

國家科學委員會專題研究計畫期中進度報告

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

協同主持人：許弘昌 中國醫藥大學 附屬醫院骨科部

中文摘要

攀岩運動造成上肢因運動而罹患肌肉骨骼傷害的情形，普遍地存在於運動員中。因此，如何在選手發生運動傷害前，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。本研究計畫以攀岩運動為的上肢肌肉疲勞及重覆性危險因子的分析，計畫分二年進行：第一年：針對不同攀岩手型態(hand configurations)的握法(handgrip)及不同手肘姿勢時手部負荷及靜態疲勞效應分析。

本實驗計畫延攬10名攀岩者平均年齡 22.6 ± 3.6 歲，使用三維動作分析系統與10台攝影機擷取上肢反光球訊號；四個負荷元(load cell, 300kg)使用在攀岩塊的握壓點上，用以量測手指及腳負荷量測。無線表面肌電圖系統(BTS FREEEMG)量測受測者在靜態攀爬動作時的肱二頭肌(biceps

關鍵詞：攀岩，肌肉疲勞，肌電圖

Abstract

Musculoskeletal disorders of the upper extremity due to sports activities occur in rock climbing. Therefore, how to diagnose the risk factors of cumulative trauma disorder (CTD) and early preventive prior to sports injuries, it is an important issue to research in sports injury protection. The purpose of this study was to analyze the muscular fatigue effects and repetition risk of upper extremity in rock climbing and divided two years in the research: First year: to investigate the static muscular fatigue in different hand configuration and different elbow angles for rock climbers.

Ten rock climbers were recruited for this study, average age of the subjects was 22.6 ± 3.6 years. A motion analysis system (Vicon 612), four load cells (300kg), and an EMG system (BTS FREEEMG) were integrated to collect force and EMG data simultaneously. The EMG system was used to

一、背景及目的

攀爬活動(climbing activity)是69.2%的美國人口

brachii)及肱三頭肌(triceps brachii)，及腕屈肌(flexor carpi)及腕伸肌(extensor carpi) EMG的收集。每個受測者必需在二種不同手肘角度(垂直及0度)下左右手的負荷，以及在手肘垂直姿勢下用open hand及crimp的握法作等長耐力支持到疲勞落下的時間及中位頻率(MF)變化。

結果顯示右左手在攀岩負荷不平均，慣用手大於非慣用手($P<0.05$)，而手肘垂直時手部負荷大於手肘0度時。而由EMG發現手肘垂直時在屈腕肌、肱二頭及肱三頭肌明顯大於手肘0度時的肌電負荷($P<0.05$)。以open hand握法支撐的時間及MF明顯下降時間皆小於以crimp握法。要維持較長支撐時間等長肌耐力的發展特別重要。而由屈腕肌及伸腕肌在MF的變化趨勢基本一致，說明攀岩中屈腕肌與伸腕肌是同步用力，因此在訓練過程中應並重屈腕及伸腕肌力量的訓練。

measure muscles activities of wrist flexor, wrist extensor, brachium biceps and triceps. Forces and EMG data were collected in elbow 90° and 0° . Duration and MF were collected for isometric fatigue test in open-hand and crimp conditions.

Results showed domain hand has larger loading than non-domain hand. There were larger loading of force and EMG (wrist flexor, brachium biceps and triceps) at elbow 90° as compared to elbow 0° . The support duration and the time when MF appear distinct fall is lower in open-hand than in crimp condition. The development of isometric muscle endurance is important to long-term support in rock climbing. Wrist flexor and extensor always energize at the same time, so it will attach equal importance to the strength training of both muscles.

Keywords: rock climbing, muscle fatigue, electromyography

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。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(Attarian

& Pyke, 2000)。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，以及長時間暴露於上述人因工程危害中是造成累積性傷害的主要原因(Vern, 1994)。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)。而攀岩運動是屬於開放式技術的運動，即運動員需沿著地形地物而改變其動作以突破障礙，其基本動作包括移動用力、離開岩面、三點不動一點動(Long, 1993; Benge and Raleigh, 1995)。攀岩運動的移動，儘量以腳攀登，少用手指力，如果大量運用手的力量，在乳酸堆積之下提早疲憊雙手，則面對關鍵時刻，手的力量就無法釋出，順利完成攀岩運動。因此，對高傷害風險之運動負荷加以量化，將有助於提供具體之比較基礎，並可協助重複累積性傷害防治工作的進行。

本研究計畫以攀岩運動為的上肢肌肉疲勞及重覆性危險因子的分析，計畫分二年進行：

第一年：針對不同攀岩手型態(hand configurations)的握法(handgrip)及不同手肘姿勢時手部負荷及靜態疲勞效應分析。

二、研究方法

2.1 受測者

本實驗計畫延攬10名攀岩者平均年齡 22.6 ± 3.6 歲，身高 176.58 ± 7.2 公分，體重 75.2 ± 6.0 公斤。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。

2.2 量測設備

使用的儀器包括一部三維動作分析系統(Vicon 612, Oxford Metrics Limited, Oxford)與10台攝影機擷取上肢反光球訊號；四個負荷元(load cell, 300kg)使用在攀岩塊的握壓點上，用以量測手指及腳負荷量測，並與肌電訊號及反光球資料同步收集。無線表面肌電圖系統(BTS FREEMG)量測

受測者在靜態攀爬動作時的肱二頭肌(biceps brachii)及肱三頭肌(triceps brachii)，及腕屈肌(flexor carpi)及腕伸肌(extensor carpi) EMG的收集。

裝設一個鋼架，整個架面可作上下調整，將攀岩塊固定在鋼架上，地板上面放置彈性墊避免掉落時的安全性(圖1)。

2.3 實驗步驟

實驗開始前，平均每位受測者前置準備及校正時間約20分鐘，結束後拆除時間約5分鐘，個別問卷則於前置準備時間內進行，研究中以訪談方式蒐集選手之(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。

實驗開始，受測者參照圖2的攀岩姿勢：雙腳打開與肩同寬，上臂外展與肩平行，手肘則往前成垂直(90度)彎曲的姿勢；另一種姿勢是將手肘伸直(0度)，受測者重心往後。最後持續靜態壓握動作至疲勞跌落為止，而為了安全起見，實驗過程中會有懸吊系統及後方放置彈性墊，以確保受測者的安全。休息10分鐘後作疲勞的測試，手肘則往前成垂直(90度)彎曲的姿勢作靜態攀岩的等長收縮直到無法支持為止，持續記錄肌電圖的變化；休息四小時後再作另一個疲勞動作測試，這二種動作主要在手指抓握型態不同隨機分派在前後動作順序上，二種握法分別是：

Crimp：利用手指尖端和岩面接觸並用力。通常是非常小的把手點。

Open hand：利用手部最大的面積和岩面接觸產生摩擦力，進而抓住岩點。



圖1、左為反光球及肌電圖的位置；右為攀岩塊所設置的攀岩架。

2.4 資料分析

實驗所量測而得的原始肌電訊號，分析方式包括時域(time domain)及頻域(frequency domain)分析。

(1) 中位頻率(median frequency)來分析疲勞過程：利用viewlog軟體將訊號過濾並獲得較平滑之訊號。為了計算肌電訊號頻譜分析(Spectrum Analysis)之中位頻率(Median Frequency, MF)，以作為局部疲勞分析的依據，首先將模擬作業期間

所收集之EMG，根據總作業時間平均切割成4個時段，計算每個時段對應的MF，察看是否有下降的趨勢，已確定疲勞現象是否產生。MF的計算，首先透過快速傅利葉轉換（Fast Fourier Transform, FFT），其設定值包括：FFT size 為1024，Data Windows 設定為Haming，方法為50% Overlap，將原為時域資料之EMG，轉換為頻率域之頻譜圖（Spectrum），根據所求得之頻譜圖轉換為對應之文字檔，再透過軟體進行統計處理，求得到MF。(2)均方根值(root mean square)分析疲勞過程由受測者所量測之最大自主性收縮之百分比(%MVC)，用以計算肌電訊號之最小及最大的均方根，以正規化肌電訊號；訊號校正後，將實收集之訊號經軟體之pipeline 進入互動式分析模組，繼而撰寫計算RMS之程式，將資料以每1000筆取一筆之方式進行指次處理。當肌肉疲勞時，均方根值會呈現顯著上升的情形。

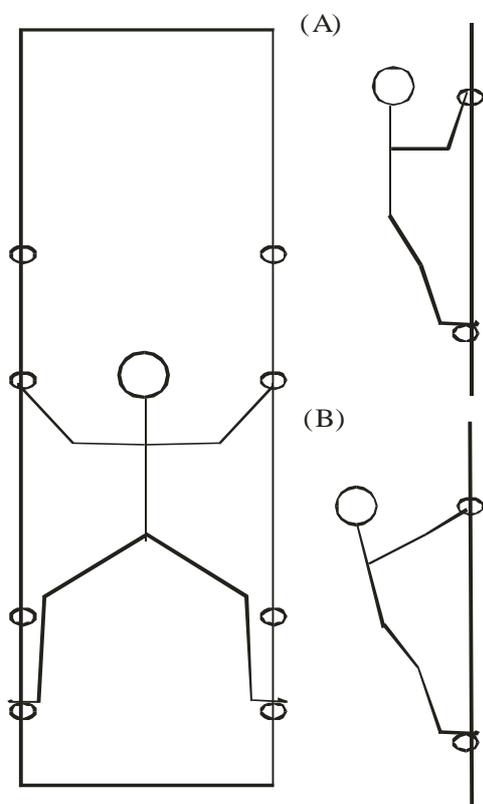


圖2、攀岩姿勢主要分為手肘垂直(A)及手肘0度(B)

2.5 統計分析

利用SPSS 統計軟體以重複量測變異數分析(repeated measures ANOVA)檢定左右手及不同手肘角度(垂直及0度)攀岩姿勢各參數的比較、統計檢定採用 $P < 0.05$ 作為顯著水準。

三、結果與討論

結果顯示右左手在攀岩負荷不平均，特別在手肘垂直時的姿勢，右手和右腳(慣用側)比左手和左腳的負荷來得大($P < 0.05$)；而不同姿勢下，手肘垂直時手部負荷大於手肘0度時，然而腳的負荷則手肘0度時大於手肘垂直時常 $P < 0.05$ (表1)。而由

EMG發現手肘垂直時在屈腕肌、肱二頭及肱三頭肌明顯大於手肘0度時的肌電負荷($P < 0.05$)(圖3)。

表1. 不同姿勢手腳的負荷 (kg)

	手肘垂直	手肘0度	
右手負荷	61.6±6.5*	51.3±5.8	$P < 0.05^*$
左手負荷	50.4±6.0	50.3±6.0	
右腳負荷	120.2±7.5*	122.7±6.8	
左腳負荷	96.6±8.8	118.8±8.2	$P < 0.05^*$

不對稱的施力會在生物力學上造成運動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)；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(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。

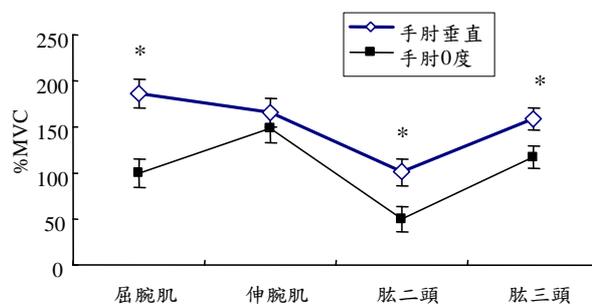


圖3、在不同姿勢下右手肌電圖的比較。

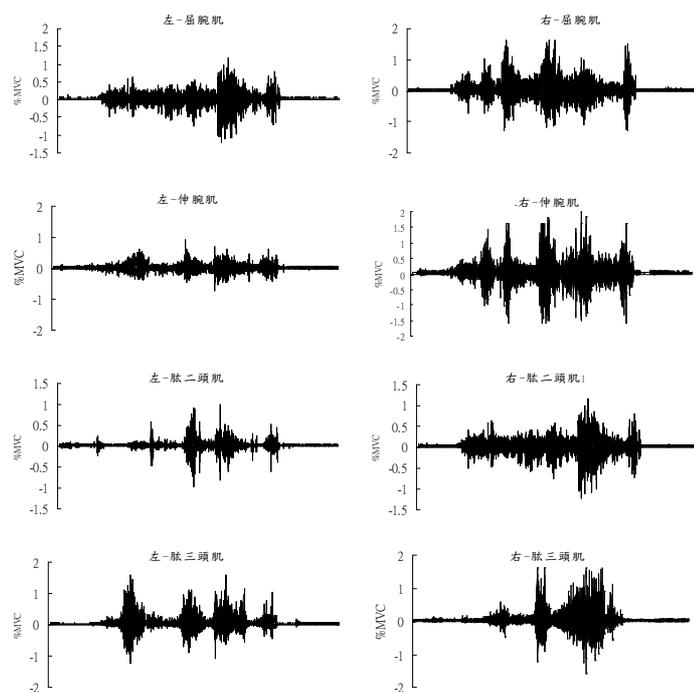


圖4、為手肘垂直時攀岩時左右手肌電圖表現

攀岩中屈腕肌與伸腕肌是同步用力，然而左手屈腕肌及伸腕肌較weak(圖4)，結果也顯示不管在那個姿勢下，左手的屈腕及伸腕肌明顯小於慣用手(右手)($p < 0.05$)(圖5)。

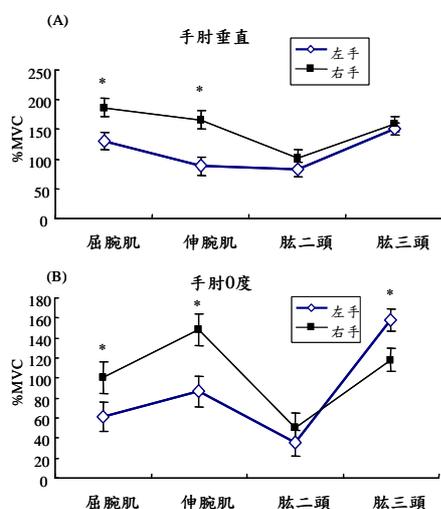


圖5、不同姿勢下左右手肌電圖之比較

由不同握法作疲勞效應分析結果顯示，以open hand握法支撐的時間明顯小於以crimp握法，而屈腕肌和伸腕肌的MF在一定時間後均出現顯著的下降下(open hand: 28.2 ± 5.4 sec; crimp: 54.8 ± 6.0 sec, $p < 0.05$)。

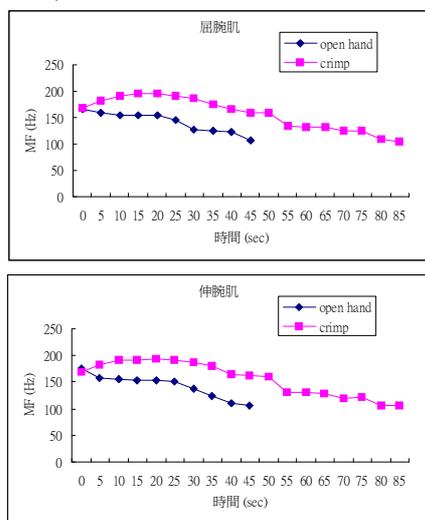


圖6、在不同握法下屈腕肌及伸腕肌MF的變化

大多研究顯示隨著肌肉疲勞的發生，都會出現頻譜左移的現象，即頻譜的表現參數MF值下降(Finsterer, 2001; Mannion and Dolan, 1994)。這是由於不同肌肉在進度MVC運動時伴隨運動單元放電頻率下降及減弱。其他研究也觀察到受訓練的攀岩者及一般人在相同時間產生疲勞及中位頻率的下降，不過攀岩者有較大的MVC，顯示其產生較高的作用力(Quaine et al., 2003)。

而在open hand握法時28.2秒時及crimp握法時在54.8秒時腕肌MF出現急劇下降的情形，這可能與

疲勞的產生有關，而下降時間也和負荷量有關；因此這對攀岩運動訓練上肢肌力時間應相對運動負荷大小來決定，否則會較早出現肌肉疲勞而達不到較好的訓練效果。

Watts(2004)建議手和岩石接觸力可能主要接觸力起源於身體質量的產生的重力效應，比作用在岩石上的向心收縮的肌力更相關，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)。

四、結論

結果顯示右左手在攀岩負荷不平均，將造成上肢關節及其周圍軟組織極大的壓力；而手肘垂直時屈腕肌、肱二頭及肱三頭肌有較大的負荷。而不同握法也將影響肌肉疲勞產生的時間，要維持較長支撐時間等長肌耐力的發展特別重要。而由屈腕肌及伸腕肌在MF的變化趨勢基本一致，說明攀岩中屈腕肌與伸腕肌是同步用力，因此在訓練過程中應並重屈腕及伸腕肌力量的訓練。

參考資料

1. Armstrong TJ. Upper extremity posture: Definition, measurement and control. Proceedings of the international Occupational Ergonomics Symposium. Zadar, Yugoslavia, 1985.
2. 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.
3. Attarian, A. & Pyke, K. Climbing and National Resource Management: An Annotated Bibliography. North Carolina State University & The Access Fund, 2000. <http://www.accessfund.org/pdf/annotbib.pdf>.
4. Finsterer J. EMG-interference pattern analysis. J Electromyogr Kinesiol 2001;11:231-246.
5. Hergenroeder AC. Prevention of sports injuries. Pediatrics 1998;101:1057-63.
6. Jones G, Asghar A, Llewellyn DJ. The epidemiology of rock-climbing injuries. Br J Sports Med 2008;42:773-8.
7. Mannion AF, Dolan D. Electromyographic median frequency changes during isometric contraction of the back extensors to fatigue. Spine 1994;19(11), 1223-1229.
8. Quaine F, Vigouroux L, Martin L. Finger flexors fatigue in trained rock climbers and untrained sedentary subjects. Int J Sports Med 2003;24:424-7.
9. Rohrbough JT, Mudge MK, Schilling RC. Overuse injuries in the elite rock climber. Med Sci Sports Exerc 2000;32:1369-72.
10. Watts PB. Physiology of difficult rock climbing. Eur J Appl Physiol 2004;91:361-72.