

第肆章、結果與討論

本章針對十名大專甲組男子羽球選手，以十部攝影機拍攝主、被動之正拍殺球動作，透過 Vicon Nexus 動作分析軟體分析及統計後的結果加以呈現，本章共分為以下六節：

第一節、兩種殺球動作之基本變數比較

第二節、兩種殺球動作之擊球點比較

第三節、兩種殺球動作之重心變化比較

第四節、擊球瞬間右上肢關節之角度比較

第五節、擊球瞬間右上肢關節之角速度比較

第六節、肩軸與腕軸

第一節、基本參數的比較

在本節當中，將殺球的基本參數做整理，共分為球速、拍頭和關節速度、殺球角度、拍面角度以及動作時間五個部份，列出其統計結果及討論。

表 4-1 基本參數比較表

參數	殺球動作	平均數±標準差	Wilcoxon
球速(m/s)	主動	84.78 ± 4.14	-2.803*
	被動	78.54 ± 5.65	
拍頭線性速度(m/s)	主動	61.12 ± 2.33	-2.803*
	被動	56.08 ± 3.19	
肩部線速(m/s)	主動	1.46 ± 0.46	-2.599*
	被動	2.20 ± 0.37	
肘部線速(m/s)	主動	3.94 ± 1.31	-2.803*
	被動	1.69 ± 0.68	
腕部線速(m/s)	主動	10.73 ± 1.13	-2.803*
	被動	7.54 ± 1.25	
出球角度(deg)	主動	-7.57 ± 1.92	-0.968
	被動	-6.83 ± 1.80	
擊球拍面角度(deg)	主動	75.37 ± 5.43	-0.663
	被動	76.69 ± 4.44	
動作時間(s) (重心最低到擊球)	主動	0.42 ± 0.05	-2.073*
	被動	0.35 ± 0.07	

*p < .05

一、羽球飛行初速

由表 4-1 中可看出，在兩種動作的羽球殺球初速上，主動殺球平均球速 84.78m/s，被動殺球平均 78.54m/s，兩者在統計結果上達顯著差異，顯示主動殺球能較被動殺球擊出更快的球速，因此對於殺球的球速而言，主動殺球擁有較快速的擊球效果。

二、拍頭和關節線性速度

在擊球瞬間的拍頭線性速度，主動殺球平均達到 61.12m/s，而被動殺球拍頭平均則有 56.08m/s 的速率，兩種動作揮拍速率達顯著差異；主動殺球肩部速度 1.46m/s、肘部 3.94m/s、腕部 10.73m/s，被動殺球肩部速度 2.20m/s、肘部 1.69m/s、腕部 7.54m/s，兩動作關節速度皆達顯著差異。

三、羽球飛行角度

在表 4-1 羽球飛行角度的結果可得知，主動殺球的飛行角度為平均 -7.57 度，而被動殺球則為平均 -6.83 度，雖然主動殺球擁有較大出球角度的趨勢，然而在統計上卻未達顯著差異。

四、擊球瞬間拍面角度

兩種動作擊球瞬間矢狀面上拍面與水平面夾角，主動殺球平均 75.37

度，被動殺球平均 76.69 度，兩者未達顯著差異，因此兩種殺球動作在擊球瞬間之拍面角度是相同的。

五、動作時間

重心最低至擊球瞬間，主動殺球平均需要 0.42 秒的時間，而被動殺球則經歷平均 0.35 秒，在本研究所定義的擊球動作時間，差異達到顯著，因此主動殺球在執行擊球動作時，較被動殺球經歷更久的動作時間。

六、本節討論

由表 4-1 的整理當中得知，將兩種殺球動作基本運動學參數做比較，擊球時拍面角度與出球角度是無差異的，因此以兩種動作殺球時，拍面下壓程度與其造成羽球下墜角度相同；而達顯著差異的參數分別是殺球初速、關節點和拍頭線性速度以及動作時間。

殺球速度跟先前的文獻比較，若是僅參考拍攝頻率 250Hz 的文獻，球速資料平均介於 68~77.88m/s 之間，而本研究主動殺球則是達到 84.78m/s 的平均初速，可知在殺球球速上本研究是稍快的，可能跟不同實驗儀器、選手本身爆發力以及本研究執行較多次試擊選取最佳表現有關；羽球飛行角度、拍面角度和動作時間，則與文獻相符。

球速討論部分，對於羽球殺球而言，一般強調的仍是球速的快慢，球

速越快對手回擊時間越短，越容易造成對方回擊失敗，甚至根本來不及反應而直接落地，這正是殺球方最樂於見到之效果，研究結果顯示主動情境殺球能達到較高球速，被動殺球相較之下此效果是略為不足的，所以殺球快的選手於實戰中應多尋求主動殺球機會。而關節點與拍頭的線性速度，當然是直接造成球速變化的主要因素，因此在球速顯著的結果下，肘部、腕部關節點和拍頭線速度皆是主動殺球較快，是非常合理的數據；線性速度結果未一致的是肩部，被動肩關節線速度大於主動殺球，但其原因牽涉到本章第三節討論的重心移動，因肩膀靠近軀幹受身體移動影響很大，而被動殺球向右後方移動的水平速度較明顯，導致肩膀線性速度絕對值增加，然而若就向量來看，其較多向後的分量反而是不利於球速的。雖然主動殺球能有較佳的球速，然而在動作時間的比較得知，主動情境殺球所需要的動作時間是較長的，需要更充分的時間做殺球準備，在此觀點上，被動殺球卻是佔較大優勢，因為當動作時間縮短，就能以更快速度將來球處理完畢，短時間內即能從準備狀態至完成擊球，雖犧牲了球速，卻換取了迅速回擊的先機，這是欲扣殺對方平高球不得不採取的策略，因此若就本節的結果而論，基本上選手殺球動作的選擇，可說是回球效果與動作時間之間的取捨。

本節研究結果中，主動殺球能產生較高的殺球球速，因此在羽球場上若欲以高速殺球取分，對戰時應多製造能應用主動殺球的情境，如放出高

質量的網前小球，迫使對方不得不將球挑高等等；相反的，以接殺球方角度思考，若對手殺球威力過於強大，可應用不同動作所需動作時間的特性，避免回球弧度過高使之有充分準備時間，讓對方僅能以被動殺球處理，即使勉強扣殺，球速也不及主動殺球來得快，能提高我方接殺球成功率，唯需注意球路較平來回頻率亦較快，仍要有適當的準備狀態。

第二節、擊球點

本節分為擊球點離地高度，以及擊球點距離身體重心的水平、垂直相對位置，結果如表 4-2 所示。

表 4-2 擊球點比較

參數	擊球動作	平均數±標準差	Wilcoxon
擊球點離地高度(m)	主動	2.60 ± 0.09	-2.497*
	被動	2.46 ± 0.13	
擊球點與身高比(倍)	主動	1.47 ± 0.04	-2.497*
	被動	1.39 ± 0.07	
距重心垂直距離(m)	主動	1.44 ± 0.04	-2.803*
	被動	1.34 ± 0.08	
距重心前後距離(m)	主動	0.36 ± 0.09	-2.497*
	被動	0.27 ± 0.13	
距重心左右距離(m)	主動	-0.27 ± 0.12	-2.497*
	被動	-0.46 ± 0.16	

*p< .05

一、擊球點高度

在擊球高度的參數部分，主動殺球擊球點離地面平均 2.60 公尺，標準化後為身高的 1.47 倍，被動殺球平均離地 2.46 公尺，標準化是 1.39 倍的身高，達顯著差異。

二、擊球點距重心垂直距離

擊球點與身體重心的高度差距，主動殺球平均 1.44 公尺，而被動殺球則相距平均 1.34 公尺，達顯著差異。

三、擊球點距重心前後距離

在執行主動殺球時，擊球點位於身體重心前方平均 0.36 公尺，被動殺球平均則在重心前方 0.27 公尺的位置，兩者間達顯著差異。

四、擊球點距重心左右距離

此部分的參數由表 4-2 可看出，主動殺球擊球點平均位於重心右方 0.27 公尺，被動殺球擊球點則位在重心右方平均 0.46 公尺處，兩者差異達顯著。

五、本節討論

在表 4-2 關於擊球點位置的整理數據，可明確看出本研究兩種殺球動作之擊球點，不論在水平或垂直方向數據皆達顯著差異。

在與地面的垂直距離主動殺球擊球位置明顯較高，意味著打法上較被動殺球更掌握了高點擊球原則，根據文獻整理，擊球點高度有隨著實驗選手層級提高而增加的趨勢，亦有研究支持隨著不同球路的球速增加，擊球點有上升的相對關係（蔡虔祿，1997），高點擊球提早了高弧度來球的擊球時間，同時也允許更大的殺球角度，因此研究結果在擊球點的控制，主動殺球能掌握較佳的擊球高度；與文獻的比較，先前研究擊球點介於 1.40 到 1.51 倍身高，本研究主動殺球為 1.47 倍符合資料數據，被動殺球 1.39 倍身高的擊球點明顯是比較低的。

在前後方向我們發現到，主動殺球擊球點較被動離身體重心更前面，蔡虔祿等人(1997)的研究指出，擊球點離身體重心越前方的球路，能擊出更快的羽球初速，在本實驗的結果符合這樣的趨勢，擊球點較前的主動殺球，擊出的球速的確較被動為快。

至於左、右方向的擊球點，被動殺球是距離身體重心右側較遠的，也就是被動殺球在離身體較開的擊球位置，這有助於揮擊離身體右方較遠、接近邊線的右側來球。

第三節、身體重心

本節資料包括了擊球瞬間重心離地高度，擊球過成重心移動以及殺球瞬間重心速度，結果如表 4-3 所示。

表 4-3 身體重心比較

參數	殺球動作	平均數±標準差	Wilcoxon
擊球瞬間重心高度(m)	主動	1.16 ± 0.06	-1.58
	被動	1.12 ± 0.05	
擊球重心與身高比(倍)	主動	0.66 ± 0.03	-1.58
	被動	0.63 ± 0.03	
重心垂直位移(m)	主動	0.22 ± 0.06	-2.803*
	被動	0.10 ± 0.05	
重心前後位移(m)	主動	0.01 ± 0.13	-2.803*
	被動	-0.36 ± 0.23	
重心左右位移(m)	主動	-0.07 ± 0.10	-2.803*
	被動	-0.49 ± 0.18	
重心擊球瞬間垂直速度 (m/s)	主動	-0.84 ± 0.36	-0.459
	被動	-0.87 ± 0.19	
重心擊球瞬間前後速度 (m/s)	主動	0.13 ± 0.40	-2.803*
	被動	-1.08 ± 0.65	
重心擊球瞬間左右速度 (m/s)	主動	-0.45 ± 0.24	-2.803*
	被動	-1.78 ± 0.50	

*p< .05

一、擊球瞬間身體重心高度

由表 4-3 的結果得知，主動殺球擊球瞬間身體重心離地面高度平均 1.16 公尺，標準化為 0.66 倍身高，被動殺球重心平均離地 1.12 公尺，是身高的 0.63 倍，未達顯著差異。

二、擊球過程重心位移

(一) 垂直位移

從重心最低至擊到球過程中，重心提升高度主動殺球平均增加 0.22 公尺，被動殺球重心平均則上升 0.10 公尺。

(二) 前後位移

表 4-3 的結果呈現出，主動殺球擊球過程中重心平均向前移動了 0.01 公尺，而被動殺球重心則平均向後退 0.36 公尺，兩種動作之間達顯著差異。

(三) 左右位移

重心左右移動參數部份，在主動打法時重心平均向右移 0.07 公尺，被動殺球平均則向右移動了 0.49 公尺，達到顯著差異。

三、擊球瞬間重心速度

(一) 垂直方向速度

由表 4-3 可得知，擊球瞬間重心垂直速度主動殺球平均為向下 0.84m/s，被動殺球重心速度為平均向下 0.87m/s，未能達到顯著差異。

(二) 前後方向速度

擊球時重心前後方向的瞬時速度，主動殺球平均向前 0.13m/s，被動殺球重心瞬時速度平均向後 1.08m/s，兩種動作前後速度達顯著差異。

(三) 左右方向速度

擊球時重心左右方向的瞬時速度，主動殺球為向右平均 0.45m/s，被動殺球則平均向右 1.78m/s，達顯著差異。

四、本節討論

本節呈現的結果當中，僅有擊球瞬間重心高度與垂直速度未達顯著，其餘的各方向重心位移和水平速度，兩種動作都出現明顯的差異。張少遜 2003 年指出擊球瞬間重心高度殺球為 0.606 倍身高，跳殺為 0.831 倍身高，本研究結果分別為 0.66 和 0.63 倍身高，與文獻差異不大。在重心提升高度上主動殺球有較高結果，而在文獻整理也提及選手本身的技術層級越

高，擊球重心提升高度更多，本研究主動步法似乎能較符合此一特點；重心前後方向位移和瞬時速度上，出現了正負值間的顯著差異，代表著對擊球者而言，主動殺球時身體是由後下往前上的動作過程，而被動殺球身體重心則是持續地向後移動，在向前方殺球的情況下，向後退的身體重心是不利於擊球的，此觀點上主動殺球較具優勢；重心左右的位移和瞬時速度亦有所不同，就結果來看主動殺球從準備至擊球間，身體重心向右移動較被動殺球來得少且慢；討論至此我們知道，主動殺球重心向前上方位移有利於殺球表現，被動殺球則捨棄了往前上方的移動，改採取較多右後方向水平速度。

經由本節討論我們得知，被動殺球擊球過程中，身體是不斷地向右後方移動的，即是不斷地往羽球落點行進，因此研究者認為被動殺球在準備時，允許了更多向擊球位置移動的空間，相對而言主動殺球則較屬原地向上殺球的動作，換句話說，被動殺球能在離擊球點尚有一段距離時，就以準備動作進行揮拍，應是為能短時間內將球擊出的策略，而主動殺球因時間足夠，球員先到擊球點位置方才開始擊球的準備。

第四節、擊球瞬間右上肢關節角度

本節討論擊球瞬間上肢各關節的角度，將肩部、手肘與手腕三個關節各軸向角度做整理，結果如表 4-5 所示。

表 4-4 上肢關節角度比較

參數	殺球動作	平均數±標準差	Wilcoxon
肩水平內收、外展 (deg)	主動	10.03 ± 4.80	-2.599*
	被動	15.04 ± 4.20	
肩內縮、外舉 (deg)	主動	110.67 ± 5.57	-0.255
	被動	110.79 ± 7.43	
肩內、外轉 (deg)	主動	-42.83 ± 9.18	-0.968
	被動	-39.38 ± 7.41	
肘屈曲、伸展 (deg)	主動	32.95 ± 3.20	-2.599*
	被動	37.02 ± 4.59	
腕部尺、橈屈 (deg)	主動	-33.80 ± 6.36	-2.599*
	被動	-30.47 ± 4.89	
腕屈曲、伸展 (deg)	主動	18.90 ± 4.18	-1.58
	被動	20.71 ± 4.13	
前臂內、外旋 (deg)	主動	81.40 ± 11.97	-2.701*
	被動	86.73 ± 9.39	

*p < .05

一、肩關節角度

(一) 肩水平內收、外展

表 4-4 列出擊球瞬間上肢關節的角度，由表中得知肩關節水平內收、外展角度主動殺球平均是 10.03 度，被動殺球則為平均 15.04 度，彼此間差異達到顯著。

(二) 肩內縮、外舉

表 4-4 肩關節內縮、外舉角度主動殺球為平均 110.67 度，被動殺球平均是 110.79 度，兩者未達顯著，因此兩種動作在擊到球的瞬間，肩關節內縮、外舉的角度是無差異的。

(三) 肩內、外轉

主動殺球肩關節內、外轉角度平均為-42.83 度，被動殺球平均為-39.38 度，未達顯著差異。

二、肘關節屈曲、伸展角度

表 4-4 所列肘關節屈曲、伸展角度的參數，主動殺球擊球瞬間手肘平均為 32.95 度，而被動殺球則是平均 37.02 度，在肘關節屈曲、伸展的角度上，兩種擊球動作達顯著差異。

三、腕關節角度

(一) 腕部尺、橈屈

腕關節尺、橈屈角度部分，主動殺球平均為-33.80 度，被動殺球平均是-30.47 度，達顯著差異。

(二) 腕屈曲、伸展

擊球瞬間腕關節屈曲、伸展角度，兩種殺球動作分別為主動殺球平均 18.90 度，被動殺球平均 20.71 度，兩者未達顯著。

(三) 前臂內、外旋

在前臂擊球瞬間內、外旋程度上，主動殺球瞬間角度平均 81.40 度，被動殺球平均是 86.73 度，兩種動作前臂內、外旋角度達顯著差異。

四、本節討論

關於羽球研究上肢關節角度，文獻中幾乎都從關節矢狀面側投影著手，而本研究卻是以關節各軸向真實的角度呈現，因此在數據的比較上難以相互對照，因此本節不做與之前文獻的討論。

在本文右上肢關節角度的比較，由表 4-4 結果得知，肩部水平內收、外展角度上被動殺球大於主動，此點我們能從選手擊球時的身法看出端倪，不論從影片觀察或肩髖軸角度的計算皆可發現，兩種殺球動作在擊球

準備時，身體皆呈現出側身狀態，這是正拍擊球的基本身法，在以主動殺球過程中，身體會由原本的側身轉成正面，以面對目標區的身面將球擊出，但以被動殺球實施時，即使到了殺球瞬間，身體仍是處於側身狀態，因此就側身的身法而言，若欲擊出直線球路而不出邊線，對殺球者來說實際上是向左揮拍，將球往身體左方擊出，肩關節內收程度勢必需要增加，所以肩關節才會出現顯著差異的水平內收角度。

此外，值得一提的是肩關節內縮、外舉方向的角度，在表 4-2 所列擊球點的結果中我們知道，主動殺球擊球點較高，而被動則較低、較偏身體右側，若以此判斷，主動擊球上臂理應較高舉，肩關節當有較大外舉角度才是，然而結果卻不然，兩種殺球肩外舉角度幾乎完全相同；研究者認為，這是因為殺球時身體軀幹並非筆直所致，從拍攝影片當中可觀察到，隨著揮拍動作的執行，受試者身體會適度的向左側傾斜，且主動殺球時傾角更甚於被動，而就是這樣的傾斜使得肩部外舉角度相對地減少，因此，也許在絕對座標中主動殺球上臂看似是高舉較明顯的，但因軀幹向左傾角減少了肩外舉的實際角度，因此造成在本研究數據上並未有所差異的結果。最後，在肩關節內外轉角度上，本研究結果得知兩種動作並沒有出現差異，肩部擊球瞬間的內、外轉程度是相同的。

本研究套用的身體模型在分析軟體中，手肘關節角度僅定義屈曲、伸展此一軸向，至於前臂的內、外旋方向則定義在腕關節角度，從肘關節角

度的結果發現到，被動殺球的手肘是明顯較為彎曲，顯示在執行殺球時未能有足夠程度的伸展，而主動殺球擊球時手肘伸展較完全，筆者認為就爭取擊球高度和球速而言，擊球剎那上肢充分的延伸應較有利於殺球動作。

手腕關節中，達顯著的分別為尺、橈屈以及前臂內、外旋兩個軸向，屈曲、伸展方向則是相同的，研究者認為此結果如同造成肩關節水平內收差異的原因，亦是殺球剎那身體面對方向不同所導致，對於殺球者而言，在採用被動殺球時若欲向左揮拍，腕部橈屈與前臂內旋的程度理應較大，因此達到了顯著差異，而採取主動時向前方向擊球腕關節屈曲應較明顯，本研究結果亦有此趨勢，然而在統計上卻未能顯著。

第五節、擊球瞬間右上肢關節角速度

本節探討擊球瞬間上肢各關節的角速度，呈現肩部、手肘與手腕三個關節各軸向角速度結果，實驗數據如表 4-5 所示。

表 4-5 上肢關節角速度比較

參數	殺球動作	平均數±標準差	Wilcoxon
肩水平內收、外展 (deg/s)	主動	-61.03 ± 193.20	-1.886
	被動	60.79 ± 149.59	
肩內縮、外舉 (deg/s)	主動	338.53 ± 114.75	-0.866
	被動	378.37 ± 106.30	
肩內、外轉 (deg/s)	主動	3098.39 ± 509.03	-2.701*
	被動	2305.21 ± 668.72	
肘屈曲、伸展 (deg/s)	主動	621.36 ± 258.07	-2.599*
	被動	471.16 ± 171.98	
腕部尺、橈屈 (deg/s)	主動	744.87 ± 242.97	-1.988*
	被動	1048.26 ± 223.27	
腕屈曲、伸展 (deg/s)	主動	-805.20 ± 317.70	-2.09*
	被動	-564.69 ± 400.07	
前臂內、外旋 (deg/s)	主動	1522.28 ± 481.99	-1.682
	被動	1997.85 ± 443.04	

*p < .05

一、肩關節角速度

(一) 肩水平內收、外展

表 4-5 列出了主、被動殺球在擊球瞬間上肢關節的角速度，根據表中資料，擊球瞬間肩關節水平內收、外展角速度主動殺球平均是-61.03 度/秒，被動殺球則是平均 60.79 度/秒，在統計上兩者未達顯著。

(二) 肩內縮、外舉

擊球瞬間肩關節內縮、外舉方向的角速度，主動殺球平均 338.53 度/秒，被動殺球平均是 378.37 度/秒，兩者未達顯著。

(三) 肩內、外轉

肩部內、外轉角速度參數，主動殺球平均瞬時角速度 3098.39 度/秒，被動殺球則為每秒 2305.21 度，兩種動作達到顯著差異。

二、肘關節屈曲、伸展角速度

表 4-5 中擊球瞬間手肘關節角速度，主動殺球平均為 621.36 度/秒，被動殺球則是平均 471.16 度/秒，兩者間達顯著差異。

三、腕關節角速度

(一) 腕部尺、橈屈

擊球瞬間腕關節角速度中，在腕部尺、橈屈方向主動殺球瞬間平均 744.87 度/秒，而在被動殺球動作中則為 1048.26 度/秒，兩者達統計上的顯著。

(二) 腕屈曲、伸展

在腕關節屈曲、伸展方向，主動殺球瞬間關節角速度平均 -805.20 度/秒，被動殺球瞬間角速度平均 -564.69 度/秒，兩者達顯著。

(三) 前臂內、外旋

關於前臂瞬時內、外旋角速度，由表 4-5 發現主動殺球瞬間前臂內旋角速度平均達 1522.28 度/秒，而被動殺球則為平均 1997.85 度/秒，未達顯著。

四、本節討論

與前一節上肢關節角度一樣，文獻中對於上肢關節角速度的參數，都以矢狀面側投影闡述，因此與本研究選擇的關節角速度呈現方式不一致，未能有數據上比較的意義。

在肩關節的不同軸向中，達顯著者為內、外轉方向，而水平內收、外展以及內縮、外舉方向角速度則沒有不同，因此肩關節擊球動作中，最主要的差別在於肩的內轉速度；從三個軸向的角速度平均值我們發現，肩關

節內、外轉的值是其他兩個軸向的數倍甚至數十倍，因此可合理地判斷肩關節在殺球過程中，內、外轉軸向的動作扮演了最重要的角色，此結果與潘光敏學者在 2007 年作的研究相符合，而肩部內旋角速度主動殺球顯著較快，應是造成揮拍和擊球效果不同的因素之一。

在肘關節角速度兩種殺球的表現有所差別，以主動殺球擊球瞬間手肘的屈曲角速度是更快的，理應造成更有效的擊球。

手腕關節中可看出被動殺球的橈屈角速度較明顯，而主動殺球時則有較多屈曲動作角速度，造成此差異的主要原因，研究者認為仍是擊球瞬間身面不同所導致，當擊球剎那上臂高舉時，手腕屈曲是朝身體前方的動作，而橈屈則是往左手方的運動方向，當主動殺球時身體會轉向正面擊球，因此相對而言有較明顯扣腕（蔡虔祿，1997），得到較快屈曲角速度，橈屈程度自然降低，被動殺球因側身擊球，需要更多橈屈方向腕部動作將球擊至身體左方，因此橈屈較快，相對地朝身體前方屈曲方向角速度，則因其動作非必要性而降低；前臂內旋角速度部分，從結果得知是未達顯著差異的，所以兩種殺球在前臂內旋速度上是相同的。在腕關節的三個軸向角速度結果中，前臂內旋角速度是最快的，所以若單就絕對值大小判斷，殺球時的前臂內旋動作，在手腕的三個軸向動作中應是最首要的，而被動殺球之前臂內旋角速度雖較快，卻未能顯著高於主動，因此並不足以展現其效益。

第六節、肩軸與腕軸

本節探討擊球過程當中肩軸與腕軸在橫切面角度的變化情形，表 4-6-1 列出肩、腕軸角度計算值；肩與腕軸角度差分別取重心最低、拍頭最低以及擊中球三個瞬間的畫面，而肩、腕軸個別旋轉角速度則以拍頭最低畫面做分期，計算兩個分期和總動作時間內的肩、腕軸平均旋轉角速度，資料結果如表 4-6-2 所示。

表 4-6-1 肩軸、腕軸角度計算值

參數	殺球動作	平均數±標準差	Wilcoxon
肩軸角度(deg)	主動	179.00 ± 8.72	-0.459
(重心最低)	被動	182.53 ± 14.76	
肩軸角度(deg)	主動	222.29 ± 8.75	-2.803*
(拍頭最低)	被動	228.60 ± 6.82	
肩軸角度(deg)	主動	266.86 ± 13.81	-2.497*
(擊球瞬間)	被動	253.44 ± 13.43	
腕軸角度(deg)	主動	181.55 ± 14.04	-2.803*
(重心最低)	被動	228.60 ± 13.45	
腕軸角度(deg)	主動	251.49 ± 10.28	-1.274
(拍頭最低)	被動	249.13 ± 8.91	
腕軸角度(deg)	主動	256.48 ± 3.64	-2.803*
(擊球瞬間)	被動	237.46 ± 10.55	

*p < .05

表 4-6-2 肩軸、腕軸角度差及平均角速度比較

參數	殺球動作	平均數±標準差	Wilcoxon
肩腕軸角度差(deg)	主動	2.55 ± 11.13	-2.803*
(重心最低)	被動	46.07 ± 16.06	
肩腕軸角度差(deg)	主動	29.20 ± 8.50	-2.701*
(拍頭最低)	被動	20.53 ± 8.36	
肩腕軸角度差(deg)	主動	-10.37 ± 11.75	-1.988*
(擊球瞬間)	被動	-15.98 ± 9.31	
肩軸平均角速度(deg/s)	主動	130.64 ± 29.51	-1.376
(重心最低至拍頭最低)	被動	187.47 ± 96.67	
肩軸平均角速度(deg/s)	主動	568.44 ± 122.71	-2.803*
(拍頭最低至擊球)	被動	337.22 ± 138.62	
肩軸平均角速度(deg/s)	主動	213.76 ± 38.32	-0.153
(重心最低至擊球)	被動	218.84 ± 102.97	
腕軸平均角速度(deg/s)	主動	208.36 ± 40.35	-2.701*
(重心最低至拍頭最低)	被動	84.34 ± 71.78	
腕軸平均角速度(deg/s)	主動	60.53 ± 125.18	-2.803*
(拍頭最低至擊球)	被動	-155.22 ± 80.46	
腕軸平均角速度(deg/s)	主動	181.92 ± 34.17	-2.803*
(重心最低至擊球)	被動	29.80 ± 59.69	

*p< .05

一、肩髖軸角度差

(一) 重心最低

在擊球前重心最低瞬間，主動殺球動作肩軸與髖軸角度相差平均 2.55 度，被動殺球平均則差 46.07 度，兩種動作有顯著差異。

(二) 拍頭最低

當擊球前拍頭落至最低點瞬間，肩髖軸角度差主動殺球為平均 29.20 度，被動殺球則平均差距 20.53 度，拍頭最低時肩髖軸角度差達顯著差異。

(三) 擊球瞬間

表 4-6-2 中擊球瞬間肩髖軸角度差之參數資料，主動殺球為平均 -10.37 度，而被動殺球則是平均 -15.98 度，兩動作在擊球角度差呈顯著。

二、肩軸平均角速度

(一) 重心最低至拍頭最低

在此分期肩軸的平均角速度比較，主動殺球平均是 130.64 度/秒，被動殺球分期平均角速度則為 187.47 度/秒，兩種動作間無顯著差異。

(二) 拍頭最低至擊球

從拍頭最低至擊中球瞬間的分期，肩軸平均角速度主動殺球平均 568.44 度/秒，被動殺球平均 337.22 度/秒，此分期的肩軸平均角速度達顯著差異。

(三) 重心最低至擊球瞬間

在整個殺球動作時間內，主動殺球肩軸平均角速度 213.76 度/秒，而被動殺球平均角速度 218.84 度/秒，總時間的肩軸平均角速度未達顯著。

三、腕軸平均角速度

(一) 重心最低至拍頭最低

重心最低至拍頭最低分期中，主動殺球腕軸平均角速度為每秒 208.36 度，被動殺球平均每秒 84.34 度，達顯著差異。

(二) 拍頭最低至擊球

在拍頭最低至擊球時間內，腕軸角速度主動殺球平均 60.53 度/秒，而被動殺球則為-155.22 度/秒，兩者達顯著差異。

(三) 重心最低至擊球瞬間

在總時間的腕軸平均角速度參數，可發現主動殺球平均每秒 181.92 度，被動殺球平均則為每秒 29.80 度，兩種動作平均腕軸角速度達顯著差異。

四、本節討論

研究結果由表 4-6-2 可看出，肩髖軸角度差在各分期點瞬間皆達顯著差異，重心最低時主動殺球的肩軸與髖軸間平均僅 2.55 度，可說是幾乎沒有角度差，但被動殺球角度差值則是呈現平均 46.07 度大幅度落差，Bartonietz(1994)認為肩髖軸角度差代表著軀幹扭轉的程度，可見在殺球動作準備時，被動殺球的軀幹扭轉已是相當明顯的，而到了拍頭最低瞬間，肩髖軸角度差值主動明顯高於被動，此時的軀幹扭轉程度反而是主動殺球較為顯著；從重心最低和拍頭最低兩個剎那討論，可發現被動殺球在準備時軀幹已呈現大幅度的扭轉狀態，擊球前拍頭拉至最低位置時反而扭轉程度縮小了，但主動殺球卻截然不同，準備時幾乎未扭轉，等到拍頭下降時才將扭轉程度增大，我們知道殺球屬過肩投擲的一種（鐘祥賜、蕭秀萍，2004），投擲時扭轉狀態目的在於伸展軀幹肌肉群，增加肌肉張力以利接續的擊球動作，若就牽張反射的觀點來看，最大幅度的動作應發生在快擊中球前，因為牽張反射的效果是即時的，若時間過久即失去它的效益，由此看來，在被動殺球時，過早的軀幹扭轉所產生的利益應是有限的，相反的以主動殺球時，其軀幹扭轉在即將擊球前出現，理論上以此種方式擊球，牽張反射效果才得以彰顯；最後，在擊中球的瞬間兩種殺球的角度差皆來到負值，顯示此時肩軸旋轉已超過了髖軸，從結果看來，被動殺球瞬間肩軸與髖軸角度差值，軀幹扭轉大於主動殺球，推論是向身體左側擊球的動

作，增加了擊球瞬間的扭轉程度。所以在兩種殺球擊球過程中，軀幹扭轉程度是有明顯差別的，而主動殺球身體軀幹的運用較能掌握牽張反射原理，提高了擊球的效益。

肩軸分期平均角速度的結果，僅在拍頭最低至擊球分期有差異，但此分期也正是擊球前最重要的一段時間，主動殺球在此期間肩軸角速度較高，楊昌展(2006)指出軀幹旋轉速度會影響擊球表現，理論上肩軸較快的轉速有助於帶動上肢，達到更快速的揮拍，因此亦是造成球速差異的因素之一。

髖軸旋轉速度的參數，不論是在前後分期或是動作時間總平均，角速度差異皆達顯著，由此我們得知被動殺球在整個擊球過程中，髖軸旋轉速度皆是不及主動步法的。

若仔細觀察，我們不難發現到肩、髖軸角速度前後分期的變化關係：為了提升揮拍速度，上半身肩軸轉速由慢變快、下半身髖軸角速度則相對地降低，有如角動量守恆原理，某部份角速度的提升，總伴隨著另一部份角速度的減少，殺球動作中的肩、髖軸轉速亦依循著此一機制。

本節結果中旋轉角速度的部份，平均數唯一出現負值的地方，在被動殺球髖軸拍頭最低至擊球的分期，理論上正拍擊球動作軀幹的旋轉該是逆時針正值方向，但在被動打法的後半期，髖軸竟向順時針旋轉，筆者推測此乃因角動量守恆的緣故：要將肩軸角速度向上提升，理論上髖軸角速度

必須下降，我們已知在以主動殺球擊球時，髖軸能有足夠的角速度，因此即使負向角加速度令其角速度值減少，髖軸仍然向著逆時針方向旋轉為正值；但在被動殺球時，動作型態本身限制了髖軸的旋轉速度，為了令上半身肩軸正向旋轉角速度增加，髖軸產生了負角加速度，在原本轉速已不足的情況下，角速度才降至負值，出現了往反方向順時針旋轉的情形。

因此，被動殺球擊球時肩軸角速度之所以較慢，基本上是因其髖軸角速度本已明顯不足，於是在角動量守恆情況下，肩軸旋轉速度難以向上提升，降低了殺球效果。