

排球之負荷強度及訓練原則分析

邱金治^{1,*}、林則旻¹、余清芳²

¹ 國立彰化師範大學體育室

² 中國文化大學體育學系

摘要

排球比賽競爭越加激烈，高潮迭起，對運動選手在比賽中的體能及技術之負荷強度要求更加提高。擊球技術為發球、接發球、舉球、扣球、攔網及防守，佔動作總次數比例低，屬短時間高強度動作；非擊球技術為準備姿勢、各種移動步法、助跑及起跳，佔動作總次數比例高，屬低強度動作。依據來回攻守持續時間來看，絕大部分動用 ATP-PC 能量代謝系統產生所需能量，較少動用醣酵解能量代謝系統產生所需能量，導致血乳酸值及心跳率值偏低。排球比賽運動期係以無氧能量代謝方式燃燒高能磷酸化合物，提供短時間來回攻防之肌肉作功能量，但因激烈來回攻防導致持續時間越長時，能量代謝必須轉換為醣酵解能量代謝提供所需能量，在恢復期並以有氧代謝路徑重新合成 ATP。因此本文藉由分析血乳酸值、心跳率與比賽負荷強度關聯，配合能量代謝系統規劃訓練，擬定有效提升排球選手競技實力之計畫。

關鍵字：動作技術特徵、攻守持續時間、比賽負荷強度、能量代謝轉換特徵

壹、前言

排球 (Volleyball) 於 1895 年由美國麻薩諸塞州荷里約克市 (City of Holyoke Massachusetts) 基督教青年會體育部長威廉摩根 (William G, Morgan) 所發明, 經過百年的發展已成為世界主流運動項目之一, 且因比賽競爭越加強烈, 高潮迭起, 對選手在比賽中體能及技術之負荷強度 (Intensity of load) 要求也就越加提高。負荷強度指選手在承受一定外部刺激時, 身體在生理和心理各方面所承受的刺激, 並以這兩方面所表現出來的身體內部反應程度來呈現 (全國體育院校教材委員會, 2000), 就比賽過程來看, 排球是運動期 (workperiod) 與恢復期 (recovery period) 不斷反覆所構成之運動型式 (Jacil, L., 2002), 選手必需做出發球、接發球、舉球、扣球、攔網、防守等擊球技術 (Skills of hitting) 及準備姿勢、移動步法、助跑及跳躍等非擊球技術 (Skills of non-hitting), 此二項技術將使選手必須承受一定的負荷強度。

現代排球訓練的目的就是在比賽中爭取最佳運動表現, 而如何有效安排訓練, 使其訓練效果更佳, 則有賴對比賽負荷強度 (Intensity of load in match) 有所理解, 以利後續訓練計畫及處方之規劃。現階段國內排球競技實力仍嫌不足, 訓練方法是否合適為影響因素之一。訓練的負荷強度不足, 無法提昇競技實力, 但過度的訓練負荷易導致選手受傷, 為突破國內排球運動訓練盲點就必須藉實證理論, 修正訓練方式, 取得更符實際的訓練方法。因此, 研究者嘗試淺析排球動作技術特徵及比賽負荷強度, 了解能量代謝特徵, 藉以提供國內教練訓練時之參考。

貳、排球動作技術特徵探析

就排球動作技術特徵 (Characteristic of motion skills) 而言, 分成擊球技術與非擊球技術, 擊球技術為發球、接發球、舉球、扣球、防守及攔網; 非擊球技術則分別為準備姿勢、各種移動步法、助跑及起跳 (全國體育院校教材委員會, 1999), 且根據研究者觀察, 有球技術與無球技術是交替出現於比賽過程中, 例如後排選手發球→移動至防守位置→防守; 前排選手移動→接發球→助跑→起跳→扣球→攔網; 舉球員移動→舉球→補位→移動→起跳→攔網, 其各種擊球及各種非擊球技術之交替不一。從動作技術持續時間 (duration time of motion skills) 來看, 雖然比賽的時間長, 觸球次數多, 但完成一次技術持續時間卻又極為短暫, 如上肩發球 (從拋球到擊球離手) 0.7~0.9 秒、跳躍發球 0.5 秒、傳球 0.1~0.3 秒、扣球 (從起跳到落地) 0.4~0.5 秒、攔網 0.2~0.3 秒、吊球 0.7 秒 (葛春林, 2003)。另據統計, 排球比賽有球活動只有動作總次數的 20~30%, 70~80% 是無球活動 (王燕, 2004)。

整體而言，完成一次擊球技術動作持續時間極為短暫，但所運用爆發力強度較高，其比賽過程是由多次短時間爆發式擊球技術和低強度的非擊球技術所組成的特徵，也就是說，在球未落地前，擊球選手完成整個擊球技術動作時間極短，但負荷强度高，而非擊球選手在等待來球過程中，則是較長時間實施低負荷強度的移位動作。

參、排球比賽負荷強度探析

一、運動負荷強度等級

有關運動負荷強度等級，若以一般而言，運動中如果血乳酸值在 10mmol/L^{-1} 左右，可認為是中等運動強度；如果血乳酸值在低於 4mmol/L^{-1} 左右，可認為是低等運動強度；如果血乳酸值在 12mmol/L^{-1} 左右，可認為是高等運動強度(吳慧君，1999)。另外，運動中心跳率在 125 次/分時，表示運動選手運動強度屬輕量活動；若心跳率在 160 次/分時，則表示正在從事中強度運動；而心跳率達 190 次/分時，此時運動強度處於激烈之程度(林正常，1993)。

二、排球比賽負荷強度探析

根據目前研究者所蒐集國內外以血乳酸及心跳率針對排球比賽負荷強度所進行之研究相關著作，並比照前述負荷強度等級了解排球比賽負荷強度等級如表 1、表 2。

表 1
血乳酸值與排球比賽負荷強度等級

研究者	血乳酸值	吳慧君負荷強度等級	備註
Kunstlinger. et al (1987)	$2.54\pm 1.21\text{mmol/L}$	低	比賽
Butti (1990)	$2.48\pm 0.47\text{mmol/L}$	低	比賽
陳晉勻、李玉瑜 (1998)	$2.04\pm 1.05\text{mmol/L}$	低	第一場
	$2.03\pm 0.94\text{mmol/L}$	低	第二場
	$1.96\pm 0.37\text{mmol/L}$	低	第三場
周圖南 (2002)	$1.35\sim 1.85\text{mmol/L}$	低	主攻手
	$1.45\sim 1.65\text{mmol/L}$	低	舉球員
	$1.40\sim 1.70\text{mmol/L}$	低	副攻手
	$1.45\sim 1.60\text{mmol/L}$	低	快攻手
	$1.40\sim 1.65\text{mmol/L}$	低	自由球員
	$1.49\sim 1.69\text{mmol/L}$	低	第 1~5 局

表 2
心跳率值與排球比賽負荷強度等級

研究者	心跳率值	林正常負荷強度等級	備註
Walker (1973)	155	低	比賽
Fardy, et al (1976)	139	低	女大學生
Dyba (1982)	144	低	比賽
Viitasalo, et al (1987)	127	低	比賽
周圖南 (2002)	141.41~145.66	低	主攻手
	134.29~137.99	低	舉球員
	136.36~142.34	低	副攻手
	119.44~125.22	低	快攻手
	126.35~135.67	低	自由球員
	132.97~136.72	低	第 1~5 局
	136.81~141.27	低	後排~前排

從表 1 來看，表內研究所得血乳酸值介於 1.35 mmol/L~2.54 mmol/L 之間，其中周圖南 (2002) 更針對不同角色選手、各局間所得結果亦未出現 2.00mmol/L 以上之個案，依據吳慧君 (1999) 負荷強度等級來看，屬於低負荷強度；再從表 2 來看，表內研究所得心跳率值介於 119.44 次/分~145.66 次/分，同樣的周圖南也針對不同角色選手、各局間及前後排所得知結果介於心跳率 119.44 次/分~145.66 次/分，依據林正常 (1993)負荷強度等級來看，也屬低負荷強度。

排球比賽選手所承受負荷強度高低取決於來回攻守持續時間，已知擊球技術有 6 種，選手交替運用前述 6 種技術，展開激烈來回攻防，是排球比賽的特徵。根據于飛 (2003)、楊振興與葉丁嘉 (2003)、馬維平 (2009) 指出，德國學者統計排球比賽中連續攻防持續時間超過 10 秒的僅佔 10%，選手平均須承受 7~8 秒的負荷，就要進行約 12 秒的休息；美國學者 Allen 的統計則為 8~10 秒；加拿大學者統計世界男子排球錦標賽 1 回合攻守持續時間為 5.7~10.3 秒，女子組高水準比賽為 9.7 秒，低水準則為 10.4 秒，女子比賽 2 個回合間之休息時間為 11.7 秒；而亞洲男子挑戰賽各對戰組合攻守持續時間介於 4.09~6.27 秒之間；世界女子排球大獎賽台灣站各對戰組合攻守持續時間介於 7.73~9.66 秒之間。經由前面幾位專家所指，女子組比賽攻守持續時間較男子組略長，顯示來回攻守次數高於男子組，然而從攻守持續時間來看，基本上低於 10 秒。整體而言，依據攻守持續時間可理解，選手大部分是動用 ATP-PC 能量代謝系統來產生

所需能量，做為肌肉在短時間高強度提供能量代謝之需，但持續時間不長，導致無法產生大量乳酸堆積，心跳率也無法達到較大強度，這就是排球比賽負荷屬於低強度之因素。

肆、排球能量代謝系統轉換特徵

依據研究者所收集之文獻，並針對其結果彙整出排球能量代謝特點論述如表 3。

表 3
排球能量代謝特點論述

年代	研究者	論 述
1986	Gionet	以運用的比率而言，ATP-PC 系統佔 40%，無氧糖酵解系統佔 10%，有氧代謝系統佔 50%。
1987	Stilinger, ; Ludwig, & Stegemann,	發球觸球直到球落地成為死球後平均持續時間的能量來源是由磷酸肌酸分解供應，落地成死球後開始直到下一個發球觸球前恢復期則由有氧代謝路徑提供能源。
1989	蒲鈞宗、高崇玄、馮煒權	排球運動是以有氧耐力為主，間以短暫無氧活動。
1990	Butti	比賽中血乳酸濃度為 $4.8 \pm 0.47 \text{ mmol/L}$ ，證明了排球是一種乳酸無氧的活動。
1996	劉寶仁、李維川	排球運動是以有氧供能為基礎，以無氧供能為主運動。
1998	陳晉云、李玉瑜	從大力扣殺、攔網及防守中的奮力救球技術等來看，要求運動員應具有較強無氧代謝能力。
2005	范雪、嚴政	在有球時是無氧運動，在無球時是有氧運動。
2002	胡曉波	扣球、攔網及發球等大強度爆發力助攻時間約為 1~2 秒，且比賽運動期大部份不超過 10 秒，可得知排球運動是一項具備動力及速度的運動，動力及速度必須動用到磷化物做為能量來源。
2009	馬維平	以有氧能力為基礎，無氧能力為主的一種特殊類型的運動。

經由上述文獻所陳述，排球動作技術須藉由無氧能量代謝系統而完成短時間高強度爆發性擊球，且因整場比賽時間較長，須藉由有氧能量代謝系統重新合成 ATP，作為維持長時間比賽所需能量。因此，排球選手必須具備良好的無氧及有氧能量代謝能力。

ATP-PC、糖酵解及有氧等 3 種能量代謝系統各有不同的合成速度及合成能力，為適應不同負荷需求，這 3 種能量代謝系統必須將產能作用發揮至極致，動用一切可用能源物質和產能途徑，以產生運動所需能量。排球比賽過程中，短時間來回攻防以無氧方式燃燒高能磷酸化合物，就足夠做為肌肉作功能量來源，而當肌肉進行激烈運動超過 10 秒以上時，僅靠磷酸肌酸 (Creatine Phosphate) 已無法滿足 ATP 的再合成，當球速行進中 (運動期) 時間越長，能量來源越偏向無氧分解之乳酸系統 (糖酵解系統) (林正常，1995)，也就是說，當因激烈來回攻防導致持續時間越長時，能量代謝方式就必須進行轉換成無氧糖酵解能量代謝形式產生 ATP，此代謝系統可在運動開始後 30~60 秒達到最大產生速率 (李征，1997)，而糖酵解代謝產物乳酸會以不同方式予以排除，使其運動能力在整場比賽過程中不致降低，而在球落地得分後至下次發球前或換人，乃至暫停等屬於恢復期階段，將以有氧代謝路徑重新合成 ATP，這就是排球運動能量代謝轉換的特徵。

伍、排球訓練負荷強度原則

由於排球比賽競爭越來越激烈，且運動期是以 ATP-PC 及糖酵解等 2 種無氧能量代謝途徑產生所需能量為主，恢復期是以有氧能量代謝途徑在最短時間內合成 ATP 為基礎之特徵。因此，在規劃訓練時，其訓練強度、時間及生理負荷之原則如下：

一、ATP-PC 能量代謝系統

人體肌肉 ATP 含量有限，儲存在體內的 ATP 總量約為 85 克 (Brook et al., 1999; Wimore & Costill, 1999)，必須藉助 PC 合成 ADP，使其還原成 ATP，再次做為肌肉作攻之用，其訓練目的主要為提高肌肉中 PC 儲存量及 ATP 酶活性能力，PC 儲存量越多，維持運動時間越長，而 ATP 酶活性越高，能量代謝速度越快，則肌肉收縮速度也越快。依據超補償原理，在訓練中必須以最大強度運動消耗 PC 儲存量，使 PC 儲存量超量恢復，同時最大強度運動亦可使 ATP 酶活性不斷受到刺激，使其活性更為增強。在排球訓練中極為重要，經彙整王燕 (2004)；李登光與倪偉 (2006) 等專家所提見解，及研究者參與排球運動訓練多年經驗，建議欲提升 ATP-PC 能量代謝能力之訓練負荷原則為：

(一) 訓練強度必須是最大強度。

- (二) 訓練時間要在 10 秒內完成，休息時間為訓練時間的 3 倍。
- (三) 訓練完即刻心跳率達 180 次/分，休息時間以降至 120 次/分為宜。血乳酸值不超過 2mmol。

二、醣酵解能量代謝系統

選手在比賽過程中連續進行攔網、扣球或防守等技術時，所需能量將由 ATP-PC 能量代謝系統轉變為醣酵解能量代謝系統來產生，醣酵解能量代謝系統能力高低，取決於人體乳酸耐受能力，而乳酸耐受能力的提高，必須藉由高強度訓練時，所產生高濃度乳酸不斷對體內各組織細胞進行刺激適應而實現。一般來說，乳酸耐受能力之訓練必須使血乳酸值達到 12mmol/M 左右較為適合(王瑞元, 2002)，繼而在訓練中維持此一水準，以刺激緩衝能力和肌肉中乳酸脫氫酶的活性，使乳酸耐受能力提高。雖然排球比賽過程中動用到醣酵解能量代謝系統產生能量機率並不高，但為應付比賽中偶爾出現持續較長時間之攻守回合而不至於出現疲勞，就必須針對醣酵解能量代謝系統施予訓練，藉此提高排球比賽中其代謝產能之能力，經彙整王燕(2004)；李登光與倪偉(2006)等專家所提見解，及研究者參與排球運動訓練多年經驗，建議欲提升醣酵解能量代謝能力之訓練負荷原則為：

- (一) 技、戰術訓練、專項體能訓練之負荷為最大訓練強度的 90%。
- (二) 技術串聯或戰術組合訓練時間為 30 秒左右，多項目專項體能訓練時間為 40~90 秒。
休息時間為訓練時間的 3~5 倍較佳，以利肌肉在前次訓練時所生成乳酸有較充裕時間進入血液，使部份乳酸得以移除。
- (三) 訓練完即刻心跳率達 180 次/分，休息時間以降至 130 次/分為宜。血乳酸值在 12~25mmol。

三、有氧能量代謝系統

有氧訓練可增強氧的運輸與利用能力，增加身體恢復速度，有助於無氧能量代謝系統能力的提昇，對血液循環系統及呼吸系統有良好作用，可降低安靜每分鐘心跳數及每分呼吸次數，同時不使肌肉中毛細血管數量增加，血紅蛋白及紅血球含氧量也相對增加。從生理變化來看，可有效改善恢復能力，縮短休息時間，也可改善局部肌肉肌耐力，更重要的是可使身體在訓練或比賽的最後階段，承受更大無氧能量負荷。法國排球隊的最大攝氧量介於 52.7ml/kg/min，低於籃球隊、桌球隊及中長距離選手(Reilly, 1990)，男子排球選手背負集氣袋進行 14 分鐘的比賽，所測得平均攝氧量為 22ml/kg/min，約為最大攝氧量的 50%(Seliger, 1968)。基本上，排球比賽對心肺耐力的要求並不高，但心

肺耐力是體能的基礎，排球選手若具備一定程度心肺耐力，對比賽過程中恢復期 ATP 再合成有極大助益，其訓練負荷原則為：

- (一) 技、戰術綜合訓練、專項體能訓練之負荷為最大訓練強度的 80~85%。
- (二) 技術組合及戰術組合對抗訓練時間為 1~3 分鐘，專項循環體能訓練時間或有氧體能訓練為 5~10 分鐘。休息時間與訓練時間相同，以提升有氧代謝快速合成 ATP 之能力。
- (三) 訓練完即刻心跳率達 160~165 次/分，休息時間以降至 120 次/分為宜。血乳酸值在 4mmol。

陸、結語

排球是一項全面性運動，所運動的是速度、力量、耐力、敏捷及柔軟等體能的運動項目，對選手代謝能力要求極高。排球比賽是運動期與恢復期不斷反覆所構成，其特點就是由短時間高強度爆發性擊球技術及持續長時間的非擊球技術所組成。從諸多研究顯示，選手在比賽中所承受負荷僅為低強度，偶爾因激烈攻防而出現中到高強度負荷，但整體來說，排球是無氧能量代謝系統為主，有氧能量代謝系統為基礎之運動種類。國內優秀排球選手人才輩出，惟其選手競技實力無法大幅提升或提升過慢的因素之一，係因訓練過程中是否依據排球運動能量代謝特徵為基礎而規劃訓練方式，雖排球比賽過程中選手所受負荷為低負荷，但其特殊性能量需求決定了 ATP 如何被利用，而訓練則影響細胞合成、儲存和分配 ATP 的生化調節過程，所以，如能從排球運動專項角度為出發點來設計運動員的訓練處方，才能提升選手身體能量快速供應和 ATP 快速合成效率，如此，方可更有效提升選手競技實力。

參考文獻

- 于飛 (2003)。排球運動時間特徵與供能特點研究。《山西師範學院學報》，18 (2)，61-62。
- 王瑞元 (2002)。《運動生理學》。北京市：人民體育出版社。
- 王燕 (2004)。現代排球比賽對能量代謝系統機能訓練提出的新要求。《南京體育學院學報 (自然科學版)》，3 (2)，22-25。
- 全國體育院校教材委員會 (1999)。《排球運動》。北京市：人民體育出版社。
- 全國體育院校教材委員會 (2000)。《運動訓練學》。北京市：人民體育出版社。
- 李征 (1997)。試析高校排球運動中的生物化學基本特徵。《體育科技》，178 (1-2)，106-108。
- 李登光、倪偉 (2006)。提高現代排球比賽能量代謝系統機能的訓練及營養補充。《山西

- 師範大學體育學院學報, 21 (2), 125-128。
- 吳慧君 (1999)。運動能力的生理學評定。臺北市：師大書苑。
- 林正常 (1993)。運動科學與訓練。臺北市：銀禾文化事業有限公司。
- 林正常 (1995)。生理學在排球訓練上的應用。中華體育, 9 (2), 135-145。
- 周圖南 (2002)。排球比賽運動強度之研究—以參加2001年世大運我國女子排球選手為研究對象 (未出版碩士論文)。國立臺灣師範大學, 臺北市。
- 范雪、嚴政 (2005)。排球運動中的功能特點與營養補充。南京體育學院學報 (自然科學版), 2, 18-20。
- 胡曉波 (2002)。排球運動物質代謝和能量代謝特點的研究。鄭州經濟管理幹部學院學報, 17 (3), 49-50。
- 陳晉云、李玉瑜 (1998)。淺析排球運動的能量供應特點。山西大學學報 (自然科學版), 21 (3), 303-306。
- 馬維平 (2009)。排球比賽的時間特徵與能量代謝分析。甘肅聯合大學學報 (自然科學版), 23 (1), 102-104、115。
- 葛春林、呂雅君、尹洪滿 (2003)。最新排球訓練理論與實踐。北京市：北京體育大學。
- 楊振興、葉丁嘉 (2003)。排球選手體能訓練之探討。中華排球, 109, 98-103。
- 蒲鈞宗、高崇玄、馮煒權 (1989)。優秀運動員機能手冊。北京市：人民體育出版社。
- 劉寶仁、李維川 (1996)。談排球比賽的供能特點及提高供能能力的訓練。山東體育科技, 18 (3), 22-26。
- Brook, G.A, Fahey, T. D., White, T. P. & Baldwin. K. M.(1999). *Exercise Physiology: Human Bioenergetics and its Application*, 3rd ed. Mayfield Publications, Mountain View, CA.
- Butti, L. F. E. (1990). Perfil do lactate no voleibol: interrelacoes entre testes de campo e desempenho em jogo simulado. *Universidade Estadual Paulista, Rio Claro*, 42.
- Dyba, W. (1982). Physiological and activity characteristics of volleyball. *Volleyball Technical Journal*, 6 (3), 33-51.
- Fardy, P. S., Hritz, M. G. & Hellerstein, H. K. (1976). Cardiac response during women's intercollegiate volleyball and physical fitness changes from a season of competition. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 16, 291-300.
- Gionet, N. (1980). Is volleyball and aerobic or an anaerobic sport? *Volleyball Technical Journal*, 5 (1), 31-36.
- Jacil, L. V. (2002). Energy demands in the sport of volleyball. *Handbook of Sports Medicines and Science Volleyball (pp11)*. An IOC Medicine Commission Publication.

- Reilly, T., Sanborn, N., Snell, P., & Williams, C. (1990). *Physiology of Sport E. & F. N. Spon.*
- Seliger, V. (1968). Energy metabolism in selected physical exercises. *Internationale Zeitschrift fur Angewphysiologie Einschl Arbeitsphysiologie*, 25, 104-120.
- Stiliger, U., Ludwig, H. G. & Stegemann, J. (1987). Metabolic changes during volleyball match. *International journal of sports medicine*, 8 (5), 315-322.
- Viitasalo, J. T., Rusko. H., Rajala, O., Rahkila, P., Ahila, M, & Walker, J. (1987). Endurance requirement in volleyball. *Canadian Journal of Applies Sports Sciences*, 12 (4), 194-201.
- Walker, J. (1973). Conditioning requirement for power volleyball. *Intemational Volleyball Review*, 3, 39-40.
- Wilmore, J. H. & Costill, D. L. (1999). *Physiology of sport and exercise*, 2nd ed. Human Kinetics, Champaign, IL.

The Analysis of Load Intensity and Training Method in Volleyball

Chin-Chih Chiou^{1,*}, Tse-Min Lin¹ and Ching-Fang Yu²

¹ Office of Physical Education, National Changhua University of Education

² Department of Physical Education, Chinese Culture University

Abstract

Volleyball is an extremely competitive game and players are required to have high levels of physical performance and techniques during the game. The techniques of serve, re-serve, setter, smash and defense are high intensity movements that are low proportion of the total number of actions during the game. On the other hand, preparing positions, moving steps and jumping are low intensity movements that are high proportion of the total number of actions during the game. According to analysis of attacking and defending time, energy from ATP-PC system is most commonly used. Only a little energy from Glycolysis system leads low blood lactic acid and heartbeat during the game. Energy rich phosphate compounds are burned to provide energy for muscles in anaerobic metabolism during the volleyball game. However, with the extension of attacking and defending, Glycolysis system has to step in to provide more energy, and re-sets the ATP during recovery period. The purpose of this study is to promote volleyball players' performance by analyzing their blood lactic acid, heartbeat, and intensity of the game and providing appropriate training based on energy metabolism system.

Keywords: movement technical characteristics, attack and defense moment, intensity, energy metabolism exchange