

## 大專五人制足球員與大專運動習慣男子反覆衝刺運動 與有氧間歇運動表現與自律神經活性之比較

陳永盛 曾國維 侯建文 陳書芸\*

臺北市立大學

\*通訊作者：陳書芸  
通訊地址：111 臺北市士林區忠誠路二段 101 號  
E-mail: sychen@utapei.edu.tw  
DOI: 10.6167/JSR/2016.25(1)5  
投稿日期：2016 年 4 月 接受日期：2016 年 6 月

### 摘 要

本研究比較大專五人制足球員與運動習慣之大專男子學生於 20 公尺來回反覆衝刺運動 (repeated sprint ability, 無氧運動模式) 與 Yo-Yo 間歇恢復運動 (Yo-Yo intermittent recovery test level 1, 有氧運動模式) 後心率變異度、血乳酸濃度、運動自覺量表之變化。10 名國內大專體育相關科系非運動專長男子學生 (對照組) 與 10 名大專公開組男子五人制足球員 (五人制組) 以隨機的方式分別完成反覆衝刺運動與 Yo-Yo 間歇恢復運動。參與者於運動前 15 分鐘與運動後 30 分鐘分別測量血乳酸濃度、運動自覺量表與臥姿安靜心電圖。研究結果顯示，五人制組在反覆衝刺運動與 Yo-Yo 間歇恢復測試運動能力明顯優於對照組。血乳酸濃度與運動自覺量表於反覆衝刺運動與 Yo-Yo 間歇恢復運動前後兩組之間皆無明顯差異，代表兩組皆經歷相似的運動壓力。心率變異度指標中，五人制組於反覆衝刺運動後高頻功率 (high-frequency power, HFP) 與高頻功率比 (normalization of HFP, nHFP) 低於對照組，而極低頻功率比 (normalization of very low-frequency power, nVLFP) 則高於對照組；Yo-Yo 間歇恢復運動運動後兩組之間心率變異度指標沒有顯著差異。而運動模式比較中，只發現五人制組 Yo-Yo 間歇恢復運動後低頻功率比 (normalization of LFP, nLFP) 明顯高於反覆衝刺運動後低頻功率比。本研究結論為無氧運動屬性的高強度反覆衝刺運動後，大專五人制足球員心因性副交感神經活性低於大專體育科系學生。而有氧運動屬性的 Yo-Yo 間歇恢復運動後，大專五人制足球員與大專體育科系學生心因性自律神經調控方式則沒有差異。

**關鍵詞：**交感神經、副交感神經、自律神經系統、Yo-Yo 間歇恢復測試、反覆衝刺

## 壹、緒論

五人制足球以每隊五名球員的方式，在長度 38 ~ 42 公尺與寬度為 18 ~ 25 公尺的場地進行競賽。比賽場地主要在室內木質地板或是五人制足球專用地墊進行。五人制足球運動具有技術腳法靈巧、攻防節奏快與比賽強度高的特性，所以五人制足球的攻防節奏緊湊、比賽張力與對抗性強，容易激起現場觀眾高昂的情緒。五人制足球比賽時，平均約每 8 ~ 9 秒有一次運動強度的變化 (Dogramaci, Watsford, & Murphy, 2011)，例如由慢跑改變成衝刺或由直線跑改變成左右橫移的跑步。因此五人制足球為間歇運動型態的團隊運動。五人制足球為高強度的運動項目，以西班牙職業五人制足球比賽為例，球員每分鐘心跳率介於 170 ~ 190 次之間，約有 83% 的比賽時間心跳強度超過 85% 的最大心跳強度 (Barbero-Alvarez, Soto, Barbero-Alvarez, & Granda-Vera, 2008)。研究顯示，職業五人制足球員最大攝氧量為 62.8 ml min kg，半職業球員最大攝氧量為 55.2 ml min kg (Álvarez, D'ottavio, Vera, & Castagna, 2009)。同時，比賽時球員時常出現 3 至 4 趟的連續衝刺，然後進行約 20 至 30 秒鐘的低強度活動。Barbero-Alvarez et al. (2008) 從西班牙頂級職業聯賽四場賽事的數據中，發現球員每分鐘平均移動距離為 117.3 公尺，整場比賽中約有 28.5% 的總移動距離為中強度的奔跑速度、13.7% 的總移動距離為高強度的奔跑速度、8.9% 的總移動距離為全速衝刺。

在運動訓練，記錄心跳率的變化可

以提供短期與長期運動形式下身體調節內在機能的參考訊息。心跳率改變的生理機轉主要來自於自律神經系統 (autonomic nervous system, ANS) 中交感神經與副交感神經相互的調控機制影響，此心跳間期的變化稱為心率變異度 (heart rate variability)。頻域分析 (frequency domain analysis) 為心率變異度研究上主要用來分析短期間心率變異度的方法，可深入瞭解自律神經系統對心臟竇房結神經律動的影響。從心電圖記錄心跳週期 (cardiac cycle) 心率波形振幅與頻率上的訊號，分析固定時間區段中各個 R 波訊號之間時距的變化。最常見的方式是將時域訊號 R-R 間期經由快速傅利葉轉換 (Fast Fourier transform, FFT) 來獲得功率頻譜訊號。頻譜分析中訊號介於 0.04 ~ 0.15 Hz 之間列為低頻功率，主要受末梢血管縮張力的律動影響，並與體溫調節有關，此部份反應交感神經、腎素與血管收縮素的活性作用；0.15 ~ 0.40 Hz 之間列為高頻功率，此部份與呼吸調節有關，高頻功率反應副交感神經活性作用 (陳高揚、郭正典、駱惠銘，2000)。低頻功率則為交感神經與副交感神經共同調控的指標；高頻功率為副交感神經活性的指標。此外，透過低頻功率與高頻功率比值，可以明顯地分析出交感神經活性與副交感神經活性調降的效應。在研究上，記錄運動前與運動後 ANS 對心臟迷走神經 (cardiac vagal) 與交感神經活性的調控方式，可以瞭解運動員心血管功能對運動訓練的適應性 (Sloan et al., 2009, 2011) 與運用在長期訓練中運動疲勞的監

控 (Buchheit et al., 2013; Leti & Bricout, 2013; Oliveira, Leicht, Bishop, Barbero-Álvarez, & Nakamura, 2013)。

從長時間的訓練效益來看，職業五人制足球員於季前訓練結束 (Soares-Caldeira et al., 2014) 與賽季中 (Oliveira et al., 2013)，安靜時心臟迷走神經的活性功能提升，顯示五人制足球專項訓練對於自律神經調控機制的影響性，並且伴隨著間歇運動能力的增進。近期研究亦指出，職業五人制足球員季前訓練期間減少相鄰正常心跳間期差值平方和均方根的心率變異度值 (rMSSD) 與球員訓練疲勞的累積有關 (Nakamura et al., 2016)。然而，立即性反應而言，運動後心率變異度調控方式與運動強度、運動型態、運動員體能狀況有關 (Makivić, Nikić, & Willis, 2013)，舉例來說，運動後 1 小時內高頻功率在持續運動後較間歇運動後高。同時與持續運動比較，間歇運動後副交感神經的調控需要較長的時間恢復活性。因為不同運動模式的體能負荷下，能量消耗的代謝功能與心血管功能的調控方式皆不相同。五人制足球員於比賽中經歷不同強度的有氧或無氧間歇運動壓力後，經由替換休息的過程中，必須於休息期間內盡速調整身體狀況，然而未有相關文獻探討五人制足球員於有氧間歇運動或無氧間歇運動後心率變異度的調控方式，此部份可以幫忙我們瞭解五人制足球員自律神經功能於有氧間歇運動或無氧間歇運動的特徵，以利我們發展比賽中適當的恢復策略。足球運動中 Yo-Yo 間歇恢復運動已被廣泛地用來測試球員有氧運動

能力 (Bangsbo, Iaia, & Krstrup, 2008)；而 6 趟 20 公尺折返衝刺運動則被用來測量球員無氧運動能力 (Oliveira et al., 2013)。因此，本研究以 Yo-Yo 間歇恢復運動與反覆衝刺運動來探討大專五人制足球員與大專體育相關科系學生於有氧或無氧運動模式後自律神經系統的調控方式。

## 貳、方法

### 一、研究對象

本研究招募 10 名大專體育相關科系非運動專長男子學生與 10 名大專公開組男子五人制足球員，五人制足球員每週維持 3 至 4 次五人制足球專項訓練，每週訓練時數平均約為 10 ~ 16 小時。所有參與者填寫參與者同意書以及活動與身體健康問卷，確認無任何身體條件不適與健康風險等問題後。符合條件之參與者受邀至運動檢測實驗室，經研究人員介紹實驗操作方式後，讓參與者熟練檢測動作與實驗流程，並測量身高、體重、身體組成等特徵。參與者於一週內完成無氧與有氧間歇運動測試，兩次試驗至少間隔 24 小時。

### 二、運動模式

#### (一) 有氧運動模式

本研究有氧運動模式採用 Yo-Yo 間歇恢復第一級測試，此測試能有效檢測有氧間歇運動能力，其信度與效度已廣泛地被證實 (Bangsbo et al., 2008; Krstrup et al., 2003)。研究人員設置 20 公尺長的測試區與 5 公尺長的恢復區。參與者從起跑線開

始起跑，跑到 20 公尺處的折返線後，再轉身跑回起跑線。回起跑線後，用行走或慢跑的方式在恢復區活動，等待下一趟起跑時間。每趟奔跑會有三個鳴笛聲，第一個鳴笛聲為起跑聲，參與者必須起跑的時間，第二個鳴笛聲為提示聲，提示參與者應跑到折返線的時間，第三個鳴笛聲為終點聲，指示參與者必須回到起跑線的時間。未在規定的時間內（第三個鳴笛聲響起時）回到起跑線，研究人員向參與者警告一次，第二次犯規則結束測試。記錄奔跑的總距離（每趟 40 公尺 × 趟數 = 總距離）。鳴笛聲出現的時間會隨著奔跑次數增加而逐漸縮短（嗶聲越來越快），所以 20 公尺折返的時間會越來越短，參與者必須加快奔跑速度。終點聲到下次的起跑聲之間為恢復時間，每次固定為 10 秒鐘。有氧運動模式測驗時間介於 6 ~ 20 分鐘之間。

### （二）無氧運動模式

無氧運動模式採用反覆衝刺運動 (repeated sprint ability, RSA) (Nakamura et al., 2016)，此測試主要檢驗反覆衝刺維持速度的能力。研究人員設置 20 公尺長跑道，在起跑線設置光閘系統 (Fusion Sport, Coopers Plains, Australia)。起跑線後方 30 公分處設置起跑點，以運動貼布標示。起跑前參與者必須站立在起跑點上，準備後以自主的方式開始進行 20 公尺全力折返衝刺。每名參與者先進行二次的反覆衝刺，以熟悉測試方式。休息 5 分鐘後再進行 6 趟反覆衝刺，每趟衝刺間隔 20 秒休息時間，研究人員分別記錄 6 次 20 公尺來回衝刺的完成時間。

## 三、研究工具

### （一）心率變異度

本研究記錄運動前 15 分鐘與運動後 30 分鐘安靜心電圖，心電圖訊號由生理訊號測量儀收集 (MP35, Biopac, CA, USA)，訊號取樣頻率設定為 1,000 Hz。所有心跳數據透過 Acqknowledge 4.2 分析軟體 (Biopac Inc, CA, USA) 進行 R-R 波間的間距測量，數據中若出現竇性中止等異位心跳，則去除異位心跳值。隨後整理出最後穩定的 512 個 RR 波間來進行時域與頻域分析。若刪除的異位心跳值超過 R-R 波間距的 5%，則該名參與者的心電圖資料不列入統計分析。

資料分析以時域與頻域分析兩種方式進行。時域分析包含兩個相鄰正常心跳的 R-R 波間距 (mean R-R intervals, mRRI)、平均心跳 (mean heart rate, HR)、心跳間期標準偏差 (standard deviation of normal R-R interval,  $SD_{RR}$ )、心跳間期變異係數 (coefficient of variation,  $CV_{RR}$ ) 與相鄰正常心跳間期差值平方和的均方根 (root mean square different of successive normal R-R intervals, rMSSD)。頻域分析中，我們以快速傅立葉轉換的方式來計算 (Mathcad 15, Parametric Technologies, Natick, MA)，功率介於 0.01 到 0.40 Hz 之間設定為總功率 (TP)；0.01 到 0.04 Hz 之間的頻譜曲線面積為極低頻功率 (very low-frequency power, VLFP)；功率在 0.04 到 0.15 Hz 的頻譜曲線面積為低頻功率 (low-frequency power, LFP)；而頻譜曲線面積介於 0.15 到 0.40 之間為高頻功率 (high-frequency

power, HFP)。另外，為了能夠有效地陳述低頻與高頻功率的分佈情況，我們以極低功率除以總功率  $\times 100$  得到極低頻功率比 (normalization of very low-frequency power, nVLFP)、以低功率除以總功率  $\times 100$  得到低頻功率比 (normalization of low-frequency power, nLFP)、以高功率除以總功率  $\times 100$  得到高頻功率比 (normalization of HFP, nHFP) 分別做為腎素—血管收縮素—醛固酮系統、副交感神經興奮性、交感神經與副交感神經相互作用的指標。低頻功率與高頻功率比值 (low-/high- frequency power ratio, LHR) 用來瞭解交感與副交感神經活性平衡的程度 (呂萬安, 2008)。

## (二) 血乳酸

本研究從參與者右手手指採取血乳酸樣本，參與者於熱身前與熱身後由研究人員立即採取血乳酸樣本。先使用酒精棉片擦拭手指採樣部位，隨後使用採血針與血乳酸試紙取出血液樣本 (cos14827-01, h/p/Cosmos Sirius, Leipzig, Germany)，再用血乳酸測試儀測量血乳酸濃度 (h/p/Cosmos Sirius, Leipzig, Germany)。

## (三) 運動自覺量表

本研究使用傳統 6 ~ 20 分計算方式的 Borg 自覺量表評估參與者運動前後的自覺程度。

## 四、研究步驟

本研究採用抗衡試驗的方式進行，參與者以隨機的方式進行無氧與有氧間歇運動模式，二次試驗於一週內完成。試驗

前，參與者於胸前配置心率監測器 (FT 80, Polar Electro, Finland)，然後進行 15 分鐘臥姿安靜心跳記錄，研究人員先用酒精棉片與拋棄式刮鬍刀於電極片黏貼處進行皮膚清潔，隨後在參與者右手腕、右腳與左腳踝關節內上踝上方分別貼上一枚電極片 (Kendall™ 200 Series Foam Electrodes, Covidien, Mansfield, MA, USA)，然後依照 Biopac student lab 操作手冊連接心電圖訊號記錄器，記錄 15 分鐘安靜心跳。測量 15 分鐘安靜心電圖後，參與者於固定式腳踏車測功儀 (Optibike Med, Ergoline, Germany) 進行 5 分鐘熱身活動，輸出功率設定在 50 瓦特，轉速控制在每分鐘 60 rpm。隨後參與者於人工室內跑道上進行反覆衝刺或 Yo-Yo 間歇恢復運動。運動終止時研究人員立即為參與者連接心電圖訊號記錄器，記錄運動後 30 分鐘臥姿安靜心跳。參與者穿著合適的運動服裝與運動鞋。參與者於實驗前 24 小時避免激烈運動，實驗前 2 小時避免飲食與飲用含有咖啡因成份之飲料。

## 五、統計方法

本研究以 SPSS 22.0 version for Windows (IBM Corporation, New York, USA) 進行統計分析，研究數據以平均數與標準差的方式呈現 (mean  $\pm$  SD)。運動時與恢復期儲備心跳率、Yo-Yo 測試總距離、反覆衝刺能力以獨立樣本 *t* 檢定比較組間統計上的差異，血乳酸、運動自覺量表、心率變異度參數以混合設計二因子變異數 (時間  $\times$  組別) 進行分析，事後檢定採用 Bonferroni 法。統計顯著水準設定為  $p < .05$ 。

## 參、結果

### 一、參與者基本生理指數

本研究五人制組與對照組各有 10 名參與者，兩組之間除球齡之外，年齡、身高、體重、BMI 與體脂肪率等身體特徵皆未達到統計上差異 (表 1)。

### 二、運動表現

Yo-Yo 間歇恢復運動與反覆衝刺能力呈現於表 2，統計結果顯示五人制組在

Yo-Yo 運動總跑動距離、第一趟衝刺時間、第二趟衝刺時間、第三趟衝刺時間、第四趟衝刺時間、第五趟衝刺時間、第六趟衝刺時間、平均衝刺時間與、總衝刺時間等運動表現皆明顯優於對照組 ( $p < .05$ )。

### 三、儲備心跳率

圖 1 是 Yo-Yo 間歇恢復運動中與運動後每 5 分鐘的儲備心跳率的組間比較，皆未達到統計上的差異 ( $p > .05$ )。圖 2 呈現反覆衝刺中運動時與運動後每 5 分鐘的

表 1 參與者基本資料 (平均值 ± 標準差)

	對照組 (n = 10)	五人制組 (n = 10)	t 值	p 值	95% CI
年齡 (yrs)	20.30 ± 1.83	19.80 ± 1.14	0.74	0.47	-0.93 ~ 1.93
身高 (cm)	173.14 ± 6.44	172.98 ± 4.93	0.62	0.95	-5.23 ~ -5.55
體重 (kg)	66.72 ± 4.46	64.56 ± 6.34	0.88	0.39	-2.99 ~ 7.31
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22.23 ± 1.40	21.56 ± 1.54	1.02	0.32	-0.71 ~ 7.31
體脂肪率 (%)	15.65 ± 5.18	14.05 ± 4.05	0.55	0.59	-3.22 ~ 5.52
球齡 (yrs)	-	9.10 ± 0.88	-32.87	< 0.001	-9.68 ~ -8.5

資料來源：本研究整理。

表 2 Yo-Yo 間歇恢復運動總距離與 20 公尺反覆衝刺第一趟至第六趟衝刺時間 (平均值 ± 標準差)

	對照組 (n = 10)	五人制組 (n = 10)	t 值	p 值	95% CI
Yo-Yo 間歇恢復運動					
總移動距離 (m)	876. ± 270	1,164 ± 252*	-2.46	0.024	-533.78 ~ 42.23
反覆衝刺運動					
第一趟衝刺時間 (s)	7.69 ± 0.43	7.19 ± 0.30*	3.03	0.007	0.15 ~ 0.85
第二趟衝刺時間 (s)	7.84 ± 0.37	7.30 ± 0.34*	3.42	0.003	0.21 ~ 0.88
第三趟衝刺時間 (s)	8.11 ± 0.46	7.41 ± 0.35*	3.79	0.001	0.31 ~ 1.08
第四趟衝刺時間 (s)	8.27 ± 0.50	7.57 ± 0.31*	3.79	0.001	0.31 ~ 1.10
第五趟衝刺時間 (s)	8.40 ± 0.57	7.67 ± 0.35*	3.45	0.003	0.28 ~ 1.17
第六趟衝刺時間 (s)	8.47 ± 0.54	7.72 ± 0.30*	3.83	0.001	0.34 ~ 1.16
平均衝刺時間 (s)	8.13 ± 0.44	7.47 ± 0.30*	2.76	0.013	0.13 ~ 0.99
總衝刺時間 (s)	48.77 ± 2.61	44.85 ± 1.80*	3.91	0.001	1.81 ~ 6.03

資料來源：本研究整理。

註：\* 與對照組比較達顯著差異。

儲備心跳率的比較，於第四趟衝刺後儲備心跳率兩組之間呈顯著差異 (五人制組 80.34% vs. 對照組 85.84%， $t = 3.79$ ,  $p < .05$ )，其他比較皆未達顯著差異 ( $p > .05$ )。

#### 四、血乳酸與運動自覺量表

血乳酸與運動自覺量表統計結果未達顯著交互作用 ( $p > .05$ )，然而在時間主要效果部份達顯著差異 ( $p < .05$ )，事後比較

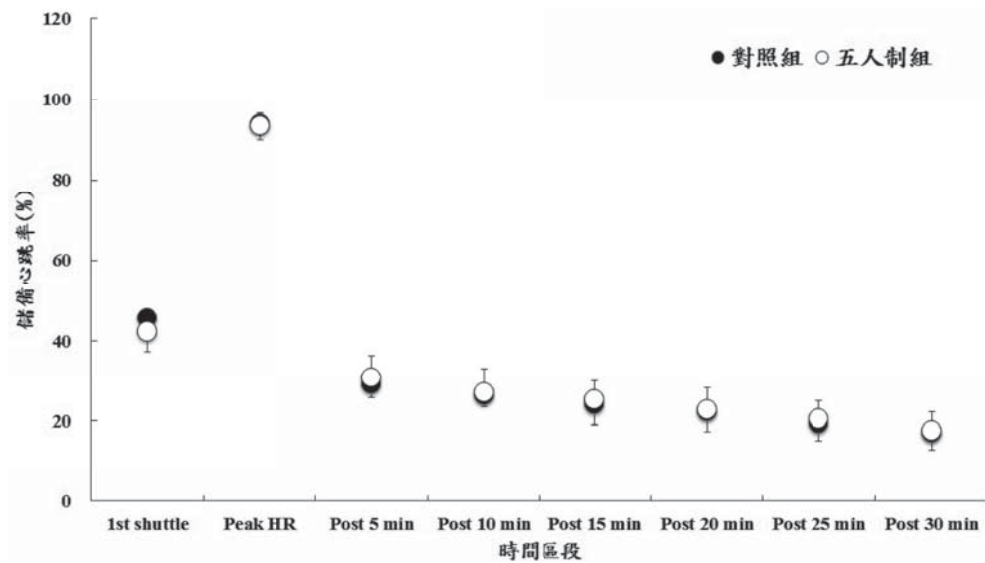


圖 1 Yo-Yo 間歇恢復運動第一趟折返，運動中最高心跳與恢復期每 5 分鐘儲備心跳率 (平均值 ± 標準差)  
資料來源：本研究整理。

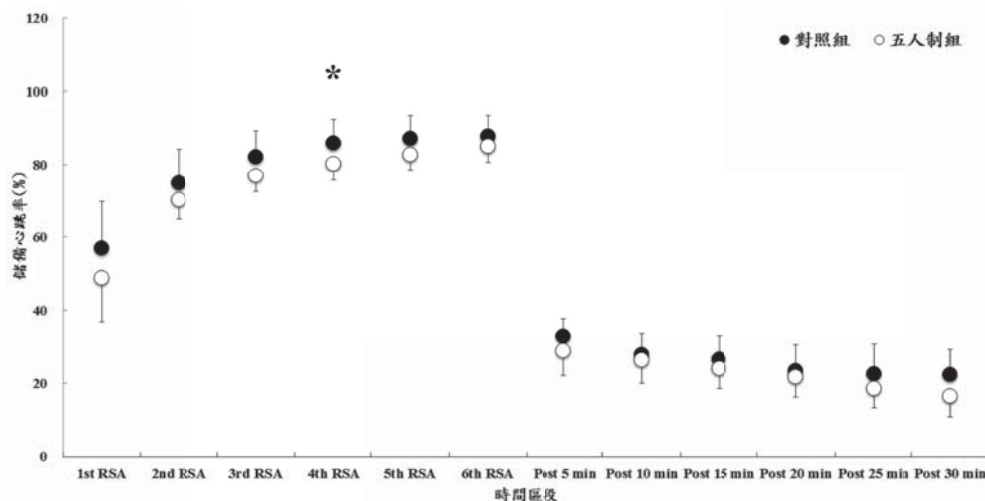


圖 2 20 公尺反覆衝刺第一趟至第六趟衝刺與恢復期 5 分鐘儲備心跳率 (平均值 ± 標準差)  
資料來源：本研究整理。  
註：\* 與對照組比較達顯著差異。

發現運動後血乳酸與運動自覺量表明顯高於運動前。組間比較部份，血乳酸濃度與運動自覺量表於 Yo-Yo 間歇恢復運動與反覆衝刺運動前與運動後兩組之間則未達顯著差異 ( $p > .05$ ) (表 3)。

## 五、心率變異度

統計結果顯示，所有心率變異度參數皆未達顯著交互作用 ( $p > .05$ )。在時間主要效果部份，除了低頻功率比 ( $p > .05$ )，所有參數達顯著差異 ( $p < .05$ )。組間主要效果部份，只有高頻功率 (HFP;  $p = .041$ )、極低頻功率比 (nVLFP;  $p = .036$ )、高頻功率比 (nHFP;  $p = .045$ ) 於反覆衝刺運動後兩組之間於事後比較達到統計上差異，五人制組於運動後高頻功率與高頻功率比低於對照組，運動後五人制組極低頻功率比則高於對照組。Yo-Yo 間歇恢復測試方面，只發現運動前兩組間在極低頻功率 (VLFP) 具有統計上的差異 ( $p = .01$ )。Yo-Yo 間歇

恢復運動與反覆衝刺運動時域分析與頻域分析資料分別呈現於表 4 與表 5。

## 肆、討論

### 一、運動表現

五人制足球是一種有氧與無氧代謝能量需求兼具的運動項目，長期接受五人制足球專項訓練者，在生理功能上必能適應有氧與無氧間歇運動的壓力。本研究發現五人制組在各項運動能力的表現在統計學上明顯優於對照組。五人制組在 Yo-Yo 間歇恢復運動的總跑動距離明顯多於對照組 (對照組：876 ± 270 公尺 vs. 五人制組：1,164 ± 252 公尺)，顯示大專五人制足球員的有氧間歇運動能力優於大專體育相關科系學生。Boullosa et al. (2013) 測試巴西職業五人制足球員季前訓練後 Yo-Yo 間歇恢復測試的運動表現為 1,226 ± 282 公尺，與本研究五人制組平均跑動總距離的 1,164 ±

表 3 血乳酸濃度與運動自覺量表 (RPE) 運動前後與組間比較

	對照組 (n = 10)	五人制組 (n = 10)	p 值	事後比較
Yo-Yo 間歇恢復運動				
運動前血乳酸 (mmol)	1.67 ± 1.46	1.59 ± 0.37	#	運動前 < 運動後
運動後血乳酸 (mmol)	18.35 ± 3.80	16.75 ± 3.82		
第一趟運動 RPE	7.5 ± 1.65	6.90 ± 0.57	#	運動前 < 運動後
最後一趟運動後 RPE	19.60 ± 0.70	19.40 ± 0.52		
反覆衝刺運動				
運動前血乳酸 (mmol)	1.62 ± 0.89	1.22 ± 0.42	#	運動前 < 運動後
運動後血乳酸 (mmol)	17.65 ± 3.14	16.16 ± 3.37		
第一趟衝刺運動 RPE	9.4 ± 3.44	10.10 ± 2.02	#	運動前 < 運動後
第六趟衝刺運動 RPE	15.30 ± 3.43	17.80 ± 2.35		

資料來源：本研究整理。

註：# 為時間主要效果 ( $p < .001$ )。



表 4 Yo-Yo 間歇恢復運動前後心率變異性的變化 (平均值 ± 標準差)

	對照組 (n = 10)		五人制組 (n = 10)		p 值 (主要效果)	事後比較
	Yo-Yo 運動前	Yo-Yo 運動後	Yo-Yo 運動前	Yo-Yo 運動後		
<b>時域分析</b>						
mRRI (ms)	933.71 ± 129.90	618.70 ± 72.42 <sup>†</sup>	954.52 ± 172.88	626.14 ± 51.18 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
HR (bpm)	65.54 ± 10.37	98.11 ± 10.78 <sup>†</sup>	64.68 ± 11.44	96.44 ± 8.33 <sup>†</sup>	#	† 運動前 < 運動後
SD <sub>RR</sub> (ms)	66.02 ± 29.26	15.84 ± 7.23 <sup>†</sup>	85.22 ± 21.78	16.56 ± 5.24 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
CV <sub>RR</sub> (%)	7.14 ± 3.22	2.48 ± 0.89 <sup>†</sup>	9.08 ± 2.49	2.61 ± 0.70 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
rMSSD (ms)	49.55 ± 28.47	5.86 ± 4.73 <sup>†</sup>	65.31 ± 21.73	4.59 ± 1.91 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
<b>頻域分析</b>						
TP (ms <sup>2</sup> )	1,924.86 ± 1,719.83	82.96 ± 85.24 <sup>†</sup>	2,622.23 ± 1,156.89	79.84 ± 48.16 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
VLFP (ms <sup>2</sup> )	422.48 ± 260.60	42.37 ± 33.16 <sup>†</sup>	941.72 ± 507.45*	49.04 ± 31.04 <sup>†</sup>	#§	† 運動前 > 運動後 * 對照組 < 五人制組
LFP (ms <sup>2</sup> )	907.52 ± 1,043.44	29.17 ± 37.06 <sup>†</sup>	926.76 ± 582.19	26.46 ± 22.20 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
HFP (ms <sup>2</sup> )	594.88 ± 580.80	11.42 ± 21.01 <sup>†</sup>	753.91 ± 404.88	4.34 ± 4.97 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
nVLFP (nu)	33.57 ± 20.71	61.83 ± 16.37 <sup>†</sup>	36.76 ± 8.98	62.76 ± 16.34 <sup>†</sup>	#	† 運動前 < 運動後
nLFP (nu)	38.39 ± 13.90	28.84 ± 13.18	34.17 ± 10.69	32.10 ± 12.85		
nHFP (nu)	28.04 ± 15.52	9.33 ± 8.34 <sup>†</sup>	29.07 ± 10.75	5.14 ± 4.57 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
LHR	1.81 ± 1.37	5.62 ± 4.00 <sup>†</sup>	1.50 ± 1.06	8.93 ± 5.79 <sup>†</sup>	#	† 運動前 < 運動後

資料來源：本研究整理。

註：mRRI 為兩個相鄰正常心跳的 R-R 波間距；HR 為平均心跳；SD<sub>RR</sub> 心跳間標準偏差；CV<sub>RR</sub> 為心跳間變異係數；rMSSD 為相鄰值平方合均方根；TP 為總功率；VLFP 為極低頻功率；LFP 為低頻功率；HFP 為高頻功率；nVLFP 為極低頻功率比；nLFP 為低頻功率比；nHFP 為高頻功率比；LHR 為低頻功率與高頻功率比值。# 為時間主要效果 (p < .001)，§ 為組間主要效果 (p < .05)，\* 兩組比較達顯著差異 (p < .05)，† 運動前後比較達顯著差異 (p < .005)。

表 5 反覆衝刺運動前後心率變異性的變化 (平均值 ± 標準差)

	對照組 (n = 10)		五人制組 (n = 10)		p 值 (主要效果)	事後比較
	反覆衝刺運動前	反覆衝刺運動後	反覆衝刺運動前	反覆衝刺運動後		
<b>時域分析</b>						
mRRI (ms)	952.31 ± 135.23	615.40 ± 78.70 <sup>†</sup>	1,026.19 ± 185.30	645.28 ± 45.58 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
HR (bpm)	64.13 ± 8.88	98.89 ± 12.15 <sup>†</sup>	60.50 ± 12.72	93.44 ± 7.29 <sup>†</sup>	#	† 運動前 < 運動後
SD <sub>RR</sub> (ms)	77.64 ± 31.63	22.31 ± 17.56 <sup>†</sup>	88.95 ± 23.10	22.63 ± 8.85 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
CV <sub>RR</sub> (%)	7.99 ± 2.81	3.56 ± 2.86 <sup>†</sup>	8.67 ± 1.62	3.49 ± 1.28 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
rMSSD (ms)	61.78 ± 31.08	10.06 ± 10.11 <sup>†</sup>	76.28 ± 31.28	5.85 ± 2.21 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
<b>頻域分析</b>						
TP (ms <sup>2</sup> )	2,502.90 ± 1,747.23	254.27 ± 490.63 <sup>†</sup>	2,804.44 ± 1,800.23	177.62 ± 128.21 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
VLFP (ms <sup>2</sup> )	738.70 ± 464.22	139.86 ± 304.94 <sup>†</sup>	923.67 ± 492.88	122.42 ± 78.99 <sup>†</sup>	#§	† 運動前 > 運動後 * 對照組 < 五人制組
LFP (ms <sup>2</sup> )	853.49 ± 715.28	84.79 ± 160.74 <sup>†</sup>	835.60 ± 729.27	48.24 ± 49.88 <sup>†</sup>	#	† 運動前 > 運動後
HFP (ms <sup>2</sup> )	910.36 ± 722.76	29.64 ± 38.87 <sup>†</sup>	1,045.36 ± 750.08	6.96 ± 5.42 <sup>†*</sup>	#	† 運動前 > 運動後
nVLFP (nu)	33.99 ± 10.57	54.43 ± 19.18 <sup>†</sup>	38.08 ± 12.55	70.13 ± 10.70 <sup>†*</sup>	#	† 運動前 < 運動後
nLFP (nu)	32.75 ± 8.03	32.63 ± 10.93	27.25 ± 11.33	25.45 ± 9.95	#	
nHFP (nu)	33.27 ± 11.61	12.94 ± 13.17 <sup>†</sup>	34.67 ± 9.28	4.42 ± 2.38 <sup>†*</sup>	#	† 運動前 > 運動後
LHR	1.12 ± 0.48	4.81 ± 3.15 <sup>†</sup>	0.86 ± 0.45	7.10 ± 4.14 <sup>†</sup>	#	† 運動前 < 運動後

資料來源：本研究整理。

註：mRRI 為兩個相鄰正常心跳的 R-R 波間距；HR 為平均心跳；SD<sub>RR</sub> 心跳間期標準偏差；CV<sub>RR</sub> 為心跳間期變異係數；rMSSD 為相鄰值平方合均方根；TP 為總功率；VLFP 為極低頻功率；LFP 為低頻功率；HFP 為高頻功率；nVLFP 為極低頻功率比；nLFP 為低頻功率比；nHFP 為高頻功率比；LHR 為低頻功率與高頻功率比值。# 為時間主要效果 ( $p < .001$ )，§ 為組間主要效果 ( $p < .05$ )，\* 兩組比較達顯著差異 ( $p < .05$ )，† 運動前後比較達顯著差異 ( $p < .005$ )。

252 公尺相近。本研究五人制組為大專球員，平均年齡介於 20 歲之間，訓練處於比賽前期狀況。因此本研究五人制組的體能狀況與其他相關研究結果相似。

反覆衝刺能力方面，本研究發現五人制組在反覆衝刺運動中最佳速度 ( $7.19 \pm 0.3$  秒) 與巴西職業五人制足球員相近 ( $7.17 \pm 0.37$  秒) (Soares-Caldeira et al., 2014)，顯示本研究五人制組參與者肌肉中磷酸肌酸水解作用與無氧醣酵解代謝功能以及神經肌肉功能在高強度運動之下抗疲勞的運動能力接近職業球員 (Girard, Mendez-Villanueva, & Bishop, 2011)，反覆衝刺訓練能夠提升高強度運動奔跑能力與有氧功能。有氧代謝路徑在恢復階段被視為高強度運動後磷酸肌酸重新合成的主要能量途徑，有氧功能較佳的球員在每趟反覆衝刺之間磷酸肌酸能夠更快的再合成。因此球員能夠維持反覆衝刺速度與延續反覆衝刺次數。反之，減少反覆衝刺的因素與血乳酸與氫離子濃度上升、肌肉中肌酸磷酸耗竭、肌力下降有關。

## 二、心率變異度

本研究結果顯示，反覆衝刺運動前  $SD_{RR}$ 、 $CV_{RR}$  與 TP 等心率變異度參數組間比較後無明顯差異。然而反覆衝刺運動後，五人制組 HFP 與 nHFP 低於對照組，運動後五人制組極 nVLFP 則高於對照組。nVLFP 為腎素—血管收縮素—醛固酮系統的指標值；而 nHFP 用來判讀副交感神經活性的指標值。相較於對照組，五人制組在反覆衝刺運動後 30 分鐘內副交感神

經活性下降程度明顯。心率變異度的調控方式受到個人體能程度、健康狀況與運動訓練影響。心率調控的節奏主要受到竇房結節律細胞的發電頻率與自律神經系統中交感神經與副交感神經興奮作用影響，其中交感神經與副交感神經對心跳節奏的影響並無規律性。隨著運動中活動強度增加時，心率變異度高頻功率與總功率呈現降低的狀態，代表運動強度提高時副交感神經對心臟活動的調控活性降低；反之低頻功率增加為交感神經對心臟活動的影響性增高 (Macor, Fagard, & Amery, 1996)。運動時交感神經活性作用增加時，會造成心跳率加快、增加作用作用肌群血流量、血壓上升與靜脈血回流量增加，交感神經活性作用增強主要受到體內腎上腺素與正腎上腺素的刺激，交感神經節前纖維造成活化反應，釋放交感神經傳遞物質，進而造成心血管功能增加。此時能量代謝供給需求提升，作用肌需要更多的血糖供應，以維持運動表現。而恢復時期，運動員若有較強的副交感神經活性，能夠讓心跳率逐漸減緩、減少全身血量供給、降低能量代謝量，能夠加速身體的恆定作用。Soares-Caldeira et al. (2014) 發現經由 4 週五人制足球賽季前訓練，五人制足球員在安靜心率調控上，迷走神經控制影響因素增加，此為專項週期性訓練性的效應。本研究結果顯示大專五人制足球員於反覆衝刺運動後副交感神經活性的降低幅度大於大專體育相關科系學生，近期研究發現，長期從事大極拳運動的長者進行 40 分鐘楊式太極拳後也有副交感神經活性抑制與動脈動力增加的現象，可能與增加心跳功能與

減少周邊血管阻力以加速恢復時新陳代謝有關 (Lu, Chen, & Kuo, 2016)。Buchheit, Laursen, and Ahmaidi (2007) 發現副交感神經重新驅動功能於反覆衝刺運動後明顯下降，無氧運動形態下的代謝產物、中樞神經下行性運動指令、兒茶酚胺激素 (Catecholamine) 可能是影響運動後副交感神經重新驅動功能主要的生理機制，然而本研究反覆衝刺運動後血乳酸與運動自覺量表數據兩組之間在統計上沒有明顯差異，意指兩組在運動中皆經歷相似的知覺感覺與運動壓力。五人制組長期接受五人制專項訓練，此運動項目於訓練與比賽時，需要不斷進行短距離衝刺表現，本研究中此大專五人制足球員自律神經調控的特徵是否與長期接受五人制足球專項訓練有關，需要未來研究探討。

本研究發現，長期參與五人制足球訓練的大專選手與同年齡層有運動習慣之大專生在 Yo-Yo 間歇恢復運動前後心率變異度的指標上無明顯差異。值得探討的是，雖然五人制組在 Yo-Yo 間歇恢復運動總跑動距離明顯優於對照組，但兩組運動前每分鐘心跳率無差異，運動中與運動後的儲備心跳率也沒有明顯的差異 (運動中兩組皆達到 93% 程度)，並且運動前後血乳酸濃度與運動自覺量表兩組皆無顯著差異。由此顯示所有參與者於 Yo-Yo 測試中運動壓力相同。Dutra et al. (2013) 研究發現有氧能力並非是影響安靜時自律神經功能控節作用的主要因素。與正常人比較，足球員於安靜時副交感神經的作用較為活躍，所以有較高的心率變異度 (Lu et al.,

2016)。然而本研究對照組參與者皆有規律運動習慣，先前研究指出短期間實施規律運動對健康男性大專生安靜與運動時自律神經系統調控狀態有改善作用 (徐櫻鳳、黃新作, 2008)。五人制足球隨時可以自由更換比賽球員 (如籃球)，非如 11 人制足球上場後必須持續踢滿全場，因此五人制足球員在平時訓練時，在持續性的有氧耐力並非是教練著重的訓練課題。本研究結果顯示，兩組皆在運動後呈現高頻功率比下降的現象。有氧運動時，自律神經系統中交感神經的作用需求較高，此部份的能量平時在有氧運動時兩組參與者皆消耗多，長期下來造成交感神經儲備能力產生代償作用。同時本研究參與者 Yo-Yo 間歇恢復運動後血乳酸與運動自覺量表數據顯示兩組皆達到最大運動強度，當運動強度高時，運動後副交感調控活性受到抑制 (Makivić et al., 2013)。因此在 Yo-Yo 間歇恢復運動後，兩組參與者自律神經調控方式較為相似。

### 三、結論與建議

本研究發現大專男子五人制足球員短距離反覆衝刺與 Yo-Yo 間歇恢復運動表現優於運動習慣之大專男子學生，大專男子五人制足球員於反覆衝刺運動後心因性副交感神經活化抑制程度較運動習慣之大專男子學生明顯。就五人制足球員而言，高強度反覆衝刺後交感神經功能處於活性增強的狀況，因此，教練員必須觀察與記錄比賽中球員反覆衝刺次數與頻率，用來評估球員的上場時間與替補休息的策略。另

外就訓練角度而言，教練員應思考實施速度訓練時，衝刺次數與組間休息時間以及間歇休息的恢復方法。未來研究建議可增測血液動力與血液樣本，瞭解血管舒縮活動與血液中腎上腺素與正腎上腺素濃度調控狀況，進一步探討高強度有氧與無氧運動壓力對短時間內恢復時間影響自律神經系統調控的生理機制。

## 參考文獻

1. 呂萬安 (2008)。外丹功對中老年人心率變異度的分析。北市醫學雜誌。5(1)，53-64。
2. 徐櫻鳳、黃新作 (2008)。心率變異度在臨床與運動科學上的應用。大專體育。99，56-64。
3. 陳高揚、郭正典、駱惠銘 (2000)。心率變異度：原理與應用。中華民國急救加護醫學會雜誌，11(2)，47-58。
4. Álvarez, J. C. B., D'ottavio, S., Vera, J. G., & Castagna, C. (2009). Aerobic fitness in futsal players of different competitive level. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 23(7), 2163-2166. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181b7f8ad
5. Bangsbo, J., Iaiia, F. M., & Krstrup, P. (2008). The Yo-Yo intermittent recovery test: A useful tool for evaluation of physical performance in intermittent sports. *Sports Medicine*, 38(1), 37-51.
6. Barbero-Alvarez, J. C., Soto, V. M., Barbero-Alvarez, V., & Granda-Vera, J. (2008). Match analysis and heart rate of futsal players during competition. *Journal of Sports Sciences*, 26(1), 63-73. doi: 10.1080/02640410701287289
7. Boullosa, D. A., Tonello, L., Ramos, I., de Oliveira Silva, A., Simões, H. G., & Nakamura, F. Y. (2013). Relationship between aerobic capacity and Yo-Yo IR1 performance in Brazilian professional futsal players. *Asian Journal of Sports Medicine*, 4(3), 230-234.
8. Buchheit, M., Laursen, P. B., & Ahmaidi, S. (2007). Parasympathetic reactivation after repeated sprint exercise. *American Journal of Physiology -- Heart and Circulatory Physiology*, 293(1), H133-H141. doi: 10.1152/ajpheart.00062.2007
9. Buchheit, M., Racinais, S., Bilsborough, J. C., Bourdon, P. C., Voss, S. C., Hocking, J., ...Coutts, A. J. (2013). Monitoring fitness, fatigue and running performance during a pre-season training camp in elite football players. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 16(6), 550-555. doi: 10.1016/j.jsams.2012.12.003
10. Dogramaci, S. N., Watsford, M. L., & Murphy, A. J. (2011). Time-motion analysis of international and national level futsal. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 25(3), 646-651. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c6a02e
11. Dutra, S. G. V., Pereira, A. P. M., Tezini, G. C. S. V., Mazon, J. H., Martins-Pinge, M. C., & Souza, H. C. D. (2013). Cardiac autonomic modulation is determined by gender and is independent of aerobic physical capacity in healthy subjects. *PLoS ONE*, 8(10), e77092. doi: 10.1371/journal.pone.0077092
12. Girard, O., Mendez-Villanueva, A., & Bishop, D. (2011). Repeated-sprint ability -- Part I. *Sports Medicine*, 41(8), 673-694.

13. Krusturup, P., Mohr, M., Amstrup, T., Rysgaard, T., Johansen, J., Steensberg, A., ...Bangsbo, J. (2003). The Yo-Yo intermittent recovery test: Physiological response, reliability, and validity. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 35(4), 697-705. doi: 10.1249/01.MSS.0000058441.94520.32
14. Leti, T., & Bricout, V. A. (2013). Interest of analyses of heart rate variability in the prevention of fatigue states in senior runners. *Autonomic Neuroscience: Basic & Clinical*, 173(1-2), 14-21. doi: 10.1016/j.autneu.2012.10.007
15. Lu, W. A., Chen, Y. S., & Kuo, C. D. (2016). Increased first and second pulse harmonics in Tai Chi Chuan practitioners. *BMC Complementary and Alternative Medicine*, 16, 87. doi: 10.1186/s12906-016-1058-4
16. Macor, F., Fagard, R., & Amery, A. (1996). Power spectral-analysis of RR interval and blood-pressure short-term variability at rest and during dynamic exercise: Comparison between cyclists and controls. *International Journal of Sports Medicine*, 17(3), 175-181. doi: 10.1055/s-2007-972828
17. Makivić, B., Nikić, M. D., & Willis, M. S. (2013). Heart rate variability (HRV) as a tool for diagnostic and monitoring performance in sport and physical activities. *Journal of Exercise Physiology Online*, 16(3), 103-131.
18. Nakamura, F. Y., Pereira, L. A., Rabelo, F. N., Flatt, A. A., Esco, M. R., Bertollo, M., Loturco, I. (2016). Monitoring weekly heart rate variability in futsal players during the preseason: The importance of maintaining high vagal activity. *Journal of Sports Sciences*. doi: 10.1080/02640414.2016.1186282
19. Oliveira, R. S., Leicht, A. S., Bishop, D., Barbero-Álvarez, J. C., & Nakamura, F. Y. (2013). Seasonal changes in physical performance and heart rate variability in high level futsal players. *International Journal of Sports Medicine*, 34(5), 424-430. doi: 10.1055/s-0032-1323720
20. Sloan, R. P., Shapiro, P. A., DeMeersman, R. E., Bagiella, E., Brondolo, E. N., McKinley, P. S., ...Myers, M. M. (2011). Impact of aerobic training on cardiovascular reactivity to and recovery from challenge. *Psychosomatic Medicine*, 73(2), 134-141. doi: 10.1097/PSY.0b013e31820a1174
21. Sloan, R. P., Shapiro, P. A., DeMeersman, R. E., Bagiella, E., Brondolo, E. N., McKinley, P. S., ...Myers, M. M. (2009). The effect of aerobic training and cardiac autonomic regulation in young adults. *American Journal of Public Health*, 99(5), 921-928. doi: 10.2105/AJPH.2007.133165
22. Soares-Caldeira, L. F., de Souza, E. A., de Freitas, V. H., de Moraes, S. M. F., Leicht, A. S., & Nakamura, F. Y. (2014). Effects of additional repeated sprint training during preseason on performance, heart rate variability, and stress symptoms in futsal players: A randomized controlled trial. *Journal of Strength & Conditioning Research*, 28(10), 2815-2826. doi: 10.1519/JSC.0000000000000461

# Comparisons of Autonomic Nervous Activation and Exercise Performance between University Futsal Players and Physical Active University Students after Repeated Sprint Exercise and Aerobic Intermittent Exercise

Yung-Sheng Chen, Kuo-Wai Tseng, Chein-Wen Hou, Su-Yun Chen\*

University of Taipei

\*Corresponding author: Su-Yun Chen

Address: No. 101, Sec. 2, Zhongcheng Rd., Shilin Dist., Taipei City 111, Taiwan (R.O.C.)

E-mail: sychen@utapei.edu.tw

DOI: 10.6167/JSR/2016.25(1)5

Received: April, 2016 Accepted: June, 2016

## Abstract

The purpose of this study was to investigate the acute effects of repeated sprint ability (RSA) and Yo-Yo intermittent recovery test level 1 (Yo-Yo) on heart rate variability (HRV) in collegiate male futsal players and physically active collegiate students. Ten collegiate physical education students without specific sport training status (control group) and 10 collegiate first division futsal player training 3 ~ 4 times/week (futsal group) participated the study. Electrocardiographic (ECG) signals, blood lactate concentration, and rate of perceived exertion (RPE) were recorded in supine position 15 min before and 30 min after the RSA or Yo-Yo test in a sport massage room. Time domain and frequency domain analyses were used to evaluate the exercise-induced alterations in the autonomic functions. The results showed that the capacity of the RSA and total covered distance of Yo-Yo test were greater in the futsal group than those in the control group. For the blood lactate concentration and RPE, no significant difference of between-groups comparison was found in either pre- or post-exercise measurement. This finding indicated both groups had experienced similar exercise stresses. During the RSA test, lower high-frequency power (HFP) and normalization of HFP (nHFP), and higher normalization of very low-frequency power (nVLFP) were observed in the futsal group, compared with the control group. However, there were no significant differences

of post-exercise HRV indices in the group-comparison after the Yo-Yo test. In comparison between the RSA and Yo-Yo test, a significant difference was only found in normalization of LFP (nLFP) during post-exercise measurement in the futsal group. In conclusion, futsal players decreased vagal activation after the RSA exercise intervention. The inhibitory effect of cardiac vagal modulation after repeated sprints indicated the adaptive change in cardiac autonomic function to futsal training.

**Keywords:** sympathetic nerve, parasympathetic nerve, automatic nervous system, Yo-Yo intermittent recovery test, repeated sprint ability