

震動刺激對上肢小肌肉表現之立即性影響

臺北市立體育學院
王子瑋*、劉 強#

國立臺灣體育學院
陳全壽

摘 要

本研究目的旨在探討震動刺激對上肢小肌肉之立即性影響，期待能利用震動刺激對肌梭的誘發，針對手腕附近較難訓練的小肌群，設計並驗證一種可有效促進肌力與控制力的訓練器材。12 位平均年齡約 24 歲大專學生為受試者，在固定姿勢下利用手持式震動訓練器進行刺激，觀察 10 秒後的立即反應以及 60 秒後的恢復狀況。經重覆量數單因子變異數分析後，結果發現震動刺激會使平均肌電訊號由 0.286 ± 0.135 伏特顯著降低至 0.257 ± 0.140 伏特，並在恢復測試顯著地持續降低至 0.247 ± 0.124 伏特 ($F = -5.86$, $p < .05$)；震動刺激後會顯著增進柔軟度，由 145.833 ± 18.566 度增至 152.708 ± 17.499 度，且經 60 秒後的恢復測試後柔軟度仍顯著大於刺激前，由 145.833 ± 18.566 度增至 150.417 ± 20.277 度 ($F = 3.77$, $p < .05$)；但其他運動表現如握力、控制力和反應能力等，雖呈現震動刺激後立即進步，但未達到統計上的顯著性 ($p > .05$)。結論手腕附近小肌群經震動刺激介入，會影響神經系統對肌肉的調控，並增進柔軟度；因此，本研究認為震動刺激會對上肢小肌肉有正面地立即性影響。

關鍵詞：控制能力、柔軟度、手部肌群

*第一作者

#通訊作者

Acute effects of vibration stimulus on performance in fine motor muscles

Abstract

The purpose of this study was to investigate acute effects of vibration stimulus on performance in forearm muscles. The muscle spindle induced by vibration stimulus was used to design effective equipment for improving hand muscle strength and control ability. 12 subjects held a handy vibration dumbbell (TVR-340, Tonic Fitness Tech. Inc.) for 10 second at frequency of 24Hz. The grasp force, EMG of wrist flexor, control ability, simple reaction ability and range of motion of wrist were measured at pre-test (before vibration), post-test (10-second after vibration), and recovery-test (60-second after vibration), respectively. Repeated measure one-way ANOVA was used to compare difference among three tests. The results indicated that the EMG of wrist flexor significantly decreased from 0.286 ± 0.135 v to 0.257 ± 0.140 v at post-test and from 0.286 ± 0.135 v to 0.247 ± 0.124 v at recovery-test ($F=3.86$, $p<.05$). Furthermore, flexibility of wrist joint increased significantly from $145.833\pm 18.566^\circ$ to $152.708\pm 17.499^\circ$ at post-test and from $145.833\pm 18.566^\circ$ to $150.417\pm 20.277^\circ$ at recovery-test ($F=2.77$, $p<.05$). The grasp force, control ability, simple reaction ability had increased without statistical difference ($p>.05$). The findings suggested that short-term vibration by handy vibration dumbbell induced neuronmuscular system and flexibility. Therefore, fine-motor muscle was stimulated by vibration positively affects on performance.

Keywords: control ability, flexibility, hand muscles.

壹、問題背景

震動式訓練受到運動及訓練科學方面的注意，不論在短期與長期效應皆可以發現力量和爆發力的進步(Cardinale & Bosco, 2003)，也可提高柔軟度及骨質密度(Issurin & Tenenbaum, 1999)，主要是因為能在短期的訓練中就可達到肌力與運動表現的改善(Bosco, Colli, Introiini, Cardinale, Tsarpela, Madella, Tihanyi, & Viru, 1999)，其他研究也指出，近年來震動訓練已被廣泛發展，特別是一些運動器材大廠的不斷開發、器材不斷的推陳出新，使得震動訓練對人體能有效增進各項運動表現保持高度的期待，學者更進一步指出震動式訓練可有效的增進神經肌肉表現(Bosco, Cardinale & Tsarpela, 1999)，且已獲得國外運動科學的高度重視。

震動刺激誘發肌梭末梢(primary spindle ending)引發張力震動反射(tonic vibration reflex, TVR) (Burke, Hagbarth, Lofstedt & Wallin, 1976)，包括肌梭的興奮及降低高爾肌腱器的抑制，經由 Ia 傳入神經纖維到 α 神經元調控神經訊後，最後激活肌肉纖維，而其也可能經過肌梭的激活與多突觸路徑招募更多的運動單位(Falempin & In-Albon, 1999)，但有學者認為肌梭的感覺終板反應會較 TVR 激烈(Roll, Vedel & Ribot, 1989)。不過研究仍證實 TVR 能夠再招募運動單位及維持肌肉疲勞時運動單位的參與率(Griffin, Garland, Ivanova & Gossen, 2001; Martin & Park, 1997)。

震動刺激結合肌肉收縮的頻率，不僅在力量上有加成效果，對於神經適應上亦有幫助，因為藉由肌肉的震動可刺激肌梭進而改變運動單元(motor unit)的放電頻率(Griffin et al, 2001)；Mottram, Maluf, Stephenson, Anderson & Enoka (2006) 指出肱二頭肌在維持一穩定姿勢下，接受震動訓練可以比做等張收縮訓練更快的興奮運動神經終池。Bautmans, Van Hees, Lemper & Mets (2005) 等學者也指出經過震動訓練後，24 位受居家照護的老年人其平衡和動作上有幫助，然而震動刺激對於如何促使神經系統產生變化的訓練方法仍無法十分確定；而 Bongiovanni & Hagbarth (1990) 雖然提出神經放電頻率也許在訓練下不會改變，但力量會有所增加；此外也有學者針對胸椎脊髓損傷(spinal cord injury)的病人做研究指出，平均力量與平均爆發力在震動訓練的介入後皆有進步(Melchiorri, Andreoli, Padua, Sorge & De Lorenzo, 2007)；因此過去研究證實震動訓練可

促使力量的增加。

從生理與解剖的角度來說，手部功能性的活動為觸碰可以接收到外界的感覺訊息、抓握以及操作物體，手部的動作或是靜態的擺位皆會影響手部外在肌肉長度與張力的關係，進而對整體上肢的動作造成影響。日常生活中大多數的動作皆需要上肢的參與，特別是一些精細的動作；然而，手部操控著大部分生活所需的動作，卻發現這些小肌肉的訓練卻是非常地困難。此外，手部及腕部的工作相關肌肉骨骼傷害往往最常發生，包含運動與職業傷害等等。游志雲，劉玉莉，張嘉玲，楊宜學與陳志勇(1999) 研究指出，力握 (power grip) 是造成手部及腕部的工作相關肌肉骨骼傷害最主要的動作機制。為了要降低手部及腕部的工作相關肌肉骨骼傷害的發生，如果可以藉由手持式震動訓練器來刺激手腕附近平常不易訓練到的小肌肉群，便可以減少手部及腕部的工作相關肌肉骨骼傷害的發生，並達到預防的效果；而手腕附近肌群的柔軟度往往扮演預防受傷以及受傷過後復健的重要因子。基於針對大肌肉群的各種研究已經逐趨完善，對於小肌肉群的訓練、對於桌球、網球、羽球等需持球拍運動的選手、對於籃球、排球、手球等手部直接接觸球體的選手，是否可透過震動刺激誘發手部末梢神經刺激以增加運動表現，在文獻的蒐集與探討之下，手部相關震動訓練的研究仍十分的稀少。

因此，本研究主要以手持式震動訓練器為實驗器材，利用握力計、表面肌電儀等為驗證工具，探討手持式震動訓練器的刺激介入是否能立即增進手部的握力、肌肉活化程度、控制力、反應能力及柔軟度，以了解震動刺激方式增進手部運動表現之效果。

貳、研究方法

一、受試者：

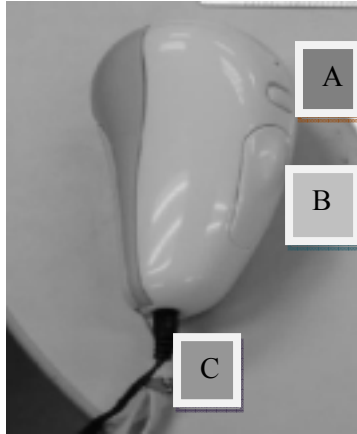
本實驗共有 12 位健康受試者(有 9 位為男性, 3 位為女性)參與, 平均年齡為 24.75 歲(標準差 1.81), 所有受試者不論上下肢皆沒有肌肉骨骼及神經系統上的損傷, 且從未接受過此項手持式震動訓練器的訓練。12 位受試者皆同意進行此項實驗; 實驗的地點為台北市立體育學院運動器材科技研究所實驗室。

二、實驗設計：

正式實驗前先向每位受試者說明實驗流程, 並練習使用手持式震動訓練器。實驗開始前先測得每位受試者的前測資料(刺激前), 完成一項測試後立即進行 10 秒鐘的手持式震動訓練器刺激, 此 10 秒鐘的刺激過程請受試者全力握住手持式震動訓練器, 並聽從施測者的口令, 結束刺激後經過 10 秒鐘休息立刻進行第一次後測為立即性的影響(刺激後), 完成測試後再經過 60 秒休息進行第二次後測為測試恢復情形(恢復測試), 全部測試測驗完成後即完成本次實驗。

三、震動刺激處方：

圖一所示本次實驗所採用之手持式震動訓練器(型號: TVR-340。台灣: 期美科技股份有限公司。重量: 300g)。在圖一中所標 A 處為頻率調整扭, 可切換兩種不同頻率; B 處為手握開關, 當受試者手握住訓練器且必須壓到 B 處, 即產生震動的效果; C 處則為電源連接處。而本實驗所選用之震動頻率經過實驗測試後可知為 24 Hz, 震幅為 0.5 cm。本實驗受試者採取坐姿, 並將其慣用手置於桌上, 肩關節外展 30 度, 肘關節彎曲 90 度, 腕關節屈曲 30 度, 手掌必須握住手持式震動訓練器手握開關處, 聽到口令後用力握緊驅動震動器開始, 震動過程中受試者須盡全力(100% Maximal voluntary contraction), 因此在肌肉可負荷程度下將刺激時間設為 10 秒鐘, 由施測者指示受試者放鬆停止。



圖一 手持式震動訓練器



圖二 震動刺激情形

四、測試方法及流程：

本研究為確保震動刺激後之立即效果不會因為測試項目過多或測試時間過長而受影響，而將所有測試方法分成三個部分，每位受試者以隨機順序分別接受三部分的測試，每部分刺激及測試皆間隔五分鐘。第一部分進行肌力與肌肉活化程度之測試，於刺激前先進行此兩項測試的資料收集，在進行握力測試的同時收集肌電訊號，接著進行 10 秒鐘的震動刺激，再經過 10 秒之後進行立即性影響之測試，再經過 60 秒進行恢復情形之測試；第二部分為手部控制能力之測試；第三部分為反應能力與柔軟度之測試。

五、測驗方法：

(一)握力和肌肉活化程度

利用握力計測得受試者之握力，受試者採站立姿勢慣用手握住，握力計自然垂於身體側邊，但不碰觸到身體，持續用力五秒鐘，並同時收集屈指淺肌之肌電訊號。刺激結束後，將收集到的握力值依照刺激前、刺激後及恢復測試詳細記錄，並將 12 位受試者之資料作平均的處理。同時收集到之肌電訊號則經過 Acqknowledge 3.8.1 軟體以 10~500Hz 的範圍進行 Band pass 濾波，濾波完再進行全波整流，選取

肌電訊號穩定後之 2 秒鐘訊號求得 mean EMG 之資料。

(二)控制力

測量夾三顆豆子的秒數。當接觸到第一顆豆子時計時開始，放下最後一顆豆子時停止計時。將刺激前取得之資料和刺激結束後收集所得之秒數依照刺激前、刺激後及恢復測試詳細記錄。控制力越好所花費的時間越少。

(三)反應能力

利用落尺刻度測得反應時間。測量前食指放置於刻度 10 公分處，尺隨機落下，受試者必須馬上反應並接住落尺。接住尺後的刻度再減去 10 公分即為落尺刻度。將刺激前取得之資料和刺激結束後收集所得之數據依照刺激前、刺激後及恢復測試詳細記錄。反應時間越快，落尺刻度越少。

(四)柔軟度

利用量角器測量手腕彎曲度，以測得受試者柔軟度。將前臂固定於水平桌面，手腕向前屈曲至極限量測其角度，手腕再伸展至極限量測其角度，並將兩值做計算即為關節活動角度。將刺激前取得之資料和刺激結束後收集所得之數據依照刺激前、刺激後及恢復測試詳細記錄。柔軟度越好，關節角度越大。

六、統計分析：

利用統計分析軟體 SPSS 12.0 中文版，自變項為刺激前、刺激後以及恢復測試等測試時間點，依變項為握力、肌肉活化能力、控制力、反應時間、柔軟度等參數，以重覆量數單因子變異數分析進行統計考驗，若 F 值達顯著性後，以最小顯著差異(LSD)進行事後比較，顯著水準均訂為.05。

參、結果

所有的受試者皆順利完成刺激以及測試項目，並且沒有出現任何副作用。大部分的受試者都覺得手部肌肉，在經過 10 秒的刺激之後有被刺激到的感覺。在男性與女性受試者的反應上並沒有因為性別造成結果的差異，因此資料的分析不考慮性別的因素。

表一 震動刺激前後各項能力之結果

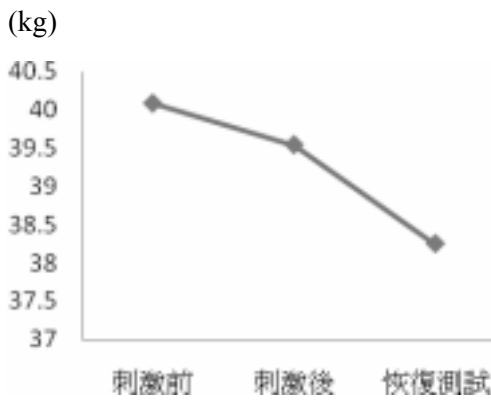
參數	刺激前	刺激後	恢復測試
握力(kg)	40.083±15.095	39.542±12.252	38.250±11.581
肌電訊號(volts)	0.286±0.135 ^a	0.257±0.140 ^b	0.247±0.124 ^c
控制力(second)	3.850±0.867	3.670±0.976	3.930±1.527
反應能力(cm)	15.800±3.242	15.200±4.468	15.500±5.665
柔軟度(°)	145.833±18.566 ^a	152.708±17.499	150.417±20.277 ^c

註：a 表示刺激前與刺激後之間達顯著差異；b 表示刺激後與恢復測試之間達顯著差異；c 表示刺激前與恢復測試之間達顯著差異

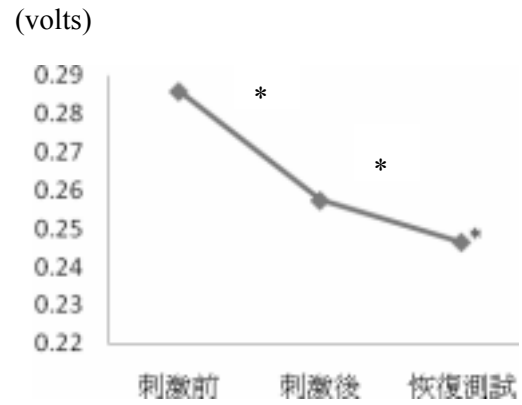
一、握力和肌電訊號：

受試者經過 10 秒鐘的手持式震動式刺激之後，由圖三可知握力經過刺激之後在是呈現下降的趨勢，刺激後 10 秒的立即測試下降了 0.54 kg，60 秒後的測試則又下降了 1.29 kg；但從表一可知，震動刺激前、刺激後、恢復測試等均未達到統計上顯著性差異 ($p>.05$)。

由圖四可知，肌電訊號與握力呈現相同的下降趨勢；如表一所示，肌電訊號在震動刺激後會立即地顯著下降約 0.0285 volts，且震動刺激後的 60 秒測試則又顯著的下降約 0.1089 volts($F=-5.86, p<.05$)。



圖三 震動刺激對握力之影響



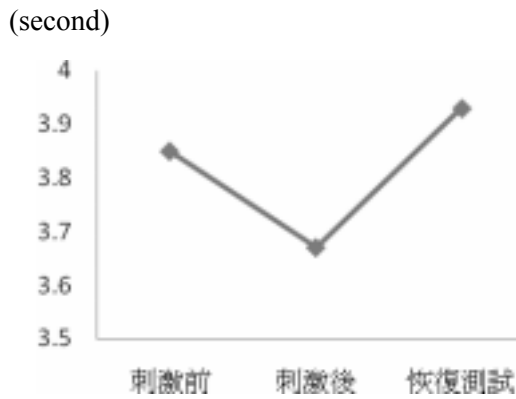
圖四 震動刺激對肌電訊號之影響

二、控制力：

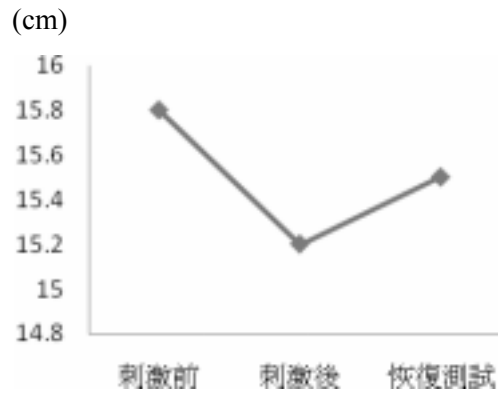
在控制力的測試上，可由圖五看出在刺激後 10 秒的立即測試呈現秒數進步 0.18 秒；但在 60 秒之後的測試則比起立即測試效果退步了 0.26 秒；由表一可知，震動刺激前、刺激後、恢復測試等均未達到統計上顯著性差異($p>.05$)。

三、反應能力：

在反應能力的測試上，可由圖六看出在刺激後 10 秒的立即測試呈現進步 0.60 cm；但在 60 秒之後的測試則比起立即測試效果退步了 0.30 cm；由表一可知，震動刺激前、刺激後、恢復測試等均未達到統計上顯著性差異($p>.05$)。



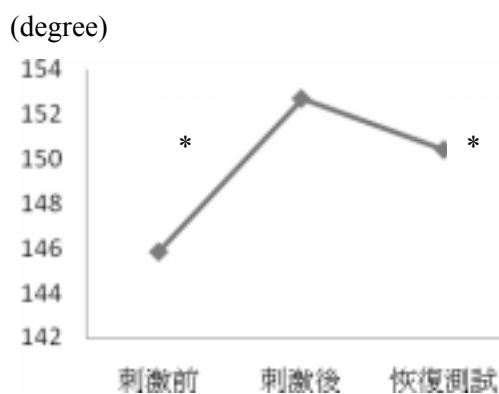
圖五 震動刺激對控制力之影響



圖六 震動刺激對反應能力之影響

四、腕關節柔軟度：

在柔軟度的測試上，可由圖七看出在刺激後 10 秒的立即測試進步了 6.88 度；但在 60 秒之後的測試則比起立即測試效果退步了 2.29 度，但比起刺激前的測試角度是進步了 4.58 度；由表一可知，震動刺激後會顯著增進柔軟度，且經 60 秒後的恢復測試後柔軟度仍顯著大於刺激前($F=3.77, p<.05$)。



圖七 震動刺激對柔軟度之影響

肆、討論

經過十秒鐘手持式震動訓練器的刺激結果顯示，受試者在肌電訊號呈現衰退的狀態，雖然握力值沒有達到統計上的意義，但同樣呈現衰退的現象，在手腕部分肌群柔軟度則是呈現進步的狀態；而在其他運動表現，如控制力與反應能力，雖然沒有達到統計上的意義，但是也表現出先進步再衰退的趨勢。

經過十秒鐘的震動刺激之後，可以看出肌電訊號呈現退步的現象，將足夠頻率與強度的震動刺激直接作用在想要訓練的肌群上，能誘發`tonic vibration reflex` (TVR)的作用(Hagbarth & Eklund, 1985)，藉由 TVR 的作用使得神經興奮性的增加、肌梭的活化等均是達到訓練效果的重要因素。雖然有學者的研究指出 TVR 的活化會先促進運動神經元的徵召(De Gail, Lance & Neilson, 1966)，但最後仍會造成疲勞的產生而使肌肉活性下降；研究確實經過震動訓練的受試者較沒接受震動訓練更容易使肌肉達到疲勞的狀態(Mottram et al., 2006)，因此，給予足夠頻率的震動訓練的確對手部肌肉的活化程度造成影響，震動訓練造成肌電訊號的下降主要就是肌肉產生疲勞的徵兆(Jurell, 1998)。

整理過去學者的研究發現，經過足夠時間、頻率與震幅的全身性震動訓練後短期肌肉力量與運動表現(如跳躍)都有明顯的進步(Torvinen, Kannus, SievaÈnen, JaÈrvinen, Tero, Pasanen, Kontulainen, JaÈrvinen, Teppo, JaÈrvinen, Oja, & Vuori, 2002a; Torvinen et al., 2002b; Paradisis & Zacharogiannis, 2007; Delecluse, Roelants & Verschueren, 2003)，但在本實驗中可以發現握力值呈現持續下降，而不是如同全身性震動訓練對下肢造成進步的效果，由此可知，上下肢的肌肉組成型態與神經徵召所需要的頻率，極可能是不相同的狀態，對手部使用與全身性震動訓練相似的頻率，就有可能使得肌肉力量表現不如預期出現進步的效果，而是經過訓練後直接就表現出疲勞的狀態，進而導致在 60 秒後仍然還未從疲勞中恢復，達到可以促進肌力的效果，呈現持續退步的狀態。力量表現與肌電訊號一同呈現衰退的現象，可能是在震動訓練過程中造成最大肌力受到抑制，並伴隨肌電訊號的衰退(Ushiyama, Masani, Kouzaki, Kanehisa & Fukunaga, 2005)。經過文獻整理可以發現針對手部震動刺激的研究仍不足，因此最佳的訓練參數仍未能確定，訓練的姿勢動作也尚未發展出最佳的方式，這些因素可能導致沒有立即達到進步效果的原因之

一。

雖然經過震動刺激之後有疲勞效應的產生，而本實驗所測試的運動表現如圖五夾豆控制力及圖六落尺反應能力，雖未達到統計上的意義，但皆能觀察到經過刺激之後在立即表現上呈現進步，一段時間後則有退步的現象；可推測經過震動訓練之後對上肢的肌肉而言，已能達到身體溫度提高(Stewart, Macaluso & De Vito, 2003)，進而有熱身的效果，震動式訓練其目的就是藉由震動的刺激，激發如肌梭之身體感覺受器，進而增進 α 神經元的激活與肌肉收縮，最後得到肌肉表現的改善(Bosco et al., 1999)，震動訓練的效果就是要能夠藉由引起神經反射的作用，達到運動表現的進步(Rittweger, Beller & Felsenberg, 2000)，達到神經適應上的訓練效果；藉由十秒的手持式震動訓練器的刺激達到震動刺激，最重要是 TVR 的引發使得主要肌梭纖維能夠被活化(Roll et al., 1989)。經過震動刺激所造成的熱身效果，也可以在手腕柔軟度的顯著進步表現出來(圖七與表一)，許多研究已經證實經過震動訓練確實可以增加身體的柔軟度(Issurin, Liebermann & Tenenbaum, 1994)，震動刺激達到關節活動的進步，可能是增進局部的血流，使體溫上升增進組織的彈性，以及刺激肌梭引發牽張反射，使攣抗肌放鬆，更可能是提高疼痛的忍受度，種種因素皆造成柔軟度的進步(Van Den Tillaar, 2006)。

伍、結論與建議

本研究發現震動刺激會對手腕小肌群的神經系統調控有立即性影響，並會增進腕關節的柔軟度，所以透過手持式震動訓練器所產生的震動刺激，會對上肢小肌肉有正面地立即性影響，此乃因於震動刺激震動刺激會使神經系統對上肢小肌肉中的運動單位有較明顯的激活，並達到較大的刺激作用；此外，手腕柔軟度也有明顯的進步，配合控制力與反應能力的表現，綜合顯示出震動刺激可達到熱身增進柔軟度的效果。然而本研究僅探討震動刺激後的立即性影響，對於長期震動訓練的效果仍有待更進一步的實驗證明，同時，對上肢小肌肉的震動刺激處方，如頻率、震幅、刺激時間以及訓練模式等，亦需要更多的研究進行釐清，探討出最佳的震動刺激處方。在實務應用方面，本研究結

果可做為棒球、網球、羽球、籃球和排球等選手的參考，以手持式震動訓練器做為熱身的工具和訓練儀器，以促使必須使用到手部運動的選手，能透過震動刺激達到強化手部功能之訓練效果。

致謝

本研究為行政院國家科學委員會專題研究計劃(編號 NSC 97-2410-H-028- 005 之部分成果)，特此感謝經費補助；並感謝期美科技有限公司提供手持式震動訓練器。

參考文獻

- 游志雲, 劉玉莉, 張嘉玲, 楊宜學, 陳志勇(1999): 圓柱式與跨距式握力資料庫及其工作規範參考值的建立。 *勞工安全衛生研究季刊*, 8, 1, 63-82。
- Bautmans, I., Van Hees, E., Lemper, J., & Mets, T. (2005). The feasibility of whole body vibration in institutionalised elderly persons and its influence on muscle performance, balance and mobility: a randomised controlled trial. *BioMed Central Geriatrics*, 5, 17.
- Bongiovanni, L.G., & Hagbarth, K. E. (1990). Tonic vibration reflexes elicited during fatigue from maximal voluntary contractions in man. *The Journal of Physiology*, 423, 1-14.
- Bosco, C., Cardinale, M., & Tsarpela, O. (1999). Influence of vibration on mechanical power and electromyogramactivity in human arm flexor muscles. *European Journal of Applied Physiology*, 79(4), 306-311.
- Bosco, C., Colli, R., Introini, E., Cardinale, M., Tsarpela, O., Madella, A., Tihanyi, J., & Viru, A. (1999). Adaptive responses of human skeletal muscle to vibration exposure. *Clinical Physiology*, 15, 157-164.
- Burke, D., Hagbarth K. E., Lofstedt, L., & Wallin B.G. (1976). The response of human muscle spindle endings to vibration of non-contracting muscle. *The Journal of Physiology*, 261, 673-679.
- Cardinale, M., & Bosco, C. (2003). The use of vibration as an exercise intervention. *Exercise & Sport Sciences Reviews*, 31(1), 3-7.
- De Gail, P., Lance, J., & Neilson, P. (1966). Differential effects on tonic and phasic reflex mechanisms produced by vibration of muscles in man. *Journal of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry*, 29, 1-11.
- Delecluse, C., Roelants, M., & Verschueren, S. (2003). Strength Increase after Whole-Body Vibration Compared with Resistance Training. *Medicine & Science in Sports and Exercise*, 35(6), 1033-1041.
- Falempin, M., & In-Albon, S. F. (1999). Influence of brief daily tendon vibration on rat

- soleus muscle in non-weight bear situation. *Journal of Applied Physiology*, 87, 3-9.
- Griffin, L., Garland, S., Ivanova, T., & Gossen, E. (2001). Muscle vibration sustains motor unit firing rate during submaximal isometric fatigue in human. *Journal of Applied Physiology*, 15, 929-936.
- Hagbarth, K., & Eklund G. (1985). Motor effects of vibratory stimuli. In: Muscular Afferents and Motor Control. *Proceedings of First Symposium*; (ed. Granit, R). Almqvist and Wiksell, Stockholm.
- Issurin, V. B., & Tenenbaum, G. (1999). Acute and residual effects of vibration stimulation on explosive strength in elite and amateur athletes. *Journal of Sports Sciences*, 17, 177-182.
- Issurin, V. B., Liebermann, D. G., & Tenenbaum, G. (1994). Effect of vibratory stimulation training on maximal force and flexibility. *Journal of Sports Sciences*, 12, 561-566.
- Jurell, K. (1998). Surface EMG and fatigue. *Physical Medicine and Rehabilitation Clinics of North America*, 9, 933-947.
- Martin, B., & Park, H. (1997). Analysis of the tonic vibration reflex: Influence of vibration variables on motor unit synchronization and fatigue. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 75(5), 455-461.
- Melchiorri, G., Andreoli, A., Padua, E., Sorge, R., & De Lorenzo, A. (2007). Use of vibration exercise in spinal cord injury patients who regularly practice sport. *Functional Neurology*, 22(3), 151-154.
- Mottram, C. J., Maluf, K. S., Stephenson, J. L., Anderson, M. K., & Enoka, R. M. (2006). Prolonged vibration of the biceps brachii tendon reduces time to failure when maintaining arm position with a submaximal load. *Journal of Neurophysiology*, 95, 1185-1193.
- Paradisis, G., & Zacharogiannis, E. (2007). Effect of whole-body vibration training on sprint running kinematics and explosive strength performance. *Journal of sports science and*

- medicine*, 6, 44-49.
- Rittweger, J., Beller, G., & Felsenberg, D. (2000). Acute physiological effects of exhaustive whole-body vibration exercise in man. *Clinical Physiology*, 20, 134–142.
- Roll, J. P., Vedel, J. P., & Ribot, E. (1989). Alteration of proprioceptive messages induced by tendon vibration in man: a microneurographic study. *Experimental Brain Research*, 76, 213–222.
- Stewart, D., Macaluso, A., & De Vito, G. (2003). The effect of an active warm up on surface EMG and muscle performance in healthy humans. *European Journal of Applied Physiology*, 89, 509-513.
- Torvinen, S., Kannus, P., Sievonen, H., JaÈrvinen, Tero A. H., Pasanen, M., Kontulainen, S., JaÈrvinen, Teppo L. N., JaÈrvinen, M., Oja, P., & Vuori, I., (2002a). Effect of four-month vertical whole body vibration on performance and balance. *Medicine and science in sports and exercise*, 34(9), 1523–1528.
- Torvinen, S., Kannus, P., Sievonen, H., JaÈrvinen, Tero A. H., Pasanen, M., Kontulainen, S., JaÈrvinen, Teppo L. N., JaÈrvinen, M., Oja, P., & Vuori, I., (2002b). Effect of a vibration exposure on muscular performance and body balance. Randomized cross-over study. *Clinical Physiology and Functional Imaging*, 22(2), 145-152.
- Ushiyama, J., Masani, K., Kouzaki, M., Kanehisa, H. & Fukunaga, T. (2005) Difference in aftereffects following prolonged Achilles tendon vibration on muscle activity during maximal voluntary contraction among plantar flexor synergists. *Journal of Applied Physiology*, 9, 1427–1433.
- Van Den Tillaar, R. (2006). Will whole-body vibration training help increase the range of motion of the hamstrings? *Journal of strength and conditioning research*, 20(1), 192-196.