

第肆章 結果與討論

本研究的目的為探討普通與優秀兩組排球選手在四號位助跑強攻時，扣球技術三維運動學各階段動作技術之分析，並進一步瞭解扣球不同階段技術對跳躍高度、球速之相關，以及扣球動作變項對球速之預測力分析，同時參考相關之排球文獻，進行探討，驗證形成選手扣球技術優劣的源由。



圖 4-1：扣球動作過程棒狀圖（stick figures）

本次使用兩部高速攝影機（120Hz）同步技術取得動作影片資料進行分析，三度空間實驗中所使用之參考架座標架誤差方面（Position）平均平方為 0.0067 公尺，物體空間誤差為 0.205%（表 4-1）。在各方向的整體誤差都小於 0.5%，為實驗可接受的誤差範圍。

表 4-1：參考座標架誤差值

	X	Y	Z	Position
Average mean square error (m)	0.0036	0.003	0.0048	0.0067
Average volume error (%)	0.1639	0.1612	0.307	0.205

經由三維運動學實驗所得數據之分析，本實驗可分為下列五項研究結果（一）起跳期下肢關節運動學分析；（二）起跳期離地瞬間運動學分析；（三）空中期運動學分析；（四）起跳高度、球速和其他參數之相關；（五）扣球動作變項對球速之預測力分析。

表 4-2 為起跳期下肢各關節角度參數，包括有雙腳著地重心最低時，下肢髖、膝、踝關節角度和在擺臂起跳離地瞬間下肢髖、膝、踝關節角度。

表 4-2：起跳期下肢關節參數分析摘要表

參數（度）	普通（N = 11）	優秀（N = 10）
重心最低時下肢關節角度		
右髖	116.3±9.6	118.5±14.5
右膝	95.5±8.3	98.1±8.7
右踝	84.5±6.1	86.9±10
左髖	116.3±7.4	114.9±10.2
左膝	124±4.6	128.5±6.9
左踝	117.3±5.5	121.5±6.5
起跳離地瞬間下肢關節角度		
右髖	163.4±7.2	162.4±8
右膝	160.8±6	160.2±5.9
右踝	130.2±6.6	127.9±7.4
左髖	172.2±2.5	171.2±4.8
左膝	168.4±3.2	169.2±4.1
左踝	136.8±4.4	134.8±5.3

*P<0.05

表 4-3 為起跳離地瞬間重心參數和手臂揮擺動作參數，空中動作期各參數，包括有起跳離地瞬間身體重心速度和重心角度，跳躍高度和擊球高度，以及手臂揮擺擊球之前，手部各肢段點所產生最快合速度，關節最快角速度以及球速等。

表 4-3：空中動作期參數分析摘要表

參數	普通 (N = 11)	優秀 (N = 10)
起跳離地瞬間重心參數		
水平速度 (公尺/秒)	1±0.2	1.2±0.3*
垂直速度 (公尺/秒)	3.2±0.1	3.4±0.2*
合速度 (公尺/秒)	3.5±0.2	3.9±9.902E-02*
重心角度 (度)	73.3±3.5	70.7±4.8
空中動作參數		
跳躍高度 (公分)	50.1±4	57.6±9*
重心水平位移 (公分)	41.2±13.2	50.5±11.9*
重心最高點和擊球點高度差 (公分)	2.2±1.9	1.4±1.4
擊球高度 (公分)	277±6.6	291.3±6.9*
弓身角度 (度)	138.7±7.4	139.7±7.1
揮臂角度 (度)	110.1±11.4	104.1±10.6
手臂揮擺動作參數		
肩合速度 (公尺/秒)	3±0.4	3.8±0.3*
肘合速度 (公尺/秒)	7.3±0.9	8.8±1.1*
腕速度 (公尺/秒)	10.4±1.1	12.2±1.2*
指合速度 (公尺/秒)	15.2±1.2	17.5±2*
肩關節角速度(度/秒)	766.7±146.6	937.1±152.1*
肘關節角速度(度/秒)	1072.1±141.4	1259±223.2*
腕關節角速度(度/秒)	1186.9±555.5	1200.7±485.8
球速 (公尺/秒)	21.9±1.6	26.6±2.3*

*P<0.05

第一節 起跳期下肢關節運動學分析

雙腳著地身體重心最低時，下肢關節角度

排球扣球助跑結束後，隨即進入起跳期，在起跳過程中，當選手雙腳著地時，下肢肌肉將隨即進行緩衝與儲存肌肉彈性能之動作，在此一階段中，下肢膝關節對於水平速度的緩衝與將動能轉換為垂直位移的優劣，將是影響起跳高度的主因。

經由影片資料，統計發現全部 21 位受試者，皆採用雙腳跳躍扣球，踏併跳 (step-close jump) 雙腳相繼著地後起跳的起跳方式，黃國銓 (2002) 研究發現高中男女生排球選手在踏併跳的髖、膝、踝關節在起跳下肢的離心收縮期的做功量顯著高於併腿跳。踏併跳的髖、膝、踝關節比併腿跳做更多的功，這有助於踏併跳較有效地吸收制動助跑的衝量，也較能減緩制動助跑時下肢段的衝擊。

表 4-4 表示普通與優秀兩組選手在雙腳著地重心最低時，下肢關節角度參數，兩組之間並沒有達到顯著性的差異，兩組下肢關節角度約介於普通 84.5 124 度，優秀 86.9 128.5 度。

表 4-4：雙腳著地重心最低時，下肢關節角度參數分析摘要表

參數 (度)	普通 (N = 11)	優秀 (N = 10)
右髖	116.3±9.6	118.5±14.5
右膝	95.5±8.3	98.1±8.7
右踝	84.5±6.1	86.9±10
左髖	116.3±7.4	114.9±10.2
左膝	124±4.6	128.5±6.9
左踝	117.3±5.5	121.5±6.5

*P<0.05

在起跳期中重心最低時的下肢髖、膝、踝關節角度，和趙國斌、黃長福（1994）前後排扣球動作下蹲的研究數據（前排髖、膝、踝：125.7 度、101.7 度、80.8 度），賴永成等人（1997）長快攻扣球動作研究結果（長攻髖 130.2 度、膝 115.6 度、踝 76.5 度），張恩崇（2001）三級國家選手四號位強攻的膝關節下蹲角度（國家 101.5 度，大專 100.4 度，青年 103.7 度）十分接近。

由於選手助跑起跳時，採用踏併跳的起跳方式，因此可以發現兩組受試者在雙腳著地重心最低時，下肢左右關節角度，兩邊髖關節角度十分接近（普通：左髖 117.4 度，右髖 116.9 度；優秀：左髖 114.9 度、右髖 118.5 度），但在左膝和左踝的關節角度，則均比右膝、踝關節角度要大將近 30 度左右，探究原因為，踏併跳是以雙腳依序著地起跳而非如同併腿跳雙腳同時著地的方式起跳，當助跑最後一步左腳著地時，因此形成右腳在後，左腳在前的下蹲預備姿勢，乃形成左腳的膝、踝關節會比右腳膝、踝關節角度大的現象。

在張恩崇（2001）研究中曾提到在起跳期間，下肢各關節角度因助跑速度的快慢而有所影響，當水平速度越大，踝關節與膝關節角度也將越小，此一現象形成之源因，乃因踝關節與膝關節為緩衝助跑過程中所產生的水平速度，在緩衝階段中，乃因水平動量的快慢，進而影響踝關節與膝關節形成彎曲並造成角度，而因下蹲角度的形成將使小腿肌群與股四頭肌產生離心收縮並儲存肌肉彈性能，且在起跳的蹬伸過程中，藉由能量的轉換，將影響肌肉向心收縮力量之強弱，而此一轉換過程的優劣亦直接影響到起跳高度與擊球點高度的高低。

起跳離地瞬間下肢關節角度

表 4-5 表示普通與優秀兩組選手在起跳離地瞬間，下肢髖、膝、踝關節角度參數，兩者之間並沒有達到顯著性的差異，兩組下肢關節角度，普通組 130.2 172.2 度；優秀 127.9 171.2 度。

表 4-5：起跳瞬間下肢關節角度參數分析摘要表

參數 (度)	普通 (N = 11)	優秀 (N = 10)
右髖	163.4±7.2	162.4±8
右膝	160.8±6	160.2±5.9
右踝	130.2±6.6	127.9±7.4
左髖	172.2±2.5	171.2±4.8
左膝	168.4±3.2	169.2±4.1
左踝	136.8±4.4	134.8±5.3

*P<0.05

在起跳離地瞬間的下肢髖、膝、踝關節角度，和 Coleman 在 1993 年以三度空間攝影技術，每秒 100Hz 高速攝影機分析國家級大學男子選手扣球動作的研究結果（離地瞬間髖 163.5 度、膝 171 度、踝 134.5 度）十分的接近。但和賴永成等人（1997）以每秒 60Hz 攝影機，分析大學男子排球甲組選手長攻扣球動作研究的結果（髖、膝、踝：191.6 度、165.5 度、145.9 度）。趙國斌、黃長福（1994）以每秒 30Hz 攝影機，分析排球甲、乙組選手前排扣球動作研究研究結果（髖、膝、踝：183.3 度、147.5 度、119.2 度），這兩位研究者的研究結果除了在膝、踝關節角度較為相近外，在髖關節角度方面，則有明顯差距（本研究，普通：左髖 172.1 度，右髖 163 度；優秀：左髖 171.2 度，右髖 162 度）。對於造成在起跳離地瞬間下肢髖關節角度的差異，應當是本研究和 Coleman（1993）的研究，不同於上述兩篇研究採用平面 2D 的運動學分析，而是使用 3D 攝影技術分析研究有關，且所使用之攝影機拍攝速度為每秒 120Hz 和 100Hz，比上述研究之攝影機拍攝頻率快上一倍，更能夠在受試者離地時，使拍攝所得影片資料能更為精確。

第二節 起跳期離地瞬間運動學分析

表 4-6 為起跳離地瞬間重心參數，在水平速度、垂直速度和合速度等三個參數方面，優秀組皆快於普通組，且均達顯著性差異。但在起跳角度則沒有達到顯著差異（普通 73.3 度；優秀 70.7 度）。

表 4-6：起跳離地瞬間重心速度、角度參數分析摘要表

參數	普通 (N = 11)	優秀 (N = 10)
水平速度 (公尺/秒)	1±0.2	1.2±0.3*
垂直速度 (公尺/秒)	3.2±0.1	3.4±0.2*
合速度 (公尺/秒)	3.5±0.2	3.9±9.902E-02*
起跳角度 (度)	73.3±3.5	70.7±4.8

*P<0.05

起跳離地瞬間重心速度的數值，優秀組（垂直速度 3.4 公尺/秒）和張恩崇（2001）三級男子排球選手國家隊、大專隊、青年隊離地時身體重心垂直速度（3.68、3.78、3.40 公尺/秒）研究結果較為接近，優秀組在離地瞬間身體重心水平速度為 1.2 公尺/秒，和國家隊 大專隊 青年隊：2.12、2.12、2.05 公尺/秒相比，有將近 1 公尺/秒的差距，離地瞬間速度將決定跳躍高度和起跳角度，當水平速度過大時，選手的身體重心則會偏向較不屬於助跑垂直跳躍而是向前衝跳的起跳方式，影響到跳躍高度的表現。綜觀近年有關排球扣球運動學分析的文獻（Coleman 等人，1993；趙國斌、黃長福，1994；賴永成等人，1997），相關研究結果顯示，起跳離地的瞬間身體重心的垂直速度在 3.24~3.78 公尺/秒之間，相差並不大。

以牛頓第二運動定律可以得知，起跳瞬間的垂直速度與起跳的高度有絕對的正相關。又以衝量的計算公式， $I=M \times V$ （ I 為衝量， M 為質量， V 為速度變化量），當質量固定不變時，若起跳瞬間的垂直速度越大，表示自下蹲最低點（理論上速度為零）至起跳離地的速度變化量越大，會使

衝量隨之增加，便會提昇跳躍的高度。因此，在質量固定不變時，若想要提升起跳的高度，首要因素就是要增加起跳離地瞬間的垂直速度，才可有效增加跳躍高度。

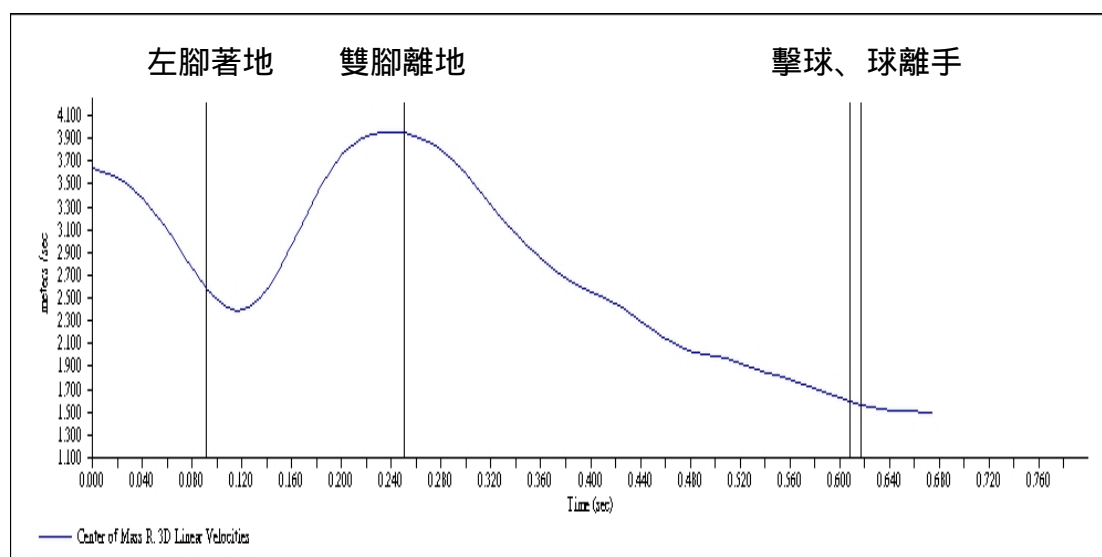


圖 4-2：身體重心合速度在不同階段變化情形

而起跳離地瞬間重心起跳角度與起跳速度的大小與跳躍的高度及遠度有密切的關係，在李毅鈞（1993）後排扣球動作的研究分析，前衝獲益理想角度在 50 54 度之間，可增大向前的速度，使起跳後身體向前上方飛行，故衝跳幅度大，又能保持相對的擊球高度，若要獲取垂直利益，則要在起跳時充分的利用膝關節做緩衝。表 4-6 參數中可以發現普通和優秀兩組選手離地瞬間身體重心角度相當接近在 73.3 70.7 度，和 Samson（1976）加拿大國家男子排球隊，起跳重心角度 78.7 度十分接近。經由文獻資料可以明顯比較得知，因為排球扣球動作型態的不同，會造成選手在起跳離地瞬間的重心角度也有明顯之差異，在前排扣球時，因為擊球點接近球網，所以選手在離地起跳重心的角度偏向原地垂直 90 度的角度起跳，而在後排攻擊和跳躍發球時，則因為要拉近擊球點與球網距離，因此在起跳離地重心角度則為偏向前衝的角度（後排攻擊：李毅鈞，1993，50 54 度；跳躍發球：張木山，1997，68.5 度；廖德秦，2001，62.71 度）。

第三節 空中中期運動學分析

身體重心位移、擊球高度

表 4-7 為空中動作期中跳躍高度、身體重心水平位移，重心最高點和擊球點高度差和擊球高度等參數。優秀和普通兩組選手在跳躍高度、重心水平位移和擊球高度，均達顯著差異。在重心最高點和擊球時重心高度差則無差異性，且兩組差距十分接近（普通 2.2 公分；優秀 1.4 公分）。

表 4-7：身體重心移動距離、擊球高度等參數分析摘要表

參數	普通 (N = 11)	優秀 (N = 10)
跳躍高度 (公分)	50.1±4	57.6±9*
重心水平位移 (公分)	41.2±13.2	50.5±11.9*
重心最高點和擊球點高度差 (公分)	2.2±1.9	1.4±1.4
擊球高度 (公分)	277±6.6	291.3±6.9*

*P<0.05

研究結果顯示，優秀組選手在跳躍高度上比普通組較為優異，顯示優秀組能夠擁有較佳的空中擊球高度。在排球扣球動作技術當中跳躍高度是衡量跳躍能力一個非常重要的指標，也影響到排球扣球動作最重要的關鍵『擊球點』的高度，至於造成兩組在重心最低和離地瞬間角度相同，而優秀組選手卻會有較佳的跳躍高度的原因，可以從表 4-6 離地瞬間重心速度參數中找到解答，因為兩組在離地瞬間重心參數中，優秀組比普通組在離地瞬間垂直速度較快，並達到顯著差異（優秀 3.4 公尺/秒；普通 3.2 公尺/秒），乃形成最後在跳躍高度上，優秀組會比普通組多出 7.5 公分的高度。Samsom (1976) 針對 11 位加拿大國家男子排球隊選手扣球動作的研究結果，平均跳躍高度為 71 公分，較此次本研究高中兩組受試者的跳躍高度（普通 50.1 公分；優秀 57.6 公分）有相當明顯之差距，達到將近十幾公分的高度差距。本次優秀組跳躍高度的研究結果接近 Coleman 等人（1993）國家大學男子排球隊選手的跳躍高度 62 公分以及趙國斌、黃長

福（1994）國內大學男子排球選手前排扣球的跳躍高度 64 公分。

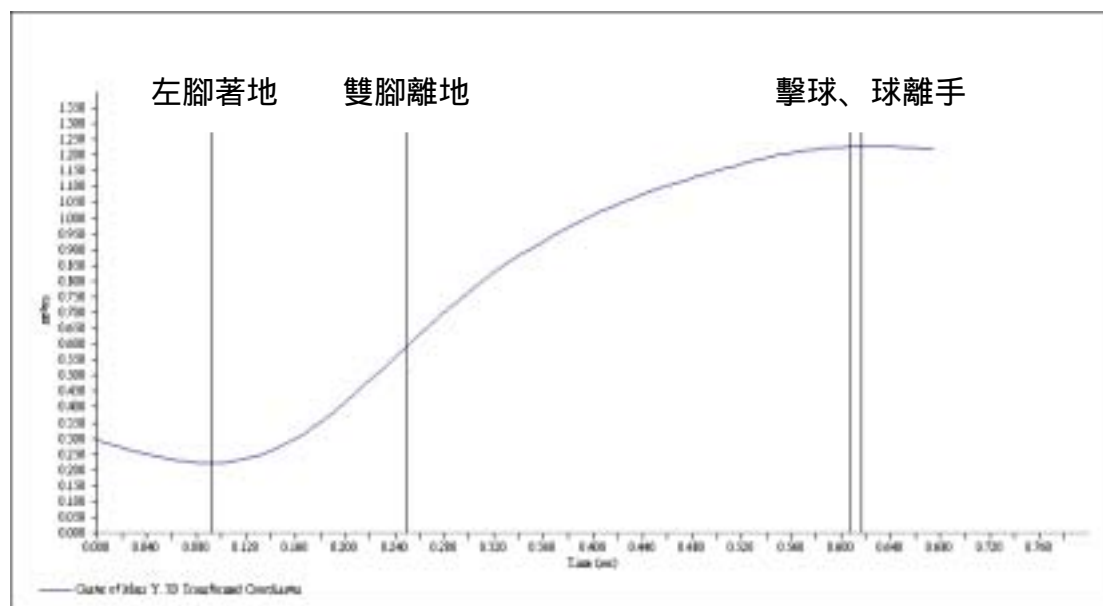


圖 4-3：身體重心高度在不同階段變化情形

另外在張恩崇（2001）三級排球選手的跳躍高度研究結果中，國家隊 88 公分，大專隊 95 公分，青年隊 81 公分。在離地瞬間身體重心垂直速度方面則為國家隊 3.68 公尺/秒，大專隊 3.78 公尺/秒，青年隊 3.40 公尺/秒。和相關排球運動學文獻相對照，我們可以發現選手身體重心垂直速度都十分的接近，約在 3.24 3.79 公尺/秒之間，但在跳躍高度方面，張恩崇（2001）的研究結果，和 Samsom（1976）加拿大國家男子排球隊選手平均跳躍高度 71 公分，及張資榮（1982）；Coleman 等人（1993）；趙國斌、黃長福（1994）等學者研究大學排球選手的平均跳躍高度 62 65 公分，有將近 20 公分左右的差距。根據落體公式 $V^2 = V_0^2 + 2gh$ （ V^2 = 末速度， V_0^2 = 初速度， g = 重力加速度， h = 拋射高度），帶入張恩崇（2001）青年隊選手在離地時身體重心垂直速度 3.40 公尺/秒，計算落體公式，得到結果跳躍高度為 58.97 公分和研究結果中所得跳躍高度 81 公分，有達近 20 公分差距，若考慮到實驗中產生之隨機誤差，使用落體公式所得之跳躍高度，也不應和研究結果的跳躍高度達到如此大的差異，很有可能是在實驗過中，產生計算錯誤之可能情形發生，才會造成如此差距。

前排四號位強攻扣球是屬於近網的扣球動作，因此身體重心在起跳後，並不會像後排攻擊、跳躍發球有明顯重心水平位移，本研究重心水平位移的結果，普通：41.2 公分；優秀：50.5 公分，和黃長福（1998）雙腳後排扣球時重心位移 87 公分；廖德秦（2001）跳躍發球重心位移 74 公分；張木山（1997）雙腳跳躍發球動作重心位移 54 公分相比，前排扣球的重心位移要明顯小的多。

在起跳後空中重心最高點和擊球時重心高度差，兩組受試者並沒有達顯著的差異，顯示 21 名受試者均能掌握在起跳後最接近空中重心最高點時擊球，使之在擊球時，能夠相當接近跳躍的最高點，充分發揮跳躍的高度，兩組受試者在空中重心最高點和擊球時重心高度差，十分的接近並沒有達到顯著性差異（普通 2.2 公分；優秀 1.4 公分）。

表 4-7 最後一個參數為擊球高度，兩組選手達到顯著性差異（普通 277 公分；優秀 291.3 公分）。影響擊球高度的原因包括有，在起跳離地的跳躍高度，空中擊球瞬間的手臂是否完全伸直和是否在重心離地提升之後最高點擊球，都會造成選手在擊球高度的不同，優秀組在跳躍高度上比普通組高出 7.5 公分的高度（普通 50.1 公分；優秀 57.6 公分），且能夠掌握在起跳後重心接近最高點時擊球（普通 2.2 公分；優秀 1.4 公分），這兩個因素都是形成優秀組能夠比普通組享有較佳擊球高度的原因，高中優秀組的擊球高度和張恩崇（2001）國家隊、大專隊的擊球高度 309、300 公分仍有一段差距，但接近青年隊 290 公分擊球高度，青年隊大部分選手是由高中選手選拔而出，本實驗優秀組的選手和青年國家隊選手的擊球高度並無相當差距，甚至高出 1.3 公分。規則明訂排球球網的高度為 243 公分，當擊球高度能夠越高時，即可比對方攔網者擁有較佳的網上優勢，更能使扣擊出的球能有較大的俯角，使球能夠更快落地，球速更快，造成對方在防守上的不及。

弓身和揮臂角度

在助跑起跳後，選手在空中弓身動作在扣球動作中，不只有平衡的作用，弓身角度的大小也將直接影響到扣球動作的進行，如擊球的時間與扣球時力量的強弱等，都將受弓身角度的狀況而左右。表 4-8 弓身角度參數，普通組與優秀組空中的弓身角度十分接近（139.4 度；139.7 度），在揮臂角度參數方面，兩組也未達顯著差異，但是優秀組比普通組的在空中揮臂角度要小 6 度。

表 4-8 弓身、揮臂角度參數分析摘要表

參數（度）	普通（N = 11）	優秀（N = 10）
弓身角度	138.7±7.4	139.7±7.1
揮臂角度	110.1±11.4	104.1±10.6

*P<0.05

郭靜如（1997）提出四號位主攻手擊球的空中姿態為起跳後空中時期是以髖關節為轉動軸，挺胸展腹，脊椎為最大後伸狀態，髖關節充分伸展，骨盆後傾，上下肢段呈現以髖關節為頂點的向後尖括號” ”型，之後向前折體時，上下肢段呈現反方向的尖括號” ”型。並指出強攻扣球時，空中” ”型身體姿態有利於提高揮臂擊球速度和擊球力量，扣出的球速度快，威力大。

本研究結果弓身角度（普通 138.7 度；優秀 139.7 度）兩組十分的接近，和張恩崇（2001）三級選手弓身的角度研究結果（國家隊 128.50 度，大專隊 128.92 度，青年隊 124.82 度）相比，本研究高中選手在空中身體弓身程度較小約有 10 度。經由影片拍攝的動作資料和分析後所得參數資料，可以發現此次 21 位高中選手，在空中弓身動作型態皆符合郭靜如（1997）所提出的弓身動作” ”型，在最後擊球時，上下肢段呈現反方向的尖括號” ”型。

空中動作期中，弓身動作後銜接為揮臂動作，表 4-7 揮臂角度結果為普通組 110.1 度；優秀組 104.1 度，雖然兩組未達到顯著性差異，但優秀組選手在空中的揮臂角度比普通組選手小。

張恩崇(2001)三級選手研究結果中(國家隊 111.82 度,大專隊 113.97 度,青年隊 105.60 度)和本次高中選手的揮臂角度,研究結果十分相近。揮臂角度為選手在空中動作中,擊球手臂向後拉引預備擊球動作,而弓身動作和揮臂動作為相關連續之連續動作,當弓身角度和揮臂角度越小,即代表手臂向後拉引程度越多,也形成手臂能夠做功的距離越長,更可以增加手臂揮擺速度,提升球離手時的速度。

手臂揮擺動作和球速

表 4-9：手臂揮擺動作和球速參數分析摘要表

參數	普通 (N = 11)	優秀 (N = 10)
肩合速度 (公尺/秒)	3±0.4	3.8±0.3*
肘合速度 (公尺/秒)	7.3±0.9	8.8±1.1*
腕合速度 (公尺/秒)	10.4±1.1	12.2±1.2*
指合速度 (公尺/秒)	15.2±1.2	17.5±2*
肩關節角速度(度/秒)	766.7±146.6	937.1±152.1*
肘關節角速度(度/秒)	1072.1±141.4	1259±223.2*
腕關節角速度(度/秒)	1186.9±555.5	1200.7±485.8
球速 (公尺/秒)	21.9±1.6	26.6±2.3*

*P<0.05

排球扣球手臂的揮擺動作是為決定球離手速度的重要關鍵因素，表 4-9 手臂揮擺動作和球速參數，優秀組在肩、肘、腕、指合速度、肩、肘關節角速度和球速等運動學參數，皆有達顯著性差異。在手臂揮擺動作中，兩組唯有在腕關節角速度參數方面，角速度十分的接近（普通 1186.9 度/秒，優秀 1200.7 度/秒），且未達顯著性差異。

根據表 4-9 手臂揮擺動作和球速的研究結果，我們可以發現普通和優秀兩組選手在手臂揮擺動作上，清楚的表達出一個訊息，那就是優秀組在手臂揮擺動作，整體的速度明顯快於普通組，尤其是在從身體近端的肩膀開始向外延伸的肘、腕、指等肢點，兩組選手在運動學合速度等參數，皆達到 2 公尺/秒的差異。

本研究優秀組之手臂揮擺速度之腕合速度（12.2 公尺/秒）和郭榮（1995）以大學甲級男排選手，使用每秒 100Hz 高速攝影機研究選手扣球技術動作研究結果，扣球時擊球瞬間腕的線速度 12.59 公尺/秒，十分接近。和張恩崇（2001）三級男子排球選手研究結果，三級選手的腕速度國家隊 11.51 公尺/秒，大專隊 11.60 公尺/秒，青年隊 10.97 公尺/秒相比較，優秀組在擊球前手臂揮擺的手腕速度，快於三級選手，普通組手臂揮擺的腕速度則是接近於三級選手中的青年隊的腕速度（普通組 10.4 公尺/秒，青年隊 10.97 公尺/秒）。

排球扣球時手部的擺動是一項三個環節的動力鏈運動（kinetic chain motion），從近端到遠端依次為上臂、前臂與手腕，透過這樣協調的過程，便能有效的掌控扣球時最佳的擺臂動作，進而達到「球速快、擊球點高」的最佳狀態（劉錦璋，1998）。在手臂揮擺所形成的關節角速度是呈現依序加速的狀況，從上臂關節、手肘關節到腕關節，角速度越來越快。

手肘關節角速度，優秀組比普通組轉動的角速度要快將近 200 度/秒，且達顯著性差異。在手腕關節角速度方面，兩組的角速度（普通 1186.9 ± 555.5 度/秒；優秀 1200.7 ± 485.8 度/秒）十分接近，未達顯著性差異，不過值得注意的是，雖然角速度未達明顯差異，但普通和優秀兩組選手，腕關節角速度在統計學上的標準差（standard deviation）很大，也說明兩組組內每位選手的腕關節角速度差異性很大，而會有每一位受試者扣球時手臂揮擺的腕關節角速度運用技巧差異性很高，這樣的實驗參數結

果應該與在實驗前僅分普通組與優秀組受試者，並未依照選手專長位置進行分組有關，快攻手的扣球特性是強調手臂揮擺速度快，擊球時間快速，並未充分運用手臂三個肢段的動力鏈運動，而四號位主攻手在擊球時，擊球時手腕速度較快，擊球時兩肢段角速度差異較明顯，較符合動力鏈肢段順序性原則。

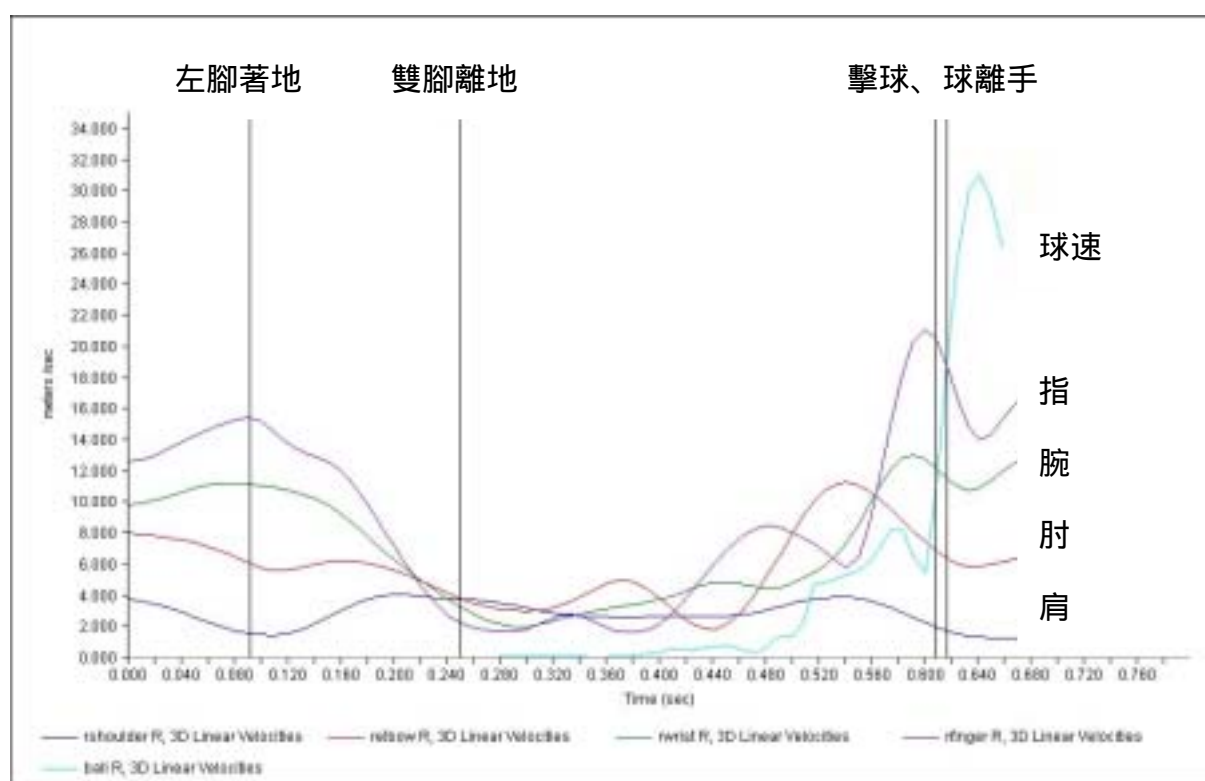


圖 4-4：手臂揮擺時，各肢點和球速之綜合速度

球員擊球瞬間，揮擺的手臂應盡量伸直以增加肌肉對骨槓桿的肌力矩。以角動量定理， $M \times t = I \times \Delta \omega$ （ M 為力矩， t 為時間， I 為轉動慣量， $\Delta \omega$ 為角速度變化量）可以得知，當時間不變時，在擊球瞬間，肘關節應盡量伸直，以增加擊球點與運動軸的垂直距離（肌力臂），進而增加轉動慣量與肌力矩，可使揮臂的角速度因此而增加，則扣球的力量會越強且球擊出瞬間的速度也會越快，也可相對的提升擊球的高度。

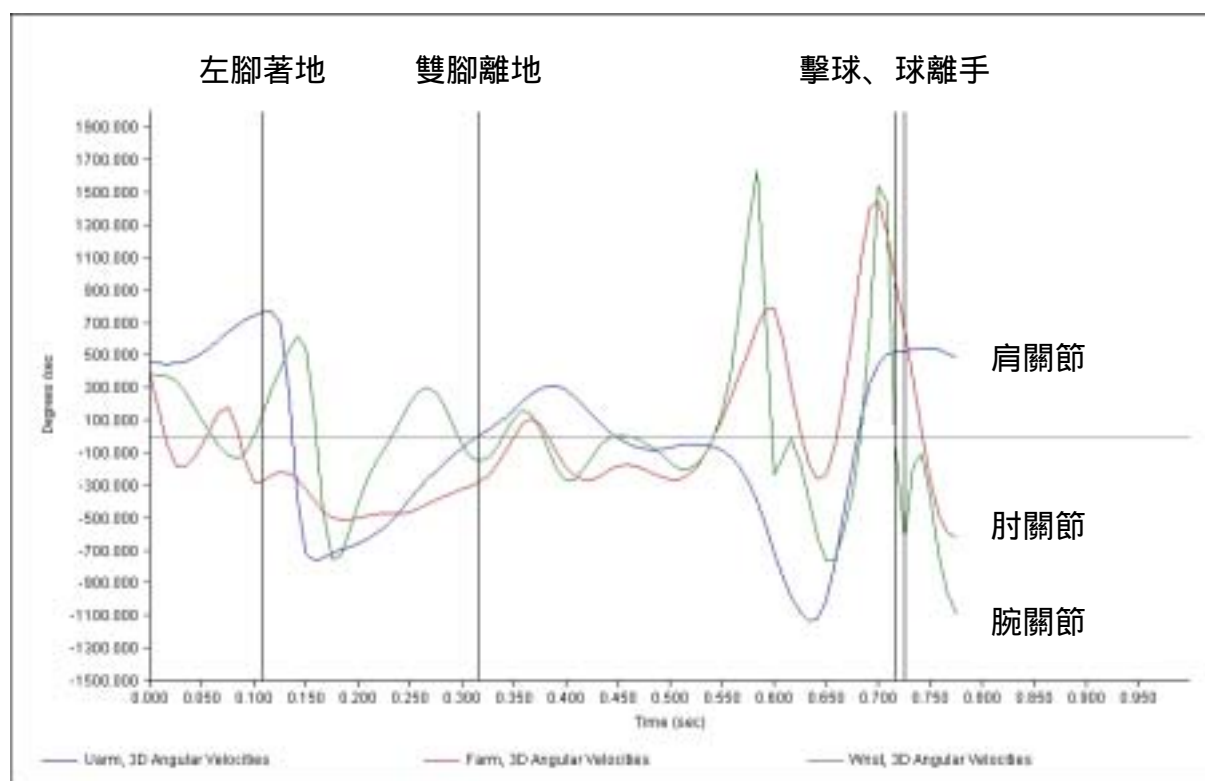


圖 4-5：手臂揮擺時，各關節角速度

表 4-9 最後一個參數，也是整個扣球過程中最重要的關鍵點『球速』，優秀和普通兩組在擊球後，球離手的速度為普通 21.9 公尺/秒；優秀 26.6 公尺/秒，優秀組的球速比普通組快了 4.7 公尺/秒，兩者達到顯著性的差異。

當進攻時球離手的速度越快，將造成對方在防守的壓力，且在判斷的反應上就更無思考的時間，需要立即且馬上的做出反應。離手球速優秀組選手的球速 26.6 公尺/秒，十分接近 Coleman 等人（1993）國家大學男子排球選手離手球速 27.0 公尺/秒的研究結果，以及黃長福（1997）大學男子後排扣球 26.7 公尺/秒的球速。

第四節 扣球不同階段技術對跳躍高度、球速之相關

起跳動作對跳躍高度之相關

為瞭解高中男子排球選手強攻扣球起跳動作，對於起跳高度之相關，本研究將 21 名受試者所得之全部參數（本實驗選取受試者最佳三次扣球動作進行分析，因其中有一位受試者成功扣球次數僅為 2 次，所以總樣本數為 60），經由皮爾遜積差相關數法（Pearson's product-moment correlation）分析後，各參數之相關情形如表 4-10。

表 4-10：強攻扣球起跳動作對起跳高度與擊球點高度之相關

	重心最低時 左髖（度）	重心最低時 左膝（度）	重心最低時 左踝（度）	重心最低時 右髖（度）	重心最低時 右膝（度）	重心最低時 右踝（度）
跳躍高度	-.324*	-.137	.030	-.437*	-.303*	-.022

	離地瞬間重心垂直 速度（公尺/秒）	離地瞬間重心水平 速度（公尺/秒）	離地瞬間重心合速 度（公尺/秒）	離地瞬間重心角度 （度）
跳躍高度	.894*	-.052	.517*	.193

N = 60

*P<.05

綜合表 4-10 的參數，可以歸納出下列兩點：

- （一）雙腳著地重心最低時，下肢左髖、右髖、右膝關節角度對跳躍高度有達顯著負相關。
- （二）離地瞬間重心垂直、合速度，對於跳躍高度有達顯著正相關。

根據表 4-10 皮爾遜積差相關的結果，可以推論出在起跳期中，雙腳著地時下肢髖、膝、踝關節的下蹲程度，對於在起跳後的跳躍高度佔有顯著的關連性。尤其是在髖、膝關節的彎曲程度，顯著影響到跳躍高度，並且達到負相關，也就說明當下蹲髖、膝關節到達適當彎曲程度時，跳躍的高度將越高，符合許多學者的研究結果『適當的下蹲動作』（counter movement）可以顯著的增加跳躍高度（Asmussen & Bonde-Petersen, 1974；Cavagna, Dusman, & Margaria, 1968；Komi & Bosco, 1978），下蹲過程當中下肢段髖、膝、踝關節的肌群可以得到伸展。這些的伸展作用除了增進肌群本身的力量外，同時也利用一些肌群和肌腱的彈性特質：增加產生力量的作功距離，從而增加向上推蹬的作用（Anderson & Pandy, 1993；Pandy & Zajac, 1991；Zajac, 1993）。

在下肢關節下蹲彎曲的同時，股四頭肌群將進行牽張反射並儲存肌肉彈性能，以便在起跳的蹬伸過程中釋放出來，而此能量的轉換將影響到離地瞬間身體重心的垂直速度，在表 4-10 的參數，可以得知離地重心的垂直速度與跳躍高度有高達 .894 的正相關，重心合速度達和跳躍高度達 .517 的正相關，這兩個結果也印證了衝量公式 $I=M \times V$ （ I 為衝量， M 為質量， V 為速度變化量），當質量固定不變時，則起跳瞬間的垂直速度越大，表示自下蹲最低點（理論上速度為零）至起跳離地的速度變化量越大，會使衝量隨之增加，便會提昇跳躍的高度。和其他相關研究結果（彭蕾，1997；張華，1997）。

根據上述的結果可以知道，當選手在開始下蹲的過程當中，應該讓下肢關節角度，達到一個最適當的下蹲程度，以提供下肢關節肌群得到伸展，儲存能量，以便在起跳時發揮最大效益，讓身體重心在離地瞬間產生最大的垂直速度，充分發揮跳躍能力，達到跳躍高度的極致，以提高網上的擊球高度，達到破壞對方破壞對方防守的最佳攻擊。

空中動作對於球速之相關

從高中男子排球選手空中動作期各動作，加以探討對於球速之相關。透過皮爾遜積差相關數法分析後，各參數之相關情形如表 4-11。

表 4-11：空中動作期中各動作對於球速之相關

	離地瞬間 重心垂直 速度 (公尺/秒)	離地瞬間 重心水平 速度 (公尺/秒)	跳躍高度 (公分)	擊球高度 (公分)	重心最高 點和擊球 時高度差 (公分)	弓身角度 (度)	揮臂角度 (度)
球速 (公尺/秒)	.894*	.510*	.505*	.598*	-.203	.107	-.170

	肩角速度 (度/秒)	肘角速度 (度/秒)	腕角速度 (度/秒)	肩合速度 (公尺/秒)	肘合速度 (公尺/秒)	腕合速度 (公尺/秒)	指合速度 (公尺/秒)
球速 (公尺/秒)	.519*	.510*	-.016	.625*	.725*	.705*	.774*

N=60

*P<.05

綜合表 4-11 的參數，歸納出下列兩點：

- (一) 離地瞬間重心垂直、水平速度、跳躍高度及擊球高度對於球速，有達顯著正相關。
- (二) 肩、肘關節角速度以及肩、肘、腕、指肢點合速度等，對於球速，有達顯著正相關。

球速的快慢是由許多不同的因素組合而成，跳躍的高度、擊球高度、弓身角度、手臂揮擺動作等等，都會影響著最終所扣出的球速，其複雜程度由此可見。表 4-11 中，離地瞬間重心垂直、水平速度都達正相關 (.894, .510)，跳躍高度和擊球高度也都有達正相關 (.505, .598)，肩、肘關節角速度達正相關 (.519, .510)，肩、肘、腕、指肢點合速度也都達正相關 (.625, .725, .705, .774)，在手臂揮擺動作符合動力鏈中遠端到近端順序運動動作 (proximal-to-distal sequence in sport movement)，一個具有相當影響力的原則就是『速度累加原則 (the summation of speed principle)』(Bun, 1972) 這個原則說明動力鏈遠端肢段的速度，會隨著參與動作過程的肢段作用而漸增。劉錦璋 (1998) 指出在排球扣球的揮臂動作上，長攻手的揮臂動作時間較長，擊球時手腕速度較快，擊球時兩肢段角速度差異較明顯，較符合動力鏈肢段順序性原則。

也就是說當選手在起跳之時，從一開始離地瞬間的速度就決定了在空中擊球後的球速，因為跳躍扣球是為一連慣性的動作，從助跑、起跳、弓身到揮臂擊球，完成的時間只有短短的 0.7 秒，沒有多餘的時間可以停頓或改變，而根據 4-10 的結果，可以得知離地垂直速度和跳躍高度有絕對關係，因此若要有快速的球速，在起跳時便要充分發揮下肢下蹲彎曲產生的力量，達到離地的最大速度，得到最佳的跳躍高度以提昇在擊球瞬間的高度，配合手臂揮擺產生肩、肘關節的角速度及肩、肘、腕、指合速度的動力鏈運動模式，使之擊球後產生最快的球速。

表 4-11 的結果，同時提供了教練在訓練和球員比賽時，一個判斷的重要資訊，因為根據皮爾遜積差相關的結果，離地瞬間重心垂直速度和擊球後的球速有 .984 的高度正相關，也就是離地瞬間速度越快，則扣球後的球速也將會快。因此在比賽中防守球員可以根據對方球員起跳瞬間的速度，來判斷對方在擊球後的球速，因為跳躍扣球是為一連慣性動作，且在極短時間內就完成扣球，中間不會有停頓或改變，因此防守球員可在對方起跳瞬間即根據其起跳的速度來決定防守的姿勢和位置，當對方在起跳瞬

間速度十分快速時，則強擊扣球的機會就很大，若對方起跳速度緩慢，則會影響最終扣球球速，甚至有可能對方會是吊球或輕扣球，此時防守就應該注意補位接吊球和移位接輕扣球。當防守時，如果可以提早判斷對方擊球後的位置和強弱，則可大大的提昇守備的成功率，增加球隊在比賽時獲勝的機會。

第五節 扣球動作變項對球速之預測力分析

本節旨在探討排球扣球技術動作中對球速的預測分析，根據表 4-10 和表 4-11 的皮爾遜積差相關結果，選出達到相關之參數進行分析，共有離地瞬間重心垂直、水平速度、跳躍、擊球高度、肩、肘角速度和肩、肘、腕、指合速度等十個變項為預測變項，球速為效標變項，進行多元逐步回歸分析 (stepwise multiple regression)，藉以瞭解各預測變項對效標變項的預測力。

表 4-12：扣球動作變項對球速之多元逐步回歸分析摘要表

選出的變項順序	多元相關係數 R	決定係數 R ²	決定係數增加量 (ΔR)	標準化回歸係數 (β)	F 值
1.指合速度	.774	.599	.592	.774	86.747*
2.肘合速度	.823	.678	.666	.376	59.940*

N = 60

*p<.05

由表 4-12 的分析結果顯示，第一個以最佳預測變項角色進入的是指合速度，在第一階段即被選入，指合速度獨立可以解釋球速的 59% 的解釋力。第二個被選入的預測變項為肘合速度，而指合速度及肘合速度兩項兩項聯合預測力達 66%，故可解釋球速 66% 的變異量，不能解釋的部分則為 34%，整體的預測力很高。且此兩項預測能力具有統計意義。

經由表 4-12 的結果，可以從手臂揮擺時，身體遠端的指、肘合速度來預測擊球後的球速，當手臂揮擺速度越快，指、肘合速度越快，將會對最後擊球時，球離手的速度增快。因此若要扣球的球速越快，手臂揮擺動作就應符合動力鏈的擺動模式，從近端依次加速至遠端形成類似繩索的揮擺過程，在最後擊球時發揮最大效果，產生最快球速。