

行政院國家科學委員會補助專題研究計畫成果報告

抬舉作業時握把角度與物體重心位置 對腕部關節作用力的影響

計畫類別： a個別型計畫 整合型計畫

計畫編號：NSC 89-2213-E-041-002

執行期間： 88年 08月 01日至 89年 07月 31日

計畫主持人：江昇修 嘉南藥理科技大學工業安全衛生系
共同主持人：鄭世岳 嘉南藥理科技大學工業安全衛生系

本成果報告包括以下應繳交之附件：

赴國外出差或研習心得報告一份

赴大陸地區出差或研習心得報告一份

出席國際學術會議心得報告及發表之論文各一份

國際合作研究計畫國外研究報告書一份

執行單位： 嘉南藥理科技大學工業安全衛生系

中 華 民 國 89年 10月 31日

抬舉作業時握把角度與物體重心位置對腕部關節作 用力的影響

計畫編號：NSC 89-2213-E-041-002

執行期限：88年8月1日至89年7月31日

主持人：江昇修 嘉南藥理科技大學工業安全衛生系

共同主持人：鄭世岳 嘉南藥理科技大學工業安全衛生系

計畫參與人員：魏宏沖 成功大學醫學工程研究所

一、中文摘要

抬舉作業乃是利用雙手的力量，將物件做垂直的移動，不論是偶發性或非偶發性的抬舉作業，在日常生活或是工作場所揭示不可避免的動作，如何有效降低引致上肢的骨骼肌肉傷害是一個非常重要的課題，有學者建議在從事人工抬舉作業時應安裝握把於箱子可以減少傷害的發生。

本研究的主要目的世界一完整的上之三維生物力學分析模型分析在相同重量(23公斤)、兩種不同物把角度即握把 z 軸方向(相當於垂直地面向上的方向)旋轉角(外展 10 度、正中 0 度、內收 10 度)與 x 軸方向(相當於抬舉者抬舉時左、右側方向)旋轉角(水平 0 度、仰角 10 度、俯角 10 度)等握把狀況下，在執行抬舉作業時對上肢生物力學做探討：共有 8 位受測者參與本研究，利用動態分析量測且利用牛頓第二定律求得兩邊肩關節、肘關節、腕關節受力情形。

由本研究所建立的上肢生物力學分析模型來計算與分析抬舉時各關節受力情形，其結果發現不同的握把角度對於腕關節和肘關節有較顯著的影響。

關鍵詞：抬舉作業、握把角度、動態分析系統

Abstract

"Manual Materials Handling" (M.M.H.) included lifting, carrying, pushing, pulling, lowering and holding. It has been a topic of interest in many fields of research, particularly manual lifting. The primary reason for this interest is the devastating cost and human suffering caused by the severity of M.M.H.-related injuries. The lifting tasks are necessary in our active daily living. One potential hazard in lifting is the related musculo-skeletal injury of upper extremity, especially the wrist. Hence a number of recent studies sought to give recommendations for handles or containers to aid in manual lifting tasks. It is happened to reduce injury efficiently at the every joint of the upper extremity.

The purpose of this study was to establish the 3-D kinematic and kinetic models of upper limbs. By imaged based motion analysis system, the movement pattern, the force and moment of the shoulder, elbow

and wrist joint of eight right-handed male subjects during nine different types box lifting were collected and analyzed. One handle angle rotates about the vertical axis of the lifting box, and another rotates about the horizontal axis of the lifting box. By using the platform force plate on the ground, the ground reaction force all over these different types lifting was also collected and analyzed.

The handle angles rotating the vertical axis of the lifting box are more singular than the handle angles rotating the horizontal axis for the biomechanical effect of upper extremity.

Keywords: lifting tasks, handles angle, motion analysis system

一、緣由與目的

現今自動化和電腦化的工業社會裡，機械設備逐漸取代傳統手工操作，但是基於經濟上的因素以及現實環境的考量，使得實現完全自動化的夢想受到相當的限制，目前許多操作過程仍須仰賴人工的作業，因而如何減少因人工作業而造成人員的傷害發生成為目前最重要的課題之一。

「人工物料搬運」(Manual Material Handling, 簡稱 M.M.H.)是指沒有借助外力的人力搬運行為，包括抬舉(lifting)、推頂(pushing)、拖拉(pulling)、提攜(carrying)和卸下(lowering)、握持(holding)等動作。不當的人工物料搬運會造成骨骼肌肉的傷害，所導致的傷害賠償及治療對於企業及工人本身都會造成負面影響。在所有的人工物料搬運活動中，以抬舉作業所造成的損失賠償最大。其主要的原因在於：當作業員從事物料抬舉時，人體會承受各種壓力，包括生物力學的、生理的與心理的壓力。當這些壓力超過人體所能忍受的界限時，即產生疲勞、不適和效能下降等現象 [1,2]。

目前對於人工抬舉的工作安全值設計的研究方法，包括有生物力學法(biomechanical method)、生理學法(physiological method)、心理物理法(psychophysical method)；對於抬舉能力的研究可分為兩方面，即經常性及非經常性的抬舉工作，其探討的焦點多著重於腰椎之研究，其次則是人體最大能承受的抬舉重量，抬舉高度、頻率、移動距離、姿勢及不同箱子大小等對最大的抬舉能力、技術及抬舉時間的影響，對於工業安全規

範，可說是諸多裨益；然而關於抬舉箱握把的角度，在抬舉過程中，對上肢的影響，其相關的文獻探討尚未十分詳盡，但國內已有學者在對此方面做努力了。

本研究將基於研究中所建立的上肢三維生物力學模型以分析改變抬舉握把角度時，上肢各關節的受力與力矩變化的情形，以期能對臨床及工業界有所助益，並降低勞工在抬舉過程中上肢所可能遭受的職業傷害。

抬舉的過程是屬於一種上肢開放鍊 (open chain) 的動作。因此，本實驗利用一完整三維運動學及動力學的動態分析模式，以研究在抬舉的過程中，改變握把鉛直軸方向旋轉角與左右方向旋轉角等的不同握把角度，對上肢各關節運動模式極受受力情況的影響。

本研究的目的是包括：

1. 分析上肢在抬舉不同箱子時，各關節受力及力矩的變化，藉以了解不同的握把角度的箱子是否會對其造成影響。
2. 藉著分析上肢各關節的受力情況，希望能對抬舉作業的握把設計有所助益。

二、理論基礎

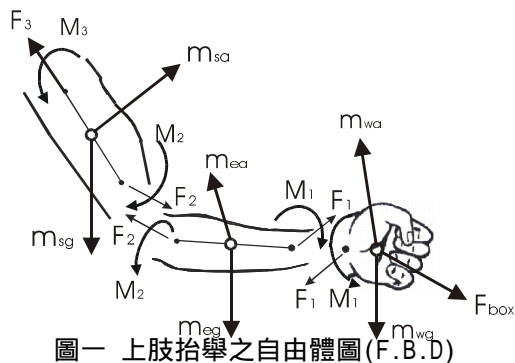
1、運動學的分析

對於上肢各關節抬舉時運動角度的計算，本實驗採取以浮動軸 (floating axis) 旋轉的尤拉角 (Euler angle) 分析描述肢段與肢段間相對的角位置，肩關節採取 Z'-X'-Z" (plane of elevation, elevation and axial rotation) 的旋轉順序來描述與分析，如此可有效避免計算上奇異 (singular) 現象的發生；而腕關節、肘關節角運動的部分則採取 Y-X'-Z" (flex/extension, add/abduction and axial rotation) 的旋轉順序來描述與分析。

2、動力學的分析

本研究基於建立上肢三維的生物力學分析模型，探討改變握把角度（兩個軸向）對於肩關節、肘關節和腕關節在抬舉過程中的受力情形及運動狀態的影響。

圖一為在抬舉過程時，分別代表腕、肘及肩關節的合力與合力矩的自由體圖 (Free Body Diagram, F.B.D)；實際推導的順序為先求出作用在箱子握把上的力再推算到各關節。



由圖一上肢抬舉之自由體圖可列出手部、前臂及上臂肢段的平衡方程式如下所示：

$$F_j = m_i a_i - m_i g - [R_{j/lab}] [R_{lab/j-1}] F_{j-1}$$

$$M_j = [I_i \ddot{\theta}_i + \dot{\theta}_i \times (I_i \dot{\theta}_i)] - (r_{j-1} \times F_{j-1}) - [R_{j/lab}] [R_{lab/j-1}] (r_{j-1} \times F_{j-1}) - [R_{j/lab}] [R_{lab/j-1}] M_{j-1}$$

其中如果下標的 i 值是 1 則代表手掌肢段、2 代表前臂肢段、3 代表上臂肢段； j 值若為 1 則 F_0 是作用在箱子握把上的力、 F_1 是作用在腕關節的力、 M_0 則是作用在箱子握把上的力矩，但為了簡化計算將它忽略、 M_1 是作用在腕關節的力矩。

j 值若為 2 則 F_2 是作用在肘關節的力、 M_2 是作用在肘關節的力矩、 j 值若為 3 則 F_3 是作用在肩關節的力、 M_3 是作用在肩關節的力矩。

其參數說明如下： ($j=1-3$)

m_i ：肢段的質量

g ：重力加速度 (local)

a_i ：肢段質心加速度 (local)

F_j 、 F_{j-1} ：近端與遠端關節所受的作用力

M_j 、 M_{j-1} ：近端與遠端關節所受的作用力矩

$R_{j/lab}$ ：表近端肢段局部座標系相對於實驗室座標系的旋轉矩陣

$R_{lab/j-1}$ ：表實驗室座標系相對於遠端肢段局部座標系的旋轉矩陣

I_i ：肢段相對於質心之轉動慣量

$\dot{\theta}_i$ ：肢段瞬間的角速度 (local)

$\ddot{\theta}_i$ ：肢段瞬間的角加速度 (local)

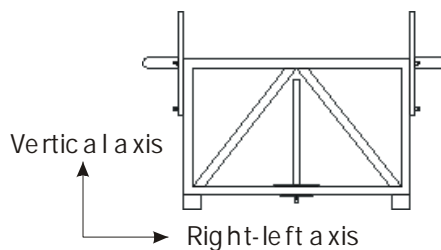
r_j 、 r_{j-1} ：由近端與遠端關節中心到肢段質心的位置向量

根據學者 McConville (1980) [7] 的人體的計測參數資料可求得肢段慣性矩及質量。

三、實驗方法

1. 實驗設計

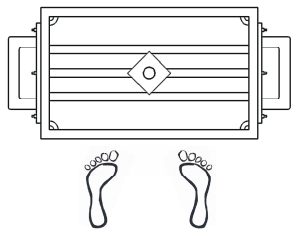
本研究實驗的方式採兩種類型的握把來對受試者進行測試而且每一位受試者在完成 4 到 5 個動作時，都會要求做充份休息之後在進行下一個動作。



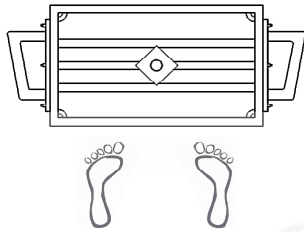
圖二 抬舉箱前視圖

抬舉箱的鉛直軸與左右軸如圖二所示；本研究所設計的抬舉架可調整握把角度為外展 10°、正中 0°、內收 10° (繞鉛直軸變化) 和仰角 10°、20°、

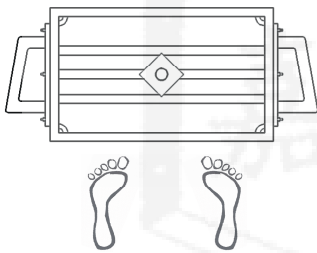
30°(繞左右軸變化)等角度如圖三及圖四所示：



正中 0°

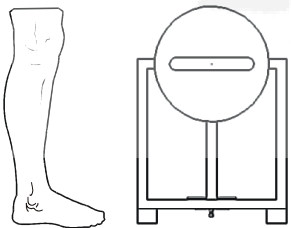


外展 10°

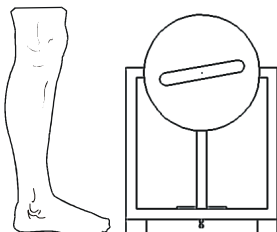


內收 10°

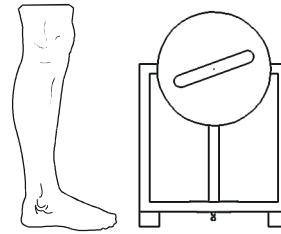
圖三 繞鉛直軸變化的握把



仰角 0°



仰角 10°



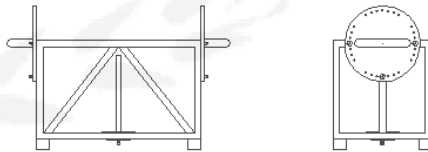
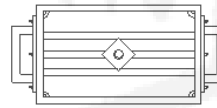
仰角 20°

圖四 繞左右軸變化的握把

本研究混和繞鉛直軸及左右軸兩種類型握把進行實驗，每位受測者在每一種握把組合做兩次的抬舉動作。

2. 實驗設備

本實驗中所使用的設備主要有：動態分析量測系統(Motion Analysis System), Sun 工作站(Sun Work Station.), CCD 攝影機 6 部, 校正架, 反光標記球, 測力板 2 塊(Kistler forceplate), 握力計, 圓形砝碼 16 公斤重, 抬舉模擬架; 如圖五為抬舉架之三視圖, 其中抬舉架長 60 公分、寬 30 公分、高 30 公分, 重 7 公斤。所以實驗時抬舉的總重量為 23 公斤。



圖五 抬舉架三視圖

3. 模型建立

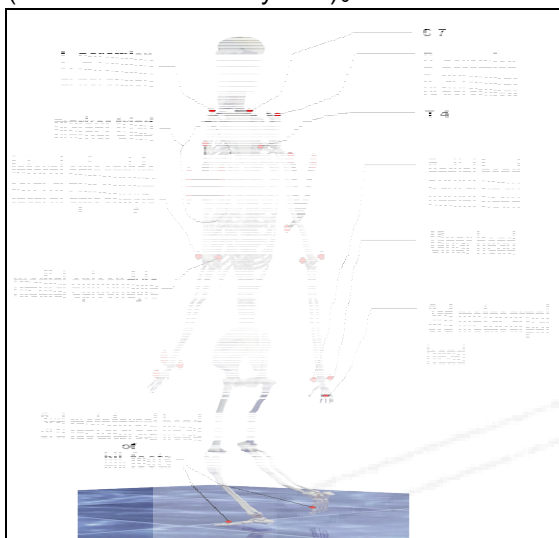
本研究將人體的左右上肢各假設成 3 個肢段(segment)與軀幹(trunk)相連接及 3 個關節點所組成, 並且利用人體計測參數的資料和動態分析系統所獲得的資料, 根據力學平衡方程式即可計算出各關節的合力及合力矩。

並對於此一生物力學模式作了以下的假設:

- 身體上肢的每個肢段(包含軀幹), 皆視為一密度均勻之剛體(rigid body)。
- 左右兩上肢皆為一對稱性結構。
- 肢段間的接合點皆視為球窩關節(ball and socket joint)。
- 在抬舉的過程中, 施於握把的作用力, 其作用點假設是在握把的某一點上。
- 抬舉執行時, 定義箱子由地面開始被抬高至受

測者指節高的高度(Knuckle Height)。
f. 忽略空氣阻力對抬舉運動造成的效應。

將反光標記物(markers)貼附在每一肢段上，定義出各個剛體在實驗室空間中的局部座標系(local coordinate system)。



圖六 反光球貼附位置示意圖

反光球貼附之解剖位置：

第七頸椎棘突 (spinous process of cervical vertebra 7), 第四胸椎棘突 (spinous process of thoracic vertebra 4), 左、右肩峰 (left acromion and right acromion), 左、右上臂之三反光球組 (marker triads of left and right upper arms), 左、右肱骨內側上髁 (medial epicondyle of left and right humerus), 左、右肱骨外側上髁 (lateral epicondyle of left and right humerus), 左、右橈骨莖突 (left and right radial styloid process), 左、右尺骨莖突 (left and right ulnar styloid process), 左、右第三掌骨頭 (left and right head of 3rd metacarpal bone)。

如圖六清楚可以看出 20 顆標記球貼附於身體上肢解剖位置，它分別可求得在抬舉的過程中，身體各肢段局部座標系的變化情形以及一些運動學與動力學的參數 (如加速度、角速度等)。而另外貼附於腳掌第三掌骨頭 (3rd metatarsal head) 的標記球 2 顆是為了標示在抬舉時，腳是否有移位的情形。

4. 資料的收集與處理

本實驗每次資料收集時間為 4 秒，收集頻率為 60Hz，在這 4 秒內受測者執行一次抬舉；經過動態分析系統的資料收集，整個實驗結束之後，每位受測者各有 18 筆動態空間座標值資料。

利用 EVA 5.0 軟體先行在工作站 (Sun 工作站) 處理抬舉時每一顆反光球的運動軌跡影像追蹤辨識 (tracking)，將其以 Butter Worth 濾波後，以 *p3d* 檔案形式輸出，以 MATLAB 程式計算每次抬舉

過程中各關節角運動及受力的情形。

四、結果

本實驗利用改變握把兩個方向 (抬舉箱鉛直軸方向與抬舉箱左右方向軸) 的旋轉角度，並利用尤拉角所建立的運動學與動力學模型做分析，以探討抬舉對上肢之受力情況。

以下本研究將以二因子變異數探討兩種握把型態對於腕關節、肘關節及肩關節等三個關節的影響。

1. 腕關節

表一、表二分別表示抬舉 23kg 重的抬舉箱，兩種不同類型握把對 8 位受測者在非慣用手、慣用手腕關節承受的力與力矩的最大值影響統計結果。

表一 兩種類型握把對腕關節最大受力的影響

	繞抬舉箱鉛直軸變化的握把	繞抬舉箱鉛直軸變化的握把
右腕前後方向的力量	*	p.s.
右腕內外側的力量	*	*
右腕軸方向的力量	*	
左腕前後方向的力量	*	
左腕內外側的力量	*	*
左腕軸方向的力量	*	

說明：表格內有*者代表 $P < 0.05$ ，在統計上唯有顯著差異者。

p.s. 代表繞抬舉箱鉛直軸變化的握把對右腕關節前後方向力量最大值有顯著影響。以下所有的統計表，皆以此方式表示之。

表二 兩種類型握把對腕關節最大力矩的影響

	繞抬舉箱鉛直軸變化的握把	繞抬舉箱鉛直軸變化的握把
右腕橈尺側偏向的力矩	*	
右腕屈曲伸展的力矩	*	
右腕旋前旋後的力矩		
左腕橈尺側偏向的力矩		
左腕屈曲伸展的力矩		
左腕旋前旋後的力矩		

2. 肘關節

表三、表四分別表示兩種不同類型握把對 8 位受測者在非慣用手、慣用手肘關節承受的力與力矩的最大值影響統計結果。

表三 兩種類型握把對肘關節最大力量的影響

	繞抬舉箱鉛直軸變化的握把	繞抬舉箱鉛直軸變化的握把
右肘前後方向的力量		
右肘內外側方向的力量		
右肘軸向的力量	*	
左肘前後方向的力量		
左肘內外側方向的力量		
左肘軸向的力量		

表四 兩種類型握把對肘關節最大力矩的影響

	繞抬舉箱鉛直軸變化的握把	繞抬舉箱鉛直軸變化的握把
右肘內收外展的力矩		
右肘屈曲伸展的力矩	*	
右肘旋前旋後的力矩		
左肘內收外展的力矩		
左肘屈曲伸展的力矩	*	
左肘旋前旋後的力矩		

3. 肩關節

抬舉 23kg 重的抬舉箱，兩種不同類型握把對 8 位受測者在非慣用手、慣用手肩關節承受的力與力矩的最大值影響統計結果並無明顯的差異存在。

五、討論

從上統計結果可以得知抬舉箱重心在中間時，改變不同軸向握把角度對於手腕關節的影響多於手肘關節，而對肩關節有影響者更少；此趨勢與所做之研究有相近的結果，推論其原因可能是當保持重心在抬舉物中間而改變握把角度的情況下，其最直接影響到的便是腕關節在空間中的角度位置，因而影響了腕關節受力的角度，而依所得實驗數據統計分析改變握把角度對肘關節及肩關節的影響並不明顯。所以握把角度的設計不良，以上肢來講對腕關節的傷害應該是最為明顯；但相反的，如果設計良好的握把，應該能降低腕關節在抬舉過程中所受的傷害。

以此兩種型態握把對上肢關節的最大力

量及力矩作統計分析結果顯示：繞抬舉箱鉛直軸變化的握把，比繞抬舉箱左右軸變化的握把對腕關節及肘關節所受的各分力最大值之影響還要顯著；由此可推測改變握把 z 軸方向旋轉角可能會比改變 x 軸方向旋轉角度對上肢各關節受力之改善(尤其是腕關節)還要有效果。

而改變握把角度以生物力學的眼光來看，最主要的目的是希望藉此改變關節本身與被抬舉物重力方向的夾角，如此將造成關節某一部份的受力或所受力矩變小，但關節某一部份的情況卻也會增大，因為總合力不會改變太大。

六、結論

在藉以改變握把角度來改善關節受力的情況下，腕關節直接受其影響，所以腕關節的受益最大，其次是肘關節；肩關節受其影響最小；而相反的，抬舉時因握把設計不良所造成傷害最大的，應該是腕關節。再者繞抬舉箱鉛直軸變化的握把對於抬舉過程中腕關節、肘關節的受力及力矩變化的影響，明顯地比改變繞抬舉箱左右軸變化的握把深。

七、參考資料

- Weiner, JS, The measurement of human workload. Ergonomics, 25: 953-65, 1982.
- Davies, B, Moving loads manually. Applied Ergonomics, 3: 190-4, 1972.
- Anderson, K, and Chaffin, DB, A biomechanical evaluation of five lifting techniques. Applied Ergonomics, 17: 2-8, 1986.
- An, KN, Browne, AO, Korinek, S, Tanaka, S, and Morrey, BF, Three-dimensional kinetics of glenohumeral elevation. J Orthop Res, 9: 143-9, 1991.
- Drury, G, Begbie, K, Ulate, C, and Deeb, JM, Experiments on wrist deviation in manual materials handling. Ergonomics, 28: 577-89, 1985.
- Dempster, W, Space requirements of the seated operator. WADC Technical Report, 55-159, 1955.
- McConville, JT, Churchill, TD, Kaleps, I, Clauser, CE, Cuzzi, J, Anthropometric relationships of body and body segment moments of inertia. Technical Report AFARML-TR-80-119. Air Force Aerospace Medical Research Laboratory Aerospace Medical Division, Air Force Systems Command, Wright-Patterson Air Force Base, Ohio, 1980.
- Patrick Patterson, The effects of load knowledge on stresses at the lower back during lifting. Ergonomics, 30: 539-49, 1987
- Askew, LJ, An, KN, Morry, BF, Chao, EYS, Isometric elbow strength in normal individuals. Clinical Orthopaedics, 22: 261-6, 1987.