

# 行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

## 攀岩運動上肢肌肉疲勞及重覆性危險因子分析

An analysis of muscular fatigue and repetition risk of upper extremity in  
rock climbing

計畫類別：■個別型計畫      □整合型計畫

計畫編號：NSC98-2221-E-039-006-MY2

執行期間：：98 年 8 月 1 日至100年 7 月 31 日

計畫主持人：洪維憲

共同主持人：何金山

計畫參與人員：陳登相、林國全

執行單位：中國醫藥大學 運動醫學系

中 華 民 國 100 年 10 月 26 日

# 行政院國家科學委員會專題研究計畫成果報告

## 攀岩運動上肢肌肉疲勞及重覆性危險因子分析

### An analysis of muscular fatigue and repetition risk of upper extremity in rock climbing

計畫編號：NSC98-2221-E-039-006-MY2

執行期限：98年8月1日至100年7月31日

主持人：洪維憲 中國醫藥大學 運動醫學系

共同主持人：何金山 國立臺灣體育大學 運動科學研究所

計畫參與人員：陳登相、林國全

#### 中文摘要

本研究目的在針對攀岩上肢肌肉骨骼運動傷害評估，透過現場資料收集的方式，建立國內在運動方面上肢肌肉骨骼危害的量化數據。本實驗計畫延攬15名受測者，8位專業者及7位初學者；使用可攜式資料記錄器擷取受測者攀岩時雙手之、肱二頭肌、肱三頭肌、腕屈肌、及伸腕肌的肌電圖(EMG)活化情形。將EMG以強度-機率分佈函數(APDF)方式整理呈現。即可獲得第10, 50及90百分位之肌肉負荷大小，分別用來代表作業中肌肉低、中以及高負荷的EMG大小。研究說明受測者慣用手(右手)在90%ile的肱二頭及伸腕肌明顯大於左手的施力，而經驗及技巧使專業者於50%及90%ile的肱二頭及屈腕肌能以較小的施力完成攀岩。初學者由於過大的負荷及攀爬時間延長，造成他們攀岩後就疲勞無法再作第二次攀爬，因此，對初學者攀爬技術及手臂肌力及肌耐力的加強是非常重

要，而現場攀岩的資料可提供教練而攀岩者訓練的依據。

**關鍵詞：**攀岩、肌電圖、強度-機率分佈函數、肌肉疲勞

#### Abstract

The purpose of this study was to investigate the musculoskeletal disorders of upper extremity in rock climbing. The data were collected through the field test. Fifteen subjects were recruited, 8 professionals of rock climbing and 7 beginners. The study onsite measured bilateral wrist and elbow electromyography (EMG) of subjects using a portable data logger. The physiological RMS EMG amplitudes were analyzed with the amplitude-probability distribution function (APDF). The 10th, 50th, and 90th percentiles of APDF of RMS EMG were used to describe low (static load, 10%ile), median (median load, 50%ile), and high (peak load, 90%ile) degrees of muscular exertions, respectively. The study

shows that subject's dominant hand (right hand) in the 90% ile of the biceps and wrist extensor muscle load were significantly larger than the left. The experience and skills to professionals in the 50% and 90% ile of the biceps and wrist flexors can be applied to smaller ability to complete rock climbing. Beginners due to excessive load and prolonged climbing time, resulted in causing them to fatigue after climbing for a second time can not climb, so for beginners, climbing techniques and arm muscle strength and endurance enhancement is very important. The field information of rock climbing can provide rock-climbing coach in the basis of training players.

**Keywords:** Rock climbing, electromyography, amplitude-probability distribution function, muscle fatigue

## 1. 前言

攀爬活動(climbing activity)是69.2%的美國人口參與戶外休閒所著重的部份，其中以攀岩活動(rock climbing) 最具挑戰性及危險性。美國戶外休閒聯盟(Outdoor Recreation Coalition of America, ORCA)報告顯示有4.1%的美國人，約8千8百萬人參與在各種型式的攀爬活動，其中參與攀岩活動者有740 萬人，且近年來穩定成長人數超過過去30 年人數(Attarian & Pyke, 2000; Cordell et al, 1997)。而台灣目前攀岩人口多以各大專院校之學生居多，而隨著各種運動中心的成立及人工岩壁的增加，攀岩運動人口近年來也隨之增加。然而隨著攀岩運動的日益風行，運動傷害的案例亦大幅增加。由於攀岩

是項強調手部力量的運動，因此手指、手腕、手肘及肩部的傷害幾乎佔了絕大多數。近期研究針對201 位攀岩者的調查發現，大約有50%的攀岩者在過去12 月內有大於1 次的受傷記錄，其中10%因急性攀岩受傷而造成墜落，33%的人有慢性過度使用(overuse) 的傷害，28%則曾因費力攀爬動作引發急性傷害(Jones et al., 2008);而過度使用造成的傷害主要在手指及肩部(Rohrbough et al., 2000; Jones et al., 2008)。攀岩者對於這些運動傷害的類型及預防往往一知半解，甚而忽略其嚴重性或延誤就診時機，最終被迫結束攀岩生涯。然而如果有正確預防措施，有80%的運動傷害是可避免的(Hergenroeder, 1998)，因此，如何在攀岩者發生運動傷害前，就能即早診斷出累積性傷害的危險因子並加以預防，是目前運動傷害研究中重要的課題。

運動傷害中最主要是肌肉骨骼的傷害，其原因主要是不當的姿勢、過度的用力、與高重複性的動作等因素所造成累積性傷害的主要原因(Vern, 1994)。不當的姿勢會在生物力學上造成工作者上肢關節及其周圍軟組織極大的壓力，研究指出姿勢是造成累積性傷害(cumulative trauma disorders, CTD)的一項重要因素(Armstrong, 1985);不當的姿勢一般所指的是對肢體位置的固定或限制，以及下列不佳的狀況:(1) 肌肉與肌腱的過載，(2) 關節非對稱的受力方式，以及(3) 肌肉持續性的靜態施力(Armstrong and Chaffin, 1979; Hagberg 1984; Bjelle et al., 1979)。當肌肉的用力因運動時需要增大時，肌肉組織的血液循

環便會降低，因而加速肌肉的疲勞(Silverstein et al., 1986; Armstrong et al., 1982)，若未能獲得足夠的休息恢復時間，便會造成軟組織的傷害，此外，對於高重複性的運動而言，背後存在著高速與高頻率的肌肉收縮，然而，高速度下的肌肉收縮會造成肌力的降低，因此，高速的重複性運動會對運動肌群造成極大的機械性壓力，此種壓力會對骨骼、肌肉以及皮膚造成直接的傷害，而對肌腱及神經所造成之傷害，則往往不容易明顯地被反應(Dobyns et al., 1972)。然而，直到目前為止，為防止肌肉骨骼傷害所提出的準則中，仍鮮見有合併運動負荷、重覆性頻率、與暴露時間等因子加以規範。

間歇性等長收縮可見在攀岩這種特定運動中(Spurway, 1999)，等長運動的後果是重複收縮產生的肌肉疲勞，Asmussen(1982)描述這種收縮型的特性將引發肌肉內壓力明顯增加，這改變將引起血液去擠壓肌內血管及阻礙或完全阻斷血流到肌肉，使氧氣及養分供應發生障礙，細胞進行無氧代謝時易造成乳酸堆積。血流在收縮結束可回流，增加肌肉內壓及由此依靠收縮強度決定是否閉塞，當收縮在10-25% MVC以下收到足夠的血流就可維持而不會肌肉疲勞，而在45-75%MVC以上，血流將完全閉塞前臂，及疲勞模式將在阻塞的地方形成(Barnes, 1980; Heyward, 1980)。MacLeod 等人(2007) 使用一特定攀爬計畫(即使用crimp方式10/3秒的收縮/放鬆率)來量測攀岩者的指耐力，以40%MVC強度持續到無法握時的時間是和世界杯攀岩者所

有攀爬時間相似(Schadle-Schardt, 1998)。因此，研究建議40%MVC可能是攀岩時指屈肌所需平均MVC百分比的代表。

攀岩運動是非週期性運動，攀岩運動員在速度攀岩的每趟或同一趟的不同時段，他的表面肌電訊號都有較大的變化，是顯著的非穩定訊號。所以，運用表面肌電訊號分析攀岩運動員的肌肉疲勞問題存在著一定的困難。為了能夠現場實地進行作業量測，本研究團隊於九十二年完成開發已完成14 類比通道1000Hz 取樣頻率之可攜式資料記錄器(data logger) (Liu et al., 2006)及互動式分析軟體(陳協慶等, 2005)，並將研究所完成之軟硬體應用於現場作業進行量測評估。並透過自行開發之互動式分析軟體將其作業負荷加以量化評估。透過先前研究的基礎上，本研究將應用此記錄器進行攀岩現場的實際量測評估。儘管以記錄器進行現場資料收集比起實驗室以模擬的方式進行研究有較高的困難度，但卻也因所得到之資料更貼近實際之作業狀況，對於作業之評估有較高之參考價值。

因此，本研究目的在應用可攜式資料記錄器(data logger)長時間資料收集的方式，逐步建立攀岩運動方面上肢肌肉骨骼危害的量化數據，並藉由重覆性危害因子分析，找出較佳重覆性指標，提供未來對於此類運動負荷及肌肉骨骼危害的風險量化評估。

## 2.方法

### 2.1 受測者

本實驗計畫延攬15 名受測者，8位山岳

協會攀岩委員會會員(為專業者, 攀岩經驗3年以上)、7位為無經驗之初學者, 基本資料如表1。每位受試者實驗前均須閱讀受試者須知, 由研究者告之實驗流程及注意事項, 最後簽者受試同意書。

表1. 受測者基本資料

	專業者	初學者
年齡	26.8±3.2	22.6±2.4
身高	166.8±7.2	170.2±6.8
體重	60.6±5.4	67.6±8.8
攀岩經驗	6.8±3.5	無

## 2.2 量測設備

可攜式記錄器搭配肢體角度感測元件(Electrogoniometer, BioMetrics Ltd., UK)及肌電訊號(EMG)感測元件(SX230, BioMetrics Ltd., UK)(圖3)。記錄器的訊號擷取模組為一具備12個電子角度計與EMG的共用通道, 14種Gain的選擇, 每個通道16-bit解析度, 所有通道全部使用時取樣頻率為每通道1K次/秒; 單獨使用時20K次/秒; 內建資料儲存模組為搭配大容量CF記憶卡儲存模組(8Gb), 具備大容量CF記憶卡存取能力。CF卡主要考慮方便儲存硬體之資料擷取, 另一方面可防止電源供給不足時造成資料流失使用7.2V 2000mAh充電式鋰電池, 可連續5小時以上持續運作能力。

## 2.3 實驗步驟

現場之資料收集必須依所選定之對象, 於其平常的攀岩練習場地以記錄器實地收集練習過程。進行現場量測之前, 同樣給於個

別問卷於前置準備時間內進行, 包括蒐集選手之(1)個人基本資料, (2)運動經驗/年資, (3)個人病史, 及(3)主觀肌肉骨骼不適症狀。

讓受測實地在攀岩場於不同天各完成一連串攀爬動作, 為了安全起見, 除了安排教練在場, 同時受測者需配備繩索及懸吊設施, 並隨時有運動傷害防護員在側, 以隨時作防護準備。實驗過程使用可攜式資料記錄器(data logger)(圖1A)[5]擷取受測者雙手腕屈肌(wrist flexors)、腕伸肌(wrist extensors), 肱二頭(biceps)及肱三頭肌(triceps)之肌電訊號(EMG)。肌電訊號則採用具350倍前置放大之表面肌電訊號感測元件(SX230, BioMetrics Ltd., UK)。此外, 須有一接地訊號線接至肢體接近骨頭突出部位, 方可降低外在雜訊之干擾。感測元件黏貼安置完畢之後, 需於進行資料擷取前先對肌電訊號進行現場簡易校正(陳協慶等, 2005); 資料擷取同時並以數位攝影機進行數位攝影, 記錄動作姿勢、動作頻率等以作為往後資料分析參考比對之用(圖1)。

## 2.4 資料處理與分析

資料擷取之前先對各角度及肌電訊號進行簡易校正(Armstrong and Chaffin, 1979), 作為單位轉換與%MVC計算之依據; 為量化作為單

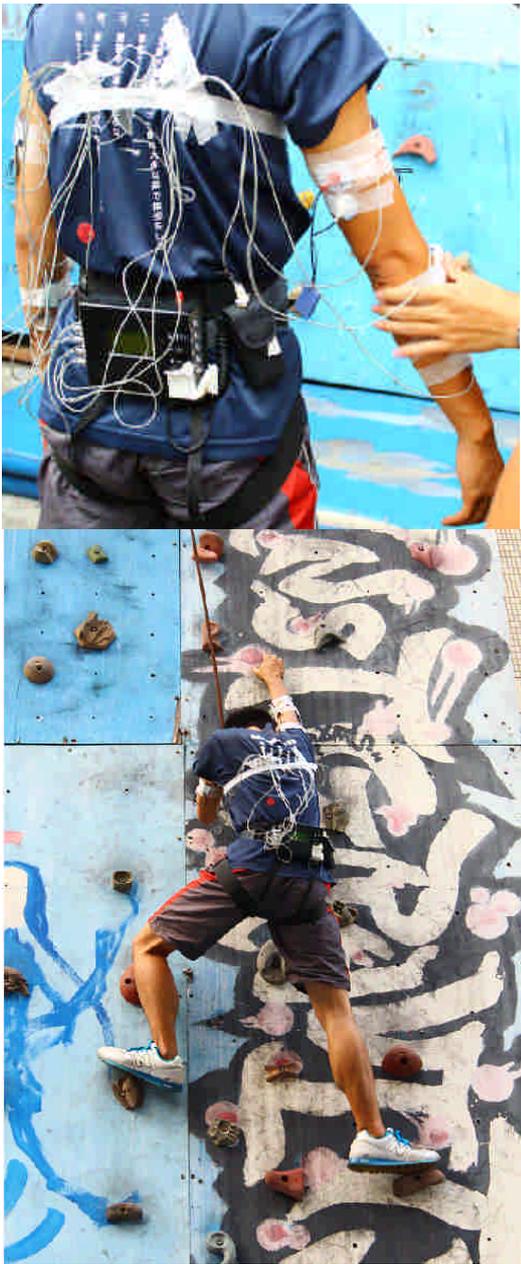


圖1. (A)資料記錄器及EMG貼附位置(B)實地攀岩現場

位轉換與%MVC 計算之依據；為量化作業中肌肉活動程度(EMG)及肢體角度資料，資料分析前先行對所擷取之各訊號進行位準校正、單位轉換、低通濾波(5Hz)等訊號處理；對EMG 之處理而言，則進行位準校正、%MVC 正規化等處理過程。

攀岩運動是非週期性運動，攀岩運動員在速度攀岩的每趟或同一趟的不同時段，他的表面肌電訊號都有較大的變化，是顯著的

非穩定訊號。本研究記錄器以1000Hz 取樣頻率擷取訊號，連續記錄之資料相當龐大，且本項運動中所收集之資料不具明顯週期性，因此將EMG 強度以強度-機率分佈函數(amplitude-probability distribution function, APDF)方式整理呈現。資料分析中透過Viewlog 分析軟體批次處理功能(Hagberg, 1984)，以200ms 為固定時間間隔進行資料切割，並逐次計算該200 筆資料之平均值(EMG 求算其均方根值)，獲得相當於5Hz取樣頻率之時間序列，經平均強度計算所獲得之時間序列資料，再由程式以統計方法處理後即可獲得APDF。後續再以累加計算累加機率分佈後，即可獲得肌肉負荷之第10，50 及90 百分位數，而這三個百分位所在之EMG 強度則分別被用來代表肌肉低負荷(Static load, 10%ile)、中等負荷(Median load, 50%ile)以及峰值負荷(Peak load, 90%ile)的情形。

施力大小指標：

以0.2sec 之時間間隔，批次分析手腕部伸展及屈曲肌群之EMG 均方根值(RMS)，EMG 強度大小(%MVC)採用同一肌群最大自主性施力下之EMG 進行正規化。所獲得之EMG 大小以強度-機率分佈(Amplitude-probability distribution function, APDF)呈現(圖2)，並以各分佈之第90 百分位數作為極端施力大小。

## 2.5 統計方法

重複性變異數分析(repeated measure ANOVA)用於二變數(左右手及兩組)

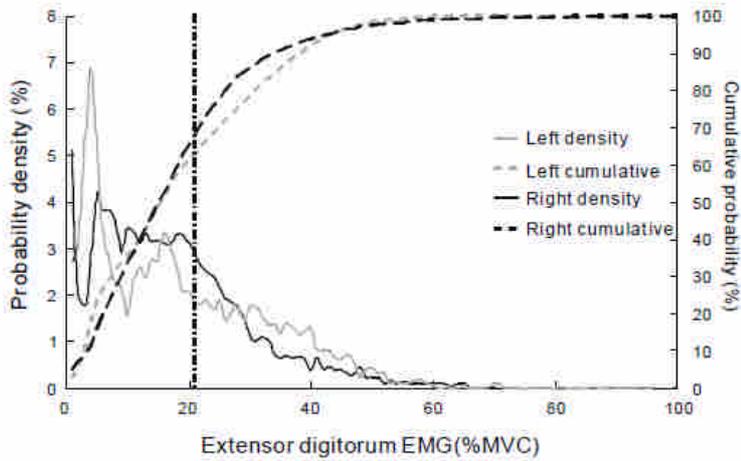


圖2.手腕部EMG 強度-機率分佈圖範例(Liu et al., 2006)

### 3.結果

結果顯示在整個攀岩過程中專業者平均花費時間  $1.3 \pm 0.6$  秒而初學者平均  $2.8 \pm 0.7$  秒，初學者超過專業者 2 倍的攀岩時間。

結果顯示在 90%ile，時肱二頭及伸腕肌在左右手間有明顯差異( $p < 0.05$ )。而二組間比較，專業者在 50%及 90%ile 時肱二頭肌及屈腕肌，及 90%ile 的伸腕肌的肌肉負荷明顯比初學者小( $p < 0.01$ ) (表 2)。而過程中，初學者的肌肉最大負荷皆大於專業者( $p < 0.05$ )，對初學者來說，四條肌肉最大肌力皆可超過 100%MVC,相對地，專業者除了屈腕肌超過 100%MVC 外，其它皆小於 100%MVC (表 3)。

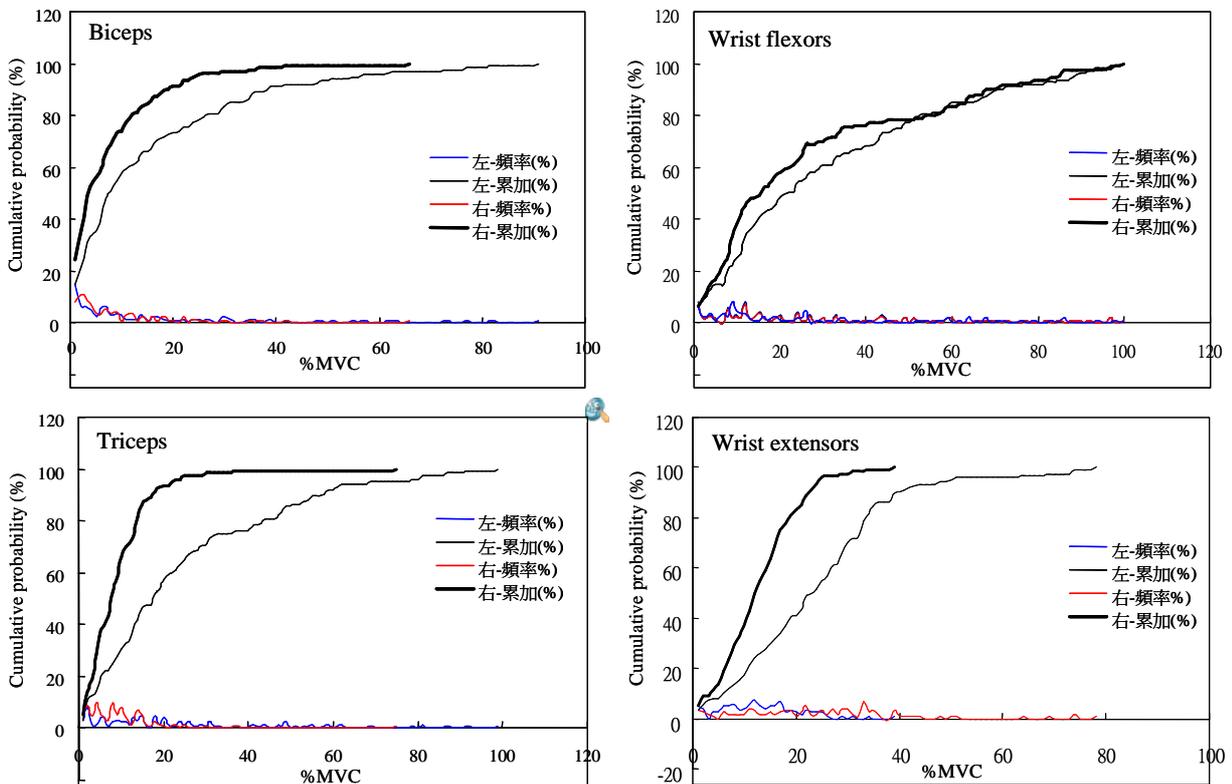


圖3. 一位專業者在上臂肌肉肌電訊號的APDF

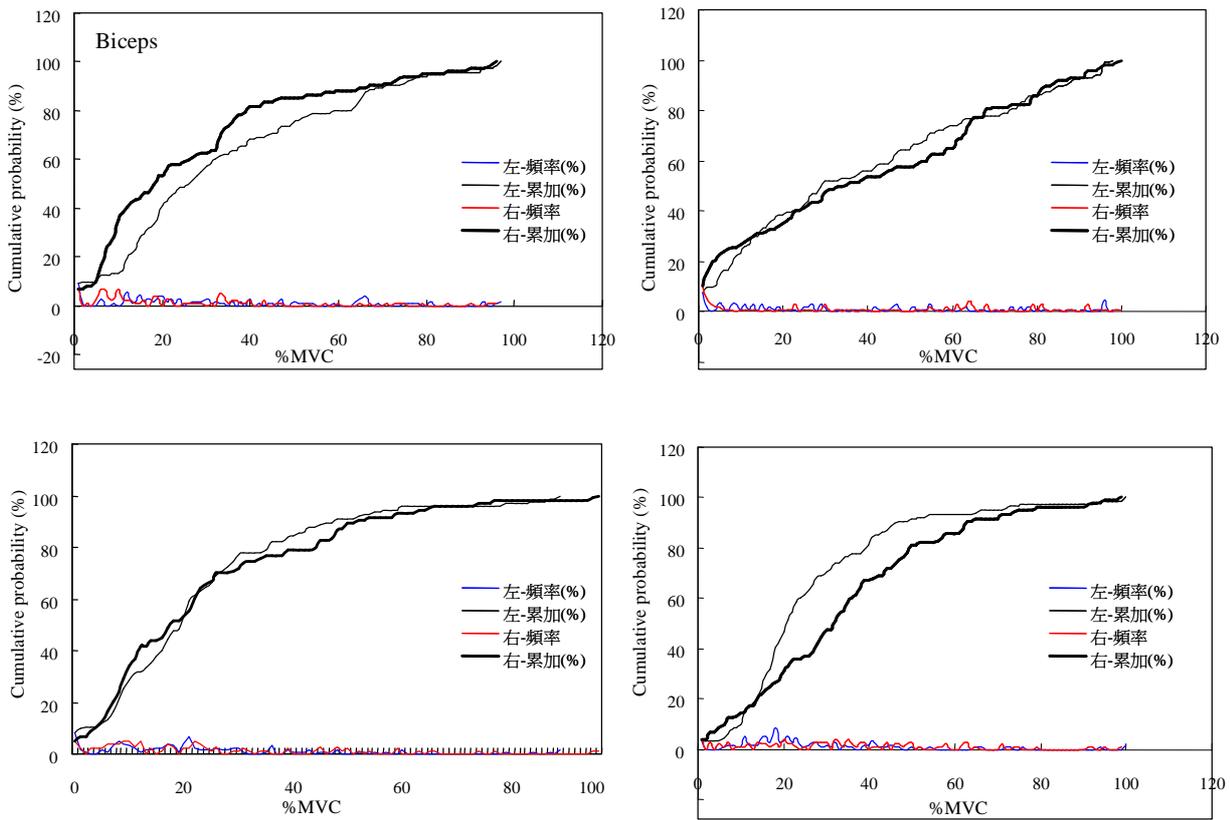


圖4. 一位初學者在上臂肌肉肌電訊號的APDF

表2. 全程攀岩過程手臂肌肉EMG 之第10、50、90 百分位數 (單位：%MVC)

		專業者			初學者			P 值
		10%	50%	90%	10%	50%	90%	
Biceps	Left	0.4±0.2	<b>2.2±0.4</b>	<b>12.6±0.6</b>	0.9±0.3	<b>11.0±0.5</b>	<b>47.8±6.6</b>	P1
	right	0.4±0.2	<b>1.8±0.4</b>	<b>19.5±0.7</b>	0.9±0.2	<b>8.8±0.4</b>	<b>58.5±7.5</b>	P2
Triceps	Left	1.4±0.3	6.5±0.5	27.5±3.5	1.0±0.3	8.4±0.5	30.8±4.5	
	right	0.8±0.2	3.8 ±0.4	25.0±2.1	0.9±0.3	7.0 ±0.4	30.8±3.1	
Wrist	Left	1.2±0.4	<b>8.8±0.5</b>	<b>49.0±5.6</b>	0.5±0.4	<b>15.2±0.8</b>	<b>69.0±5.5</b>	P1
Flexors	right	1.2±0.3	<b>6.6±0.5</b>	<b>46.5±7.0</b>	0.6±0.3	<b>18.2±1.2</b>	<b>66.8±6.8</b>	
Wrist	Left	0.9±0.3	5.7±0.5	13.2±1.8	0.6±0.3	8.40±0.8	26.8±5.5	P2
Extensors	right	1.5±0.4	9.9±0.7	22.2±2.6	0.6±0.3	11.5±1.0	39.0±6.1	

P1, comparison between two groups; P2, comparison between left and right side

表3.過程中出現最大的負荷值

		專業組	初學者	P值
Biceps	Left	78.6±20.2	134.6±28.2	0.001**
	right	82.3±21.5	148.5±24.5	
Triceps	Left	84.5±18.6	122.5±21.6	0.001**
	right	80.2±18.6	142.5±23.5	
Wrist Flexors	Left	133.5±26.4	153.4±26.5	0.001**
	right	128.6±28.6	148.5±27.6	
Wrist Extensors	Left	34.5±13.5	88.9±17.5	0.001**
	right	40.8±15.2	106.8±18.2	

\*: p<0.01

#### 4.討論

右手在 90%ile 時肱二頭肌及伸腕肌有不對稱的施力表現，且右手大於左手，可能原因是右手對受測者來說皆為其慣用手，在攀岩過程中強調三點支撐的原則下，在位置的轉換時，以慣用手作為主要二點支撐，接著以左手或左腳尋找第三點，因此大部份的力除了雙腳，手部還是依賴慣用手的支撐，這可能是造成右手大於左手施力的原因。

初學者累積負荷於 50%ile 及 90%ile 使用肱二頭肌及屈腕肌負荷明顯大於專業者，約 1.5-4.8 倍的差異。這可能是專業者的技巧使手在高負荷(90%ile)下大部份都能控制在 40%MVC 以下，且在迅速轉換過程中，可能用雙腳的負荷來代償手抓握的力量；且大部份的時間皆以手臂伸直的姿勢作變換。從第一年研究發現，手臂姿勢的不同的確造成肌肉不同負荷，特別在手臂伸直時明顯降低肱二頭及屈腕肌的負荷；而且專業人員大多重心擺在兩腳來減少手撐的負荷，這些動作讓

專業攀岩者在手臂負荷小的情況下很快完成攀爬，現場觀察也發現專業者於完成第一次攀爬後，仍可以輕鬆動作完成第二次攀爬，而初學者往往第一輪的攀岩，已達到疲勞的程度無法多作一次的攀岩。

初學者一直以手肘彎曲的姿勢的抓握動作，如此將力量放在手上及不順利的轉換過程，且花太多時間在作靜態支撐，造成過程中更多的力量來支撐(最高有時可達 150%MVC)，這是為什麼他們在完成一次攀岩後已疲勞無法再第二次攀爬，有二個固定點支撐太久力竭而墜落。這些高負荷主要表現在做 flexion 動作時的肌肉(如肱二頭及屈腕肌)，這二塊肌肉是初學者最大施力的肌肉，特別在 50% 及 90%ile 時。而專業者在攀岩過程中除了屈腕肌有時達到 120-140%MVC，其它肌肉則最大負荷都可控制在 100%MVC 以下，而初學者每塊肌肉有時會超過 150%MVC，特別在肱二頭肌、肱三頭肌、及屈腕肌，出現如此大的負荷是加速初學者於

攀岩過程中肌肉疲勞的原因。一個重要觀點：攀爬者疲勞可能不是因為手握力的喪失，而是當重力拉手進入岩內來維持特定手及指型態能力的喪失而墜落，這在攀岩者跳脫特定動作而進一步攀上岩石而成受的等長收縮時特別明顯。因此，如果要維持一特定手型態的壓握的阻抗能力，這時等長肌耐力的發展就特別重要(Watts, 2004)。因此，除了肌力，攀岩的技巧也是很重要的關鍵。

## 5. 結論

本研究說明受測者慣用手(右手)在90%ile 的肱二頭及伸腕肌明顯大於左手的施力，而經驗及技巧使專業者於50%及90%ile 的肱二頭及屈腕肌能以較小的施力完成攀岩。初學者由於過大的負荷及攀爬時間延長，造成他們攀岩後就疲勞無法再作第二次攀爬，因此，對初學者攀爬技術及手臂肌力及肌耐力的加強是非常重要的，而現場攀岩的資料可提供教練而攀岩者訓練的依據。

本研究所完成之工作項目包括；

1. 量化之攀爬運動多危害因子暴露量，可提供未來在研究上可進行運動傷害之分析比較，可提供量化的參考數據。
2. 可利用不同運動間之負荷比較，能對多因子危害的運動提供有價值之探討，若進一步配合流行病學調查結果，可對多因子危害運動建立較準確之危害預測模式。

## 二、參考文獻

1. 陳協慶、盛啟峰、陳志勇(2005)：作業場

所上肢重複性傷害現場監測技術。勞工安全衛生研究所季刊，13(1)，58-69 頁。

2. Asmussen E, Jørgensen KD. Fatigue strength of some resinous materials. *Scand J Dent Res* 1982;90:76-9.
3. Armstrong TJ. Upper extremity posture: Definition, measurement and control. *Proceedings of the international Occupational Ergonomics Symposium*. Zadar, Yugoslavia, 1985.
4. Armstrong TJ, Foulke JA, Joseph BS, Goldstein SA. Investigation of cumulative trauma disorders in a poultry processing plant. *Am Ind Hyg Assoc J* 1982; 43(2):103-116.
5. Armstrong TJ, Chaffin DB. Carpal tunnel syndrome and selected personal attributes. *J Occup Med* 1979;21(7):481-486.
6. Attarian, A. & Pyke, K. (2000). *Climbing and National Resource Management: An Annotated Bibliography*. North Carolina State University & The Access Fund, <http://www.accessfund.org/pdf/annotbib.pdf>.
7. Barnes WS. The relationship between maximum isometric strength and intramuscular circulatory occlusion. *Ergonomics* 1980;23:351-357.
8. Bjelle A, Hagberg M, Michaelsson G. Clinical and ergonomic factors in prolonged shoulder pain among industrial workers. *Scand J Work Environ and Health*, 1979;5:205-210.
9. Cordell, H. K., Teasley, J. & Super, G. (1997). *Outdoor Recreation in the United States: Results from the National Survey on*

- Recreation and the Environment. Athens, GA: USDA, Forest Service. <http://www.srs.fs.fed.us/trends/fsoutrec.html>.
10. Dobyns JH, O'Brien ET, Linscheid RL. Bowler's thumb: diagnosis and treatment. *J. Bone Joint Surg* 1972;54(A):751-755.
  11. Hagberg M. Occupational musculoskeletal stress and disorders of the neck and shoulder: a review of possible pathophysiology. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 1984;53:269-278.
  12. Heyward V. (1980). Relative endurance of high and low strength women. *Research Quarterly*, 51, 486-93.
  13. Hagberg M. Occupational musculoskeletal stress and disorders of the neck and shoulder: a review of possible pathophysiology. *Int. Arch. Occup. Environ. Health*, 1984; 53: 269-278.
  14. Hergenroeder AC. Prevention of sports injuries. *Pediatrics* 1998;101:1057-63.
  15. Jones G, Asghar A, Llewellyn DJ. The epidemiology of rock-climbing injuries. *Br J Sports Med* 2008;42:773-8.
  16. Liu YP, Chen HC, Chen CY. Portable data logger for worksite measurement of physical workload. *J Medical and Biological Engineering* 2006;26(1):21-28.
  17. MacLeod D, Sutherland DL, Buntin L, Whitaker A, Aitchison T, Watt I, Bradley J, Grant S. Physiological determinants of climbing-specific finger endurance and sport rock climbing performance. *J Sports Sci* 2007;25(12):1433-43.
  18. Rohrbough JT, Mudge MK, Schilling RC. Overuse injuries in the elite rock climber. *Med Sci Sports Exerc* 2000;32:1369-72.
  19. Schadle-Schardt W. Die zeitliche gestaltung von belastung und entlastung im wettkampfklettern als element der trainings-steuerung. *Leistungssport*, 1998; 23-28.
  20. Vern Putz-Anderson. Cumulative trauma disorders: a manual for musculoskeletal diseases of the upper limbs. Taylor & Francis, 1994.
  21. Watts PB. Physiology of difficult rock climbing. *Eur J Appl Physiol* 2004;91:361-72.