

振動訓練結合不穩定表面訓練對於體操選手下肢適能與運動表現之影響

翁士航¹、高裕軒^{2*}、柯耀雲²、麥劉湘涵²

摘要

目的：運用振動結合不穩定表面訓練探討不同振頻與時間對於下肢適能與運動表現之影響。**方法：**18名體操選手平均分成高振頻組與低振頻組。前測完成後，將半蹲站立於振動機平台上方之平衡板，實施為期8週、每週3次，每次實施共20分鐘訓練。測驗結果將以混合二因子變異數進行分析。**結果：**4週後皆無達顯著差異。6週後，高振頻下蹲跳顯著高於前測，且前空翻顯著高於低振頻。8週後，高振頻下蹲跳和後空翻顯著高於前測，且衝刺和前、後空翻顯著高於低振頻。**結論：**4週結合訓練未提升表現；6週結合訓練，高振頻提升下蹲跳表現，前空翻表現更優於低振頻；8週結合訓練，高振頻有利於下蹲跳和後空翻表現提升，而速度和前、後空翻表現亦優於低振頻。

關鍵詞：競技體操、下蹲跳、衝刺、前空翻、後空翻

Effects of Combined Vibration Training and Unstable Surface Training on Lower-Extremity Fitness and Sports Performance in Gymnast

Shih-Hang Weng¹, Yu-Hsuan Kao^{2*}, Yao-Yun Ke², Hsiang-Han Mai Liu²

Abstract

Purpose: Vibration and unstable surface training were combined to study the impacts of different vibration frequencies and training durations on gymnasts' lower limb fitness and their exercise performance. **Methods:** A total of 18 gymnasts were equally divided into high-frequency and low-frequency groups. After the pretest, the gymnasts half-squatted on the balance board of a vibration platform to receive 20-minute training 3 times a week for 8 weeks. The results were analyzed with two-factor mixed analysis of variance. **Results:** After 4 weeks of training, the two groups demonstrated no significant differences. Six weeks into the training, the high-frequency group's countermovement jumps had significantly improved from those in the pretest. In addition, they significantly outperformed the low-frequency group in front flips. With 8 weeks of training, the high-frequency group significantly outdid their pretest performances in countermovement jumps and backflips, and significantly outperformed the low-frequency group in sprints, front flips, and backflips. **Conclusion:** Four weeks' of combined training did not yield significant improvements in gymnasts' performances. However, after receiving 6 weeks of training, the high-frequency group improved in countermovement jumps and outperformed the low-frequency group in front flips. After 8 weeks of combined training, the high-

Submitted for publication: 2017.3; Accepted for publication: 2017.10

1 臺北市立大學競技運動訓練研究所；Graduate Institute of Sports Training, University of Taipei

2 國立臺灣師範大學運動競技學系；Department of Athletic Performance, National Taiwan Normal University

* Corresponding author: 高裕軒 E-mail: hann631@gmail.com

frequency group's countermovement jumps and backflips both improved. Their performances in speed, front flips, and back flips all exceeded those of the low-frequency group.

Keywords: artistic gymnastics, countermovement jump, sprint, front flip, back flip

壹、問題背景

依據體操項目之特性，體適能的堆疊在選手訓練過程扮演極重要角色，更是發展技術訓練之基礎，且具備良好的運動體適能更有利於長期發展。其中男子地板、跳馬與女子跳馬、平衡木、地板，這些項目皆運用下肢為主要活動，且在發展基礎空翻動作時，需要特別強化下肢體適能中的爆發力與速度能力（翁士航、俞智贏，2012；Čuk & Marinšek, 2013）。藉此，本研究將進一步探討如何能有效提升下肢運動體適能之方法（以下將簡稱為下肢適能）。

不穩定表面訓練（unstable surface training, UST）早期用於物理治療及降低老年人跌倒之風險，而在1992年時開始有學者提出利用UST不僅對於復健治療有幫助，並適用在體適能和運動訓練上（Seo, Yun, Kim, & Lee, 2012）。根據學者提出之觀點，將其訓練法運用至運動員，不只有效減少運動傷害風險，且運用這樣的訓練模式能使肌肉活動量增加，並提升肌肉力量，發現其原因在於訓練過程中必須讓神經肌肉與骨骼肌肉系統，兩者適當控制，並從改善神經肌肉系統反應速率，進而促進拮抗肌與作用肌共同收縮和縮短肌群動作反應時間，使得有效增進肌群力量生成速率，提升下肢適能和運動表現之效果（Cressey, West, Tiberio, Kraemer, & Maresh, 2007; Willardson, 2007）。

除了UST外，振動訓練（vibration training, VT）也是神經肌肉系統相關訓練法之一。藉由刺激改善神經肌肉系統，增進下肢適能之爆發力與速度表現（Cardinale & Lim, 2003）。此一相關研究對於長短期效益皆有共通正面效果（李佳倫、鄭景峰、徐煒杰、林正常，2008；Manimmanakorn, Hamlin, Ross, & Manimmanakorn, 2014; Wyon, Guinan,

& Hawkey, 2010）。而VT之強度選擇因子有振動幅度及振動頻率，而強度高低之操弄將決定結果的不同，依據學者針對VT強度觀察下肢神經肌肉活化，提出了影響VT強度設定主要因子在於振動頻率（Rittweger, Mutschelknauss, & Felsenberg, 2003）。依此，較高振頻（> 30 Hz）對肌肉活化效益最大（Da Silva et al., 2006; Hazell, Jakobi, & Kenno, 2007），並顯著提升運動表現（翁士航，2010；Fagnani, Giombini, Di Cesare, Pigozzi, & Di Salvo, 2006; Pérez-Turpin et al., 2014）。然而，雖然仍有部分研究支持低振頻（≤ 30 Hz）亦能改善肌肉表現，不過僅限於中老年人（Kawanabe et al., 2007; Rees, Murphy, & Watsford, 2007），對於健康成年人之爆發力及速度等下肢適能則無明顯幫助（Cochrane, Legg, & Hooker, 2004; Rønnestad, 2009），綜上所述，VT之高振頻與低振頻操弄，針對在不同族群上皆有一定效果存在。

綜上所述，兩者訓練理論之異同結合，皆在於能改善運動員神經肌肉系統。而兩者訓練已有多數研究提出不同且多變化的訓練方式，如阻力式VT、太極拳VT、增強式UST等（孫銘、劉強、莊榮仁、相子元，2011；Kibele, Classen, Muehlbauer, Granacher, & Behm, 2014; Rønnestad, 2004），皆已驗證單一化的訓練方式對於改善下肢適能表現有其訓練價值，但結合訓練能集結兩者訓練之優點，能獲得較佳的訓練效益。近年發展出將UST結合在VT上，並發現兩者訓練之結合更利於下肢適能表現的提升（Cloak, Nevill, Day, & Wyon, 2013）；亦有研究探討兩者訓練結合後，VT的高振頻與低振頻對於肌肉活化程度之立即性影響（Marin & Hazell, 2014）。然而，並未有研究指出VT結合UST的長短期效益比較，且未探討高振頻與低振頻結合訓練對於下肢適能表現與運動表現之影響。因

此，本研究目的將透過VT結合UST，探討高振頻與低振頻，在短期與長期的訓練效益中，何者能有利於體操選手下肢適能及運動表現之提升，期待藉由結果提供未來研究與訓練參考。

貳、研究方法

一、研究對象

招募18名大專公開組體操選手為受試對象（年齡 21.44 ± 1.94 歲；訓練年齡 14.33 ± 1.53 年；身高 164.39 ± 6.90 公分；體重 58.05 ± 7.96 公斤）。每位受試者的收納條件分別為：近6個月內無發生過任何重大疾病或任何關節或肌肉等運動傷害者、皆有參與全國性賽事者、所有受試者皆有接受每週至少五天，每天至少三小時的體操專項訓練；而排除條件為：平常有在酗酒及抽菸者、有服用提升運動表現之禁藥者、有運動傷害而無法實施測驗者、未正常進行體操專項訓練者。研究開始前皆發給每位受試者一份知情同意書，並向受試者說明有關研究目的、過程及回答相關問題，當受試者充分理解研究性質及內容與願意配合參與本研究時，將會請受試者在同意書上簽名與填寫基本資料表，才正式成為本研究對象。受試者填寫同意書後會隨機分配成兩組，每組9人，第一組為40 Hz VT結合UST組（高振頻組）；第二組為25 Hz VT結合UST組（低振頻組）。

二、研究方法與步驟

（一）研究流程

受試者們簽署相關文件後，將會進行前測，來測出每位受試者的基準值。請受試者執行標準化熱身後，以靜態休息5分鐘，隨後進行下肢適能（下蹲跳[countermovement jump, CMJ]、25公尺衝刺）與運動表現（前空翻、後空翻）的測驗，每一項測驗之間，皆會讓受試者休息5分鐘後才能進行下一項測驗，每項測驗皆會進行三次的資料蒐集，並取受試者最佳的數據進行分析，前測結束

後，將會進行為期八週，每週三次的VT結合UST。訓練開始前，振動訓練器（Aerobics Vibrator, Body Green, Taiwan）的振動平台上將會放置平衡板（Balance Board, Domyos, France），實施總計20分鐘之VT結合UST。受試者以半蹲姿勢站立於平衡板上同時進行VT，屈膝約90度，實施60秒，間隔休息60秒，以上流程為1組，進行共10組的訓練。本研究參考Manimmanakorn et al. (2014)之VT課表建議，較佳的高振頻訓練刺激為30-50 Hz，然而本研究振動訓練器僅能設定在40 Hz，因此將高振頻組的訂為40 Hz之頻率，1 mm之振幅；而低振頻組的強度設定為25 Hz之頻率，1 mm之振幅。最後，會於4週訓練後、6週訓練後及8週訓練後，皆進行共3次的相同測驗流程與資料蒐集，並取最佳數值進行統計分析。

本研究將要求受試者每次測驗的時間均需一致，且於每次測驗前24小時避免激烈運動或訓練，並禁止食用能提升運動表現的食品，來減少對研究結果之影響。而在研究過程中，將會以口頭鼓勵受試者以最大努力來進行整個訓練過程及訓練，並要求每位受試者於各測驗及訓練時的動作一致性。

（二）CMJ測驗

此測驗為下肢運動適能在爆發力能力的評估，將進行CMJ，受試者站立於跳躍分析系統之測力感應墊上（Smart Jump, Fusion Sport, Australia），進行預備動作時身體呈立正姿勢，雙手虎口插腰，聽口令後，膝關節向下彎曲後，再盡全力向上垂直起跳，滯空時雙手仍維持插腰姿勢，著地時身體不可左右搖晃。參考Cormie, Deane, Triplett, and McBride (2006)的測驗內容，因此將蒐集CMJ的跳躍高度（公分）與跳躍時的最大力量輸出（瓦特），測驗數據經由跳躍分析系統即時回饋結果並且紀錄之。

（三）25公尺衝刺測驗

此測驗為下肢運動適能在速度能力的評估，將利用無線光柵系統（Smart Speed, Fusion Sport, Australia）進行25公尺衝刺測

驗，在起點處和終點處放置光柵系統；請受試者採站立式起跑姿勢，於起點處之光柵系統後方預備，待光柵系統燈號亮起時，受試者即全速進行25公尺衝刺，本測驗將記錄受試者於衝刺時的最快時間（秒），測驗數據經由無線光柵系統即時回饋結果並且紀錄之。

（四）前、後空翻測驗

體操項目無論男子或女子項目皆須仰賴基礎空翻技術來進行發展，對於體操選手其基礎動作包含了原地前空翻與原地後空翻（翁士航、俞智贏，2012）。因此，本測驗選擇了前空翻與後空翻測驗做為體操選手在專項技巧上的運動表現評估，將利用測力板（9287, Kistler, USA）來進行測驗。測驗時會先請受試者自起始線準備進行原地前空翻，預備時需將雙腳踩於測力板上，聽聞口令後，全力向上起跳來實施前空翻動作，而落地時雙腳需著地在測力板上，回復到自然站立姿勢，為一次成功的前空翻。前空翻測驗結束後，將換成後空翻測驗，後空翻測驗時同樣會先請受試者自起始線準備進行原地後空翻，預備時需將雙腳踩於測力板上，聽聞口令後，全力向上起跳來實施後空翻動作，而落地時雙腳需著地在測力板上，回復到自然站立姿勢，為一次成功的後空翻。本測驗將蒐集受試者在實施測驗時的起跳最大力量（牛頓），並根據地面反作用力曲線來記錄選手空翻之騰空時間，再以公式 $= 1/2 \times g \times gt^2$ 來計算，求得受試者身體重心之最大垂直位移以代表空翻高度（公分）。

三、統計分析

統計方式利用SPSS 22.0中文版統計軟體進行以下分析：

- （一）以混合設計二因子變異數分析（two-way ANOVA），比較高振頻組與低振頻組兩組經VT結合UST後，對CMJ、25公尺衝刺、前空翻和後空翻表現與前測值是否有達顯著差異，以及比較高振頻組與低振頻組兩組是否有達顯

著差異。如交互作用達顯著時，會使用A因子（組別）獨立樣本單純主要效果檢定進行組間的比較，以及分割檔案後用B因子（測驗時間）相依樣本單純主要效果檢定，分別比較高振頻組與低振頻組之組內前測、4週訓練後、6週訓練後、8週訓練後之測驗；如交互作用不顯著，則個別進行單因子變異數分析。

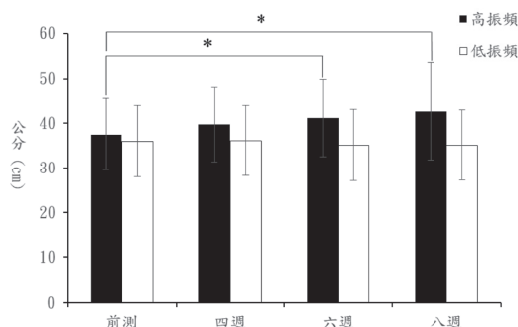
- （二）各項檢測參數分析數據顯著水準為 $\alpha = .05$ 。

參、結果

一、VT結合UST對爆發力之影響

以兩組之組別與測驗時間兩因子，進行混合設計二因子變異數分析，跳躍高度結果顯示兩組別與測驗時間有交互作用（ $F = 5.25, p < .05$ ），故進行單純主要效果檢定比較。表一結果中的組別因子分析結果顯示無論在4週、6週、8週訓練後的狀態中高振頻組與低振頻組之間皆未達顯著差異。而在時間因子中，高振頻組在8週訓練後顯著優於前測；在6週訓練後也顯著優於前測，然而，在4週訓練後是未達顯著之情形。接著，低振頻組的分析結果顯示無論4週、6週、8週訓練後都是未達顯著差異水準（圖一）。

最大力量輸出結果經分析後顯示兩組別與測驗時間有交互作用（ $F = 5.40, p <$



圖一 下蹲跳（CMJ）測驗之跳躍高度結果比較

註：* $p < .05$ ，與前測值比較。

.05)，故進行單純主要效果檢定比較。表一顯示組別因子無論在4週、6週、8週訓練後的狀態中高振頻組與低振頻組之間皆未達顯著差異。而在時間因子中，高振頻組的分析結果顯示於8週訓練後顯著優於前測，然而6週訓練後是未達顯著於前測及在4週訓練後也是未達顯著於前測。接著，低振頻組的分析結果顯示無論4週、6週、8週訓練後都是未達顯著差異水準（圖二）。

二、VT結合UST對速度之影響

其衝刺速度進行分析後表二結果顯示兩種因子在交互作用上未達顯著差異水準（ $F = .83, p > .05$ ），因而直接進行主要效果比較。在組別因子上於8週訓練後高振頻組與低振頻組之間有達顯著差異水準，而在4週、

6週訓練後兩組都未有顯著差異情形。測驗時間因子上兩組都是未達顯著差異情形（圖三）。

三、VT結合UST對運動表現之影響

表三的前空高度表現分析結果顯示兩種因子在交互作用上是未達顯著差異水準的（ $F = 2.82, p > .05$ ），因而進行主要效果分析比較。但在測驗時間與組別因子上也都是未達顯著差異情形的。

前空起跳力量表現分析結果顯示兩種因子在交互作用上是未達顯著差異水準的（ $F = 1.95, p > .05$ ），因而進行主要效果分析比較。如表三在組別因子上於八週訓練後高振頻組是達顯著優於低振頻組以及在6週訓練後高振頻組也是顯著優於低振頻組的，4週訓練

表一 CMJ測驗之結果分析

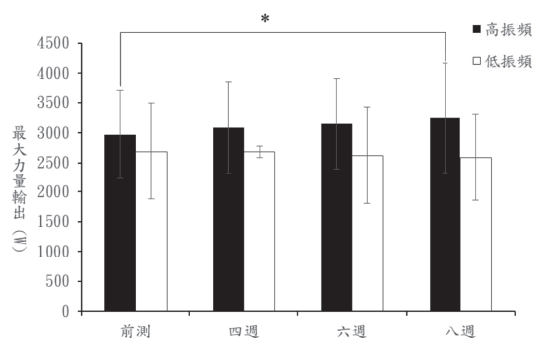
		前測	4週訓練後	6週訓練後	8週訓練後
跳躍高度 (cm)	高振頻組	37.55 ± 8.00	39.76 ± 8.36	41.16 ± 8.67*	42.70 ± 10.93*
	低振頻組	35.98 ± 8.04	36.20 ± 7.87	35.15 ± 7.96	35.10 ± 7.84
最大力量輸出 (w)	高振頻組	2,971.96 ± 747.09	3,090.86 ± 769.90	3,150.50 ± 757.86	3,251.03 ± 918.59*
	低振頻組	2,685.85 ± 803.73	2,686.15 ± 097.95	2,620.34 ± 813.65	2,588.62 ± 726.51

註：* $p < .05$ ，與前測值比較。

表二 25公尺衝刺測驗之結果分析

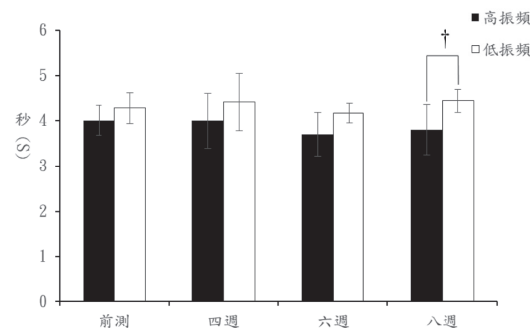
		前測	4週訓練後	6週訓練後	8週訓練後
時間 (s)	高振頻組	4.00 ± .33	3.99 ± .60	3.70 ± .48	3.80 ± .55†
	低振頻組	4.27 ± .34	4.41 ± .63	4.16 ± .22	4.43 ± .25

註：† $p < .05$ ，與低振頻組比較。



圖二 CMJ測驗之跳躍力量結果比較

註：* $p < .05$ ，與前測值比較。



圖三 衝刺測驗之結果比較

註：† $p < .05$ ，與低振頻組比較。

後兩組是未達顯著差異情形。而在時間因子上的主要效果分析顯示兩組皆未達顯著差異之情形（圖四）。

後空翻高度結果顯示兩種因子在交互作用上未達顯著差異水準（ $F = 2.84$ ， $p > .05$ ），因而直接進行主要效果比較。經分析後表四結果顯示組別因子也是未達顯著差異情形，但在測驗時間因子上高振頻組在8週訓練後的測驗結果顯著優於前測，而在4週、6週訓練後的測驗結果是未達顯著差異。低振頻組經分析後是未達顯著差異之情形（圖五）。

後空翻起跳力量經分析後其結果顯示，兩種因子在交互作用上未達顯著差異情形（ F

$= 2.23$ ， $p > .05$ ），因而直接進行主要效果比較。表四結果中的後空翻起跳力量在組別因子上高振頻組與低振頻組在8週訓練後達到顯著差異之情形，而在4週、6週訓練後皆未達顯著差異。測驗因子上高振頻組與低振頻組兩組都是未達顯著之情形（圖六）。

肆、討論

本研究在探討VT結合UST，運用高振頻與低振頻方式，對體操選手下肢適能與運動表現之影響。因本研究所招募的研究對象均為體操選手，必須接受每週至少5天，每天至少3小時的體操專項訓練，因此所有受試者除

表三 前空翻測驗之結果分析

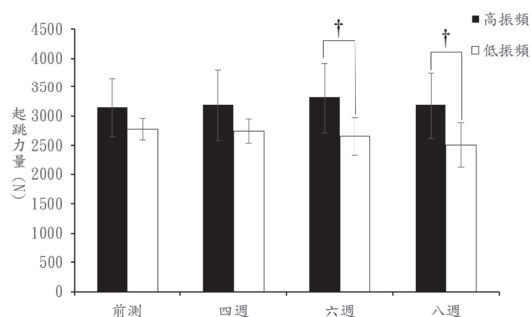
		前測	4週訓練後	6週訓練後	8週訓練後
高度 (cm)	高振頻組	132.08 ± 11.00	131.25 ± 12.68	133.39 ± 11.95	136.04 ± 15.45
	低振頻組	128.62 ± 9.54	129.88 ± 11.50	128.41 ± 11.84	128.88 ± 11.61
起跳力量 (n)	高振頻組	3,150.36 ± 505.75	3,195.42 ± 617.01	3,317.31 ± 603.74 [†]	3,188.13 ± 571.26 [†]
	低振頻組	2,778.96 ± 182.56	2,745.81 ± 201.88	2,653.57 ± 313.85	2,505.28 ± 381.51

註：[†] $p < .05$ ，與低振頻組比較。

表四 後空翻測驗之結果分析

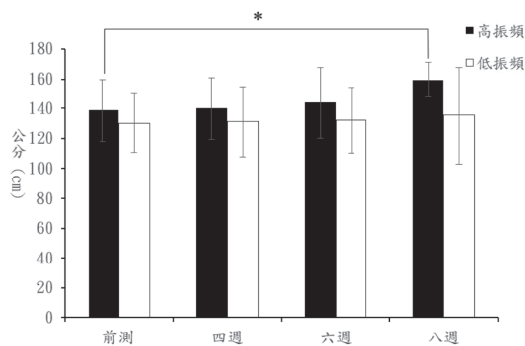
		前測	4週訓練後	6週訓練後	8週訓練後
高度 (cm)	高振頻組	138.60 ± 20.81	140.06 ± 20.93	143.92 ± 23.87	159.30 ± 11.86 [*]
	低振頻組	130.05 ± 19.53	131.26 ± 23.52	132.25 ± 22.00	135.52 ± 32.40
起跳力量 (n)	高振頻組	1,738.78 ± 243.00	1,774.53 ± 252.01	1,776.00 ± 221.98	1,773.61 ± 220.14 [†]
	低振頻組	1,523.53 ± 201.35	1,513.08 ± 217.25	1,501.06 ± 216.82	1,353.27 ± 266.00

註：^{*} $p < .05$ ，與前測值比較；[†] $p < .05$ ，與低振頻組比較。



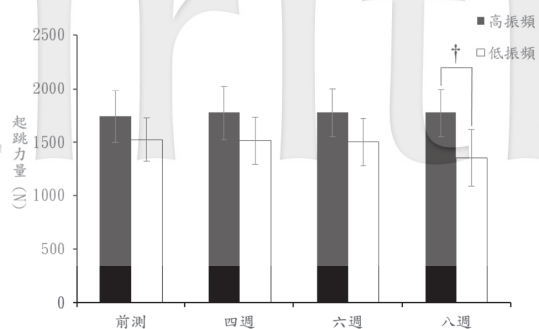
圖四 前空翻測驗之起跳力量結果比較

註：[†] $p < .05$ ，與低振頻組比較。



圖五 後空翻測驗之空翻高度結果比較

註：^{*} $p < .05$ ，與前測值比較



圖六 後空翻測驗之起跳力量結果比較

註：† $p < .05$ ，與低振頻組比較。

接受體操專項訓練課表以外，並另增加8週的VT結合UST課表，而其研究結果顯示，高振頻組在爆發力、後空翻表現上均顯著高於前測，而在速度、前空翻與後空翻表現上皆顯著優於低振頻組。

本研究為第一篇針對VT結合UST，透過運用不同振頻來探討對於體操選手下肢適能與運動表現之影響。透過VT和UST的個別研究，都已得知VT之所以能夠提升下肢適能表現，主要是透過刺激神經肌肉系統中的肌梭與高爾基腱器，活化運動神經元招募更多運動單位，並同時降低高爾基腱器的抑制現象，亦即VT激活肌肉收縮的感受器，從而讓下肢適能表現有所提升（Cardinale & Bosco, 2003; Cochrane et al., 2004; Wyon et al., 2010）。而UST主要是運用地面不穩定的特性來提升人體感知運動的功能，經由本體感覺感知後，由中樞神經系統協調，將訊息傳至神經肌肉系統，來控制活動肌群，以維持動作之穩定，而為了維持動作的穩定，必須在神經肌肉與骨骼肌肉，兩種系統中不斷反覆的控制，這促進作用肌與拮抗肌的協同收縮與控制；過程中必須精準且不斷的徵召運動單位，所以它強化肌力收縮的活化與縮短肌群動作時的反應時間，而可以更有效激活運動單位的頻率（Bruhn, Kullmann, & Gollhofer, 2004; Gruber, & Gollhofer, 2004; Horak, 2006）。由此推論UST增加了VT時的動作難度，藉以強化了VT對於神經肌肉系統的活化效果，因而讓受試者的下肢適能和

運動表現獲得改善，不過以研究結果看來，關於這樣的論點，目前相關的驗證研究仍有限，還需透過未來更多的研究來加以驗證其論點。

Marin and Hazell (2014) 的研究是首篇利用肌電儀的測量來探討VT結合UST，對於下肢肌群與軀幹肌群的活化程度影響，其研究結果發現利用VT結合UST對於下肢與軀幹肌群，皆能有效的提升肌肉活化程度，則僅實施UST對於肌肉活化程度則較無顯著效果。從Marin and Hazell的研究可發現VT結合UST被分為兩組，一組為不穩定表面結合低振頻的VT和一組不穩定表面結合高振頻的VT，兩組皆為低振幅，然而結果證實是不穩定表面結合低振頻的VT效果比較好。此研究的訓練動作為下肢半蹲姿勢與本研究的動作相符，且皆是探討不同振頻的VT結合UST，但研究結果卻呈現低振頻的VT結合UST效果較佳，與本研究為高振頻的VT結合UST效果較佳的結果不相符，Marin and Hazell的研究設計為訓練後立即性的測量，這點與本研究設計上有所不同，因而導致結果與本研究結果不相符，證實低振頻的結合訓練能在立即性訓練後達到顯著的訓練效果，但經本研究結果推論，低振頻的結合訓練在經過長短期訓練後可能因訓練刺激不足，而導致測驗表現進入停滯或退步。

Cloak et al. (2013) 的研究中，招募33位美式足球員來接受6週的VT結合UST，並分成三組，一組為VT結合UST，一組為UST及控制組，前測與後測皆利用單腳站立的重心變化測驗（center of mass）、星狀偏移平衡測驗（star excursion balancetest）以及單腳往前連跳三步測距離（single-leg triple hop for distance），來測量受試者在下肢適能的平衡與爆發力表現，VT皆採用30-40 Hz高振頻的方式，其結果顯示高振頻的VT結合UST皆能顯著增進下肢適能的平衡與爆發力表現，雖然本研究未測量平衡表現，但高振頻的結合訓練能顯著改善下肢適能的爆發力表現，因此經Cloak et al.的研究結果與本研究結果皆可證實6週高振頻的結合訓練能有效改善下肢爆

發力，然而本研究結果更進一步證實，運用8週高振頻結合訓練會產生比6週更好的訓練效益。並推論VT因添加了UST後，使神經肌肉系統中肌梭敏感度提高，且增加了運動神經元的興奮程度，在肌梭產生最大力量時，可能促進運動單位發生同期化作用，進而產生更大的力量輸出，因此使得爆發力表現在本研究與Cloak et al.的研究結果中都有顯著改善。然而，缺少肌電儀來測量神經肌肉系統的活化情形，再與下肢適能和運動表現來做比較，來驗證上述的論點是相當困難的，此部分還有待未來研究加以探討。

伍、結論

綜合上述結果與討論，本研究可得到以下結論與建議：4週的結合訓練，無論高振頻或低振頻都未能有效提升體操選手之下肢適能和運動表現；6週的結合訓練，高振頻能有效提升CMJ之下肢適能表現，且讓前空翻之運動表現優於低振頻訓練；8週的結合訓練，高振頻能有效提升CMJ之下肢適能和後空翻之運動表現，更讓速度之下肢適能和前、後空翻之運動表現優於低振頻訓練。建議未來訓練中，除了讓選手接受規律專項訓練外，亦可加入6週以上的高振頻VT結合UST來加強下肢適能爆發力及速度能力，以利於提升空翻之運動表現。因研究之限制，僅針對體操選手為研究對象，未來亦可朝向青少年、大學生或不同項目之運動員等不同族群來做後續研究探討。

參考文獻

李佳倫、鄭景峰、徐煒杰、林正常（2008）。不同頻率與振幅的全身振動對西式划船選手股四頭肌群表層肌電活性與運動表現的影響。運動生理暨體能學報，8，13-24。doi: 10.6127/JEPF.2008.08.02

翁士航（2010）。振動訓練對於體操跳馬運動表現之影響。中華體育季刊，24（4），

192-199。doi: 10.6223/qcpe.2404.201012.2020

翁士航、俞智贏（2012）。透過增強式訓練改善體操基礎動作之探討。中華體育季刊，26（2），191-196。doi: 10.6223/qcpe.2602.201206.1203

孫銘、劉強、莊榮仁、相子元（2011）。太極拳結合振動訓練對膝伸肌神經肌肉特性之影響。體育學報，44（2），173-191。doi: 10.6222/pej.4402.201106.090

Bruhn, S., Kullmann, N., & Gollhofer, A. (2004). The effects of a sensorimotor training and a strength training on postural stabilization, maximum isometric contraction and jump performance. *International Journal of Sports Medicine*, 25(1), 56-60. doi: 10.1055/s-2003-45228

Cardinale, M., & Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, 31(1), 3-7. doi: 10.1097/00003677-200301000-00002

Cardinale, M., & Lim, J. (2003). Electromyography activity of vastus lateralis muscle during whole-body vibrations of different frequencies. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(3), 621-624. doi: 10.1519/00124278-200308000-00032

Cloak, R., Nevill, A., Day, S., & Wyon, M. (2013). Six-week combined vibration and wobble board training on balance and stability in footballers with functional ankle instability. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 23(5), 384-391. doi: 10.1097/JSM.0b013e318291d22d

Cochrane, D. J., Legg, S. J., & Hooker, M. J. (2004). The short-term effect of whole-body vibration training on vertical jump, sprint, and agility performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 828-832. doi: 10.1519/00124278-200411000-00025

Cormie, P., Deane, R. S., Triplett, N. T., &

- McBride, J. M. (2006). Acute effects of whole-body vibration on muscle activity, strength, and power. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(2), 257-261. doi: 10.1519/00124278-200605000-00004
- Cressey, E. M., West, C. A., Tiberio, D. P., Kraemer, W. J., & Maresh, C. M. (2007). The effects of ten weeks of lower-body unstable surface training on markers of athletic performance. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(2), 561-567. doi: 10.1519/00124278-200705000-00047
- Čuk, I., & Marinšek, M. (2013). Landing quality in artistic gymnastics is related to landing symmetry. *Biology of Sport*, 30(1), 29-33. doi: 10.5604/20831862.1029818
- Da Silva, M. E., Nunez, V. M., Vaamonde, D., Fernandez, J. M., Poblador, M. S., Garcia-Manso, J. M., et al. (2006). Effects of different frequencies of whole body vibration on muscular performance. *Biology of Sport*, 23(3), 124-132.
- Fagnani, F., Giombini, A., Di Cesare, A., Pigozzi, F., & Di Salvo, V. (2006). The effects of a whole-body vibration program on muscle performance and flexibility in female athletes. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 85(12), 956-962. doi: 10.1097/01.phm.0000247652.94486.92
- Gruber, M., & Gollhofer, A. (2004). Impact of sensorimotor training on the rate of force development and neural activation. *European Journal of Applied Physiology*, 92(1-2), 98-105. doi: 10.1007/s00421-004-1080-y
- Hazell, T. J., Jakobi, J. M., & Kenno, K. A. (2007). The effects of whole-body vibration on upper-and lower-body EMG during static and dynamic contractions. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 32(6), 1156-1163. doi: 10.1139/H07-116
- Horak, F. B. (2006). Postural orientation and equilibrium: What do we need to know about neural control of balance to prevent falls? *Age and Ageing*, 35(2 Suppl), ii7-ii11. doi: 10.1093/ageing/af077
- Kawanabe, K., Kawashima, A., Sashimoto, I., Takeda, T., Sato, Y., & Iwamoto, J. (2007). Effect of whole-body vibration exercise and muscle strengthening, balance, and walking exercises on walking ability in the elderly. *The Keio Journal of Medicine*, 56(1), 28-33. doi: 10.2302/kjm.56.28
- Kibele, A., Classen, C., Muehlbauer, T., Granacher, U., & Behm, D. G. (2014). Metastability in plyometric training on unstable surfaces: A pilot study. *BMC Sports Science, Medicine and Rehabilitation*, 6, 30. doi: 10.1186/2052-1847-6-30
- Manimmanakorn, N., Hamlin, M. J., Ross, J. J., & Manimmanakorn, A. (2014). Long-term effect of whole body vibration training on jump height: Mmeta-analysis. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 28(6), 1739-1750. doi: 10.1519/JSC.0000000000000320
- Marin, P. J., & Hazell, T. J. (2014). Effects of whole-body vibration with an unstable surface on muscle activation. *Journal of Musculoskeletal and Neuronal Interactions*, 14(2), 213-219.
- Pérez-Turpín, J. A., Zmijewski, P., Jiménez-Olmedo, J. M., Jové-Tossi, M. A., Martínez-Carbonell, A., Suárez-Llorca, C., et al. (2014). Effects of whole body vibration on strength and jumping performance in volleyball and beach volleyball players. *Biology of Sport*, 31(3), 239-245. doi: 10.5604/20831862.1112435
- Rees, S., Murphy, A., & Watsford, M. (2007). Effects of vibration exercise on muscle performance and mobility in an older population. *Journal of Aging and Physical Activity*, 15(4), 367-381. doi: 10.1123/japa.15.4.367

- Rittweger, J., Mutschelknauss, M., & Felsenberg, D. (2003). Acute changes in neuromuscular excitability after exhaustive whole body vibration exercise as compared to exhaustion by squatting exercise. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 23(2), 81-86. doi: 10.1046/j.1475-097X.2003.00473.x
- Rønnestad, B. R. (2004). Comparing the performance-enhancing effects of squats on a vibration platform with conventional squats in recreationally resistance-trained men. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 18(4), 839-845. doi: 10.1519/00124278-200411000-00027
- Rønnestad, B. R. (2009). Acute effects of various whole-body vibration frequencies on lower-body power in trained and untrained subjects. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 23(4), 1309-1315. doi: 10.1519/JSC.0b013e318199d720
- Seo, B. D., Yun, Y. D., Kim, H. R., & Lee, S. H. (2012). Effect of 12-week Swiss ball exercise program on physical fitness and balance ability of elderly women. *Journal of Physical Therapy Science*, 24(1), 11-15. doi: 10.1589/jpts.24.11
- Willardson, J. M. (2007). Core stability training: Applications to sports conditioning programs. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 21(3), 979-985. doi: 10.1519/00124278-200708000-00054
- Wyon, M., Guinan, D., & Hawkey, A. (2010). Whole-body vibration training increases vertical jump height in a dance population. *The Journal of Strength and Conditioning Research*, 24(3), 866-870. doi: 10.1519/JSC.0b013e3181c7c640