊球高度要小，且揮棒時間相對較長，壓縮了用於判斷及調整姿勢的時間。換而言之，當打者要打擊高球時，較不容易打擊，這是為何投手於比賽中時常以快速高球去引誘打者出棒，多是投出近身或外角偏高、壞球之高球。另外，從擊球球速、棒頭速度來看，雖然公開組第一級與公開組第二級打高球時都有較差的打擊表現，但整體而言公開組第一級之表現仍然比公開組第二級要好，這可能有幾個原因。從地面反作用力的觀點來看，公開組第一級之最大前後方向地面反作用力高於公開組第二級，這使身體的旋轉更加穩定，而公開組第一級達到地面反作用峰值的時間點也早於公開組第二級，代表公開組第一級力量傳遞的時間更早、速度更快，這也說明為何公開組第一級骨盆最大角速度之時間點會早於公開組第二級。而在習慣的擊球高度時，公開組第一級與公開組第二級前導腳著地瞬間其骨盆角度相同，而到擊球瞬間，公開組第一級的骨盆角度會較公開組第二級大，代表公開組第一級於揮擊期中骨盆角速度較快，使得擊球瞬間其骨盆姿勢較為開放。另外從棒頭軌跡來看，公開組第一級棒頭最低的時間點較接近擊球瞬間，過去文獻指出，優秀打者棒頭軌跡到達最低點的時間非常接近擊球瞬間，因此可確保擊球時球棒為水平出棒，有利於擊球的準確性 (Tabuchi, Matsuo, & Hashizume, 2007)，也因此公開組第一級能有較好的打擊表現。

隨著擊球高度而變化，公開組第一級與公開組第二級之重心水平及垂直位移也變跟著改變。打高球時，

身體的重心需提高以配合球的位置，反之亦然。而在水平方向，打高球時重心內移較多，可能是由於高球的位置較接近肩部，使動作受到球位置的擠壓，身體需要內移讓手臂及球棒有足夠的空間調整，以求擊球瞬間能在打到適當的位置打到球，這也說明為何打高球時擊球瞬間之前肘關節角度與棒頭合位皆最小。然而為了調整動作使重心移動較多時，便難以維持旋轉軸的穩定，因此打者需要用更多心力在維持穩定及調整上，使力量無法有效的傳遞，因此打高球時最大骨盆角速度較低，進而降低棒速及擊球球速。另外，打高球時前腳著地瞬間之前膝關節較為伸展，過去研究指出，若前導腳著地瞬間其膝關節較為屈曲，能使前導腳膝關節在揮擊期具有更大的伸展空間，使骨盆的旋轉更加穩定，增進揮擊的表現 (Escamilla et al., 2009)，由此可見，打擊高球時前導腳膝關節過於伸展的角度使之在揮擊期伸展空間不足，較不利於骨盆的穩定，這也是降低骨盆旋轉的速度的原因之一。另一方面，公開組第一級軸心腳膝關節角度在擊球瞬間較為屈曲，過去的研究指出，打者在揮擊期間，軸心腳膝關節角度會持續增加 (Escamilla et al., 2009; Welch, Banks, Cook, & Draovitch, 1995)，膝關節的伸展會提供機械能 (Ae, Koike, & Kawamura, 2018)，能幫助前膝關節的伸展及骨盆旋轉以穩定重心。從本研究的數據來看，公開一及公開組第二級在高打擊位置之軸心腳膝關節角度皆較為直立，不利於前導腳膝關節的伸展及骨盆旋轉。而擊球瞬間，公開組第一級之軸心腳膝關節會隨著擊球高度而變化，因此膝關節可能是公開組第一級選手用來調整擊球高度的重要關節之一。

過去文獻指出，動力鏈的力量傳遞對於打擊十分重要，然而，Katsumata 等人 (2017) 認為擊球位置與肢段協調也扮演極為重要的角色，肢段於空間中的運動協調能更有效在正確的時間點及位置上將球棒的能量傳遞至球上，他們指出肘關節角度與擊球高度間達顯著相關，也就是說藉由改變肘關節角度可調整球棒位置，針對不同高度的球進行打擊。本研究發現，於前導腳著地前肘關節便會開始針對擊球位置進行調整，特別是在打擊低球時，前導腳著地瞬間其後肘及前肘關節便會處於較為伸展的狀態，以調整至適合揮擊的高度。另外，打低球時其棒頭向下位移最多，因此需要肘關節伸展幫助打者由上往下揮擊，而在打高球時，由於高球的位置較靠近肩部，使得動作受到擠壓，因此為調整球棒與球的接觸位置，肘關節較為屈曲，動作是較為水平的揮擊方式。與 Welch 等人 (1995) 的研

究類似，打者在揮擊期間其後肘關節角度較前肘屈曲。另外，Hay (1978) 指出，打者前臂伸直的時機是擊球的最佳時機，而本研究擊球瞬間之前肘關節角度略小，約為130度。而周家穎等人 (1996) 指出，後肘角度約110度時，會有最大的棒頭向前線性速度，而本研究結果擊球瞬間之後肘關節角度約為100度，其前肘與後肘角度與過去文獻的差異可能是打擊投手投出的球與打擊固定球座所造成。

伍、結論與建議

從擊球高度上來看，高擊球高度之重心之移動較多、前導腳著地瞬間之前導腳與擊球瞬間之軸心腳膝關節較為伸展，皆使旋轉軸心較不穩定，造成骨盆旋轉角速度下降，而肘關節需要較為屈曲以配合打擊位置，因此有較短的力臂，這些原因造成最大棒頭速度及擊球球速降低並增加揮擊時間，因此高擊球高度較不容易打擊。而在低擊球高度，其重心較為穩定，然而其棒頭位移最大，肘關節需要增加伸展角度以配合擊球高度，因此，打低球時手臂的動作極為重要。另外，公開組第一級有較大的前後地面反作用力峰值，其發生點也早於公開組第二級，而著地瞬間之軸心腳膝關節角度較為屈曲，骨盆之角速度峰值也較大，代表公開組第一級於力量傳遞的時間更早、速度更快，使公開組第一級有更好的擊球表現。不同於公開組第二級，公開組第一級擊球瞬間之軸心腳膝關節角度會隨著擊球高度而變化，因此軸心腳膝關節可能是公開組第一級選手用來調整擊球高度的重要關節之一。建議公開組第二級增強骨盆旋轉的相關訓練，以增加打擊時之骨盆角速度以提升擊球表現。

陸、參考文獻

周家穎、王慧、趙果豐 (1996)。我國棒球運動員揮擊技術的現狀與對策。《西安體育學報》，13(1)，35-38。

陳丕欣 (2006)。《棒球打擊動作動學之分析》。未出版碩士論文。輔仁大學，台北縣。

賴平常 (2000)。肘關節角度與力矩關係之研究。《大專體育學刊》，2(2)，27-36。

Adair, R. K. (2002). *The Physics of Baseball* (Third Edition ed.). New York: Harper Collins Publishers Inc.

Ae, K., Koike, S., & Kawamura, T. (2018). Kinetic function of the lower limbs during baseball tee-batting motion at different hitting-point heights.

Sports Biomechanics, 1-15. doi:10.1080/14763141.2018.1497195

Baseball Skills (2008)。《美日最強職棒選手技巧圖解：打擊篇 P7》。株式會社西東社。

Breen, J. L. (1967). What makes a good hitter? *Journal of Health, Physical Education, Recreation*, 38(4), 36-39. doi:10.1080/00221473.1967.10610368

Chan, M. S., Huang, C. F., Chang, J. H., & Kernozek, T. W. (2009). Kinematics and kinetics of knee and hip position of female basketball players during side-step cutting with and without Dribbling. *Journal of Medical and Biological Engineering*, 29(4), 178-183.

Cheng, L., & Ku, Z. (2015). Dynamical model with application to the analysis of the sweet spot on a baseball bat. *American Journal of Computational Mathematics*, Vol.05No.04, 10. doi:10.4236/ajcm.2015.54040

DeRenne, C. (2007). *The scientific approach to hitting: research explores the most difficult skill in sport*. San Diego, CA: Unervisity Readers.

DeRenne, C., Morgan, C., Hetzler, R. K., & Taura, B. T. (2008). National and state youth baseball coaching requirements: a state case study. *The Sport Journal*, 11.

Elliott, B., & Ackland, T. (1982). Physical and impact characteristics of aluminium and wooden cricket bats. *Journal of Human Movement Studies*, 8, 149-157.

Escamilla, R. F., Fleisig, G. S., DeRenne, C., Taylor, M. K., Moorman, C. T., 3rd, Imamura, R., Barakatt, E., Andrews, J. R. (2009). A comparison of age level on baseball hitting kinematics. *Journal of Applied Biomechanics*, 25(3), 210-218.

Hay, J. G. (1978). *The biomechanics of sport techniques*. Englewood Cliffs, Prentice-Hall.

Katsumata, H., Himi, K., Ino, T., Ogawa, K., & Matsumoto, T. (2017). Coordination of hitting movement revealed in baseball tee-batting. *Journal of Sports Sciences*, 35(24), 2468-2480. doi:10.1080/02640414.2016.1275749

Mitchell, S. R., Jones, R., & King, M. (2001). Head speed vs. racket inertia in the tennis serve. *Sports Engineering*, 3, 99-110. doi:10.1046/j.1460-2687.2000.00051.x

- Nicholls, R. L., Elliott, B. C., Miller, K., & Koh, M. (2003). Bat kinematics in baseball: Implications for ball exit velocity and player safety. *Journal of Applied Biomechanics*, 19(4), 283-294. doi:10.1123/jab.19.4.283
- Race, D. E. (1961). A cinematographic and mechanical analysis of the external movements involved in hitting a baseball effectively. *Research Quarterly. American Association for Health, Physical Education and Recreation*, 32(3), 394-404. doi:10.1080/10671188.1961.10613161
- Sprigings, E. J., & Neal, R. J. (2001). Shifting a portion of the clubshaft's mass distally: Does it improve performance? *Sports Engineering*, 4(1), 15-21. doi:10.1111/j.1460-2687.2001.00067.pp.x
- Tabuchi, N., Matsuo, T., & Hashizume, K. (2007). Bat speed, trajectory, and timing for collegiate baseball batters hitting a stationary ball. *Sports Biomechanics*, 6(1), 17-30. doi:10.1080/14763140601058409
- Welch, C. M., Banks, S. A., Cook, F. F., & Draovitch, P. (1995). Hitting a baseball: a biomechanical description. *Journal of Orthopaedic and Sports Physical Therapy*, 22(5), 193-201. doi:10.2519/jospt.1995.22.5.193
- Williams, T. & Underwood, J. (1986). *The Science of Hitting*. New York: Simon and Schuster.



Motion Analysis of Baseball Batting from Different Hitting-Point Heights in Different Collegiate Divisions

Tang-Yun Lo, Po-Yao Chuang, Jia-Hao Chang*

Department of Physical Education, National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan

Accepted : 2019/05

ABSTRACT

Purpose: This study aimed to investigate the effect of baseball batting among different hitting-point heights. This information could be provided to the coaches and players for improving the batting technique. **Methods:** Ten university baseball players from Division 1 (Height: 174.3 ± 6.8 cm, weight: 71.1 ± 8.5 kg, age: 23.0 ± 2.1 years) and Division 2 (Height: 175.0 ± 5.8 cm, weight: 68.9 ± 5.8 kg, age: 22.7 ± 2.8 years) participated in this study. The Vicon Motion System, Kistler force platform, and Fastec high speed video were used synchronously to collect data. Ground reaction force was normalized by body weight. A two-way mixed ANOVA was used for statistical analysis. Tukey's test was used for post-hoc analysis. The significance level was set as .05. **Results:** In the high hitting-point task, more medial and upward translation of the center of gravity, more extended of knee of stride leg when stride leg landing, and more extended of knee on pivot leg when ball impact were noted to decrease the angular speed of pelvis. The flexed elbow that made the moment arm shorter was also found in the high hitting-point task. Compared to Division 2, in Division 1, the peak value of anterior-posterior ground reaction force was larger, the timing of peak value was earlier, the knee flexion angle of the stride leg was larger when the stride leg landed, and the peak angular speed of pelvis was higher. **Conclusion:** The lower maximum speed of beat and longer time of swing shortened the time of determine and position adjustment. Therefore, the higher the hitting-point is, the harder is the player's swing. In general, the hitting performance was better in Division 1 than 2.

Keywords: kinematics, ground reaction force, swing