

握把角度對抬舉作業的影響

The effects of the different angle of handle on the lifting tasks

計畫編號：NSC 92-2218-E-041-003

執行期限：92 年 8 月 1 日至 93 年 7 月 31 日

主持人：江昇修 嘉南藥理科技大學職業安全衛生系

一、摘要

本計畫設計一個載重箱可以分別在三個垂直面上改變握把角度。從生物力學法著手首先需建立一個包含物件與上肢的運動與動力學模型，以計算抬舉過程中腕部關節面、肘部關節與肩關節面的作用力。

本計劃另外一個觀察的影響因子是物體的重心位置，將考慮三個物體重心位置：正中、偏慣用手與偏非慣用手，將要求受測者在未知物體重心位置的情況下從事抬舉作業，以觀察腕部的關節力在抬舉的初始階段是否會有劇烈的變化。

關鍵詞：抬舉作業、肌肉骨骼傷害、握把角度、重心位置

二、緣由與目的

抬舉作業是日常生活中經常性的工作，需要背部、腿部和手部的肌肉互相協調，針對由抬舉作業所引起的肌肉骨骼傷害，在以前大部分的研究焦點毫無疑問的是放在下背痛的問題[1][2]。計算 L5/S1 關節面的力量[3][4]，但在抬舉過程中腕部亦暴露在危害因子中，例如腕部的不當姿勢（橈偏/尺偏或掌屈/背屈）、重複性動作、腕部承受極大的力量等。不當的抬舉作業有可能造成背部的傷害，亦有可能造成手部的不適[5][6]，雖然這方面的報告不是很多，但從不當手工具的使用所引致的手部累積性傷害的眾多報告，可以認知腕部在抬舉作業中亦有可能造成傷害[7]，因為腕部的姿勢在抬舉過程中有連續的彎曲/伸展和

橈偏/尺偏的現象，因此腕部在抬舉作業中是否會受到傷害是個不容忽視的課題。

Shih[8]曾經以心物法評估抬舉箱握把角度與直徑對抬舉能力的影響，在該研究中握把角度只在矢狀面(sagittal plane)上做單一方向的變化，抬舉作業是單手抬舉物件，為了避免在抬舉過程中腕部過度橈偏或尺偏，根據手工具握把設計的原則，本計畫改變物件的握把角度可以減少腕部的不良姿勢，因此本計畫的目的是探討被抬舉物件握把角度的變化對抬舉作業的影響，腕部在三個垂直軸上皆有相關的運動，因此本計畫設計握把角度分別在三個垂直面上改變。從生物力學法著手首先需建立一個包含物件與上肢的運動與動力學模型，以計算抬舉過程中腕部關節面的作用力，因為適當的手工具握把角度能減少腕部的傷害，因此本計劃改變載重箱子的握把角度以觀察是否有一適當的握把角度能減少腕部關節面的作用力；除了以力學模式分析腕部關節面的作用力外，除了以客觀的實驗數據觀察腕部關節面的力量與肌力的動態變化外，亦將以主觀的心物法要求受測者評估握把角度的組合變化是否有助於抬舉作業。最後本計劃另外一個觀察的影響因子是物體的重心位置，將考慮三個物體重心位置：正中、偏慣用手與偏非慣用手，將要求受測者在未知物體重心位置的情況下從事抬舉作業，以觀察腕部的關節力在抬舉的初始階段是否會有劇烈的變化。

三、理論基礎

本研究首先建立一個完整的上肢三維運動學與動力學之生物力學的數學分析模型，並藉此探討肩關節、肘關節和腕關節在抬舉過程中的受力情形及運動狀態。

3.1 上肢抬舉之三維動力學

在本研究中有關關節所受的力及力矩的變化，是採用正向分析的方法，也就是先取箱子為一自由體進而求得作用在箱子握把上的力之後，並且利用局部座標複合轉換 (local Compound Transformations) 計算腕、肘及肩關節的力量及力矩。

3.2 上肢肢段抬舉之角速度及角加速度

利用尤拉參數 (Euler Parameters) 即可求出肢段的角速度及角加速度，進而利用反向動力學的原理導出上肢各關節的受力及力矩變化的情形。

3.3 上肢三維生物力學模型

目前有關生物力學模式的文獻中，都是把人體的骨骼-肌肉系統，視為一密度均勻的多剛體，而且在其關節的接合處都假設是球窩關節(ball and socket joint)或鉸鏈關節(hinge joint)所形成的多連桿系統。本研究裡是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。而圖

1 即是本實驗所使用的人體多剛體的連結模型。

並作以下之假設：

- 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)。
- 忽略空氣阻力對抬舉運動造成的效應。

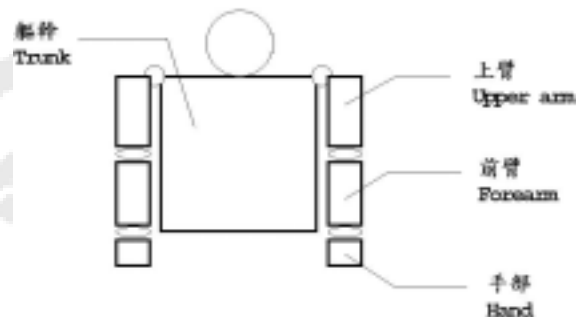


圖 1 人體多剛體肢段

3.4 上肢運動學分析流程

運動學主要的目的是在求得人體在空間中運動時，兩肢段間，關節運動角度變化的情形。並且以尤拉角的計算方式，分別來表示肢段間在屈曲 / 伸展 (flexion/extension)、外展 / 內收 (abduction/adduction)、軸向旋轉 (axial rotation) 三個方向的夾角。針對此一流程，做以下幾點說明：

1. 首先由本實驗所使用的動態分析系統來抓取靜態解剖位置及動態抬舉的過程，以得到反光標記球在空間中的運動軌跡，之後再將其軌跡輸入所撰寫的運動學程式來加以計算。
2. 接下來是定義肢段及局部座標系。
3. 知道肢段局部座標系後，即可求出肢段與實驗室座標系的轉換矩陣進而求出肢段間的轉換矩陣並且利用尤拉角的原理求出關節的夾角。

3.5 上肢動力學分析流程

力量和力矩的計算主要是採用反向動力學的方法，即先求得加速度、角速度、角加速度再反推得關節的力和力矩，而至於角速度、角加速度則是運用尤拉參數的方法求得的。針對此一流程，做以下幾點說明：

1. 首先是由本實驗所使用的動態分析系統來抓取靜態解剖位置及動態抬舉的過程，以得到反光標記球在空間中的運動軌跡，之後將其軌跡輸入所撰寫的運動學程式來加以計算。
2. 接下來是定義肢段及局部座標系。
3. 利用所求得的局部肢段及箱子的旋轉矩陣並且運用尤拉參數的原理，即可求出肢段及箱子的角速度和角加速度。求出肢段及箱子的角速度和角加速度及質心的加速度之後並且根據平衡方程式和人體計測參數，

即可得出各關節的合力及合力矩。

四、實驗方法

參與本實驗的受測者，其平均年齡 26 歲、身高 172cm、體重 64kg，無骨骼肌肉系統方面的疾病、且其從事之職業並無關特殊抬舉技巧的健康男性，慣用手皆為右手。

實驗程序首先是建立實驗室座標系，由校正架收集校正檔，以做為本實驗室空間的座標系，再利用現有的六部攝影機，捕捉抬舉過程的影像軌跡，透過校正檔的校正，找出貼於受試者身上的反光球標記相對於實驗座標系的空間位置，在整個實驗過程攝影機禁止再做任何移動，本實驗動態影像以 60Hz 的頻率收集。並且設定測力板。

在受測者身上貼上反光球，首先讓受試者做出 *netural position* 的姿勢，目的是為了找出 *marker triad* 和左、右手肘肱骨內側上髁 (*med. epicondyle*) 和外側上髁 (*lat. epicondyle*) 的相對位置向量，之後再將此 4 顆反光標記球拿掉，再由動態抬舉時的 *marker triad* 根據靜態的相對關係推出動態的左、右手肘肱骨內側上髁 (*med. epicondyle*) 和外側上髁 (*lat. epicondyle*) 位置。

本實驗主要針對無特殊抬舉技巧者，在日常生活中所執行之偶發性抬舉作探討，故在實驗過程中，對於受測者執行抬舉過程所採取的姿勢並不加以特別規定，令其採取以自己習慣的抬舉姿勢執行抬舉。

五、結果與討論

抬舉過程中上肢各關節受力情形及力矩變化如下敘述：

5.1 腕關節

a. 力量變化

在拾起(pick up)物重時，前後方向的剪力(Anterior-posterior shear force, F_x)就會出現大值，而隨著抬舉高度的增加則力量逐漸變小的趨勢，一直到後抬舉期力量變化會有趨於緩和的現象，而造成此一現象的發生可能是因為重心的不穩定所造成箱子會在冠狀面上做出不穩定的擺盪現象，使得力量直接作用在手腕上所致，我們可以從重心的偏左、偏右就可以明顯的看出。同時在尺側及橈側方向剪力(Ulnar-radial force, F_y)及軸向力(Axial force, F_z)的力量變化剛好成互補的，也就是在拾起抬舉架時，軸向力會有最大值而在尺側及橈側方向的剪力則是出現最小值，直到抬舉一定高度時，軸向力逐漸減小而尺側及橈側方向剪力逐漸變大的趨勢，而這現象的發生可能是因為肘關節的屈曲(Flexion)的角度變化而造成兩方向的力值變化，即拾起時，軸向力會隨者屈曲的角度增加，軸向力逐漸變小，尺側及橈側方向剪力逐漸變大，一直到後抬舉期時變化就較為平穩。

b. 力矩變化

在拾起(pick up)箱重時，尺側方向的力矩(Ulnar moment, M_x)會隨者抬舉高度的增加，而有變大的趨勢一直到抬舉至一定高度時，達到最大值且在屈曲力矩(Flexion moment, M_y)方面也有

明顯變小的趨勢，一直到後抬舉期時，力矩的變化則會趨於平穩的狀態。所造成尺側力矩變化可能是因為在抬舉期時，本為了支撐物重防止滑落但由於箱子重量已超過肌肉所能負荷的重量於是會有此一力矩的變化產生，所以必須轉由其他關節來負責支撐物重，且在屈曲力矩方面，箱子本身重心不對稱或由於重心正中，慣用和非慣用邊造成箱子本身在冠狀面擺盪不穩所致，所以產生了負責維持穩定力矩至後抬舉期。

5.2 肘關節

a. 力量變化

在抬舉期間，可看在前後方向的剪力(Anterior-posterior shear force, F_x)隨者抬舉高度的增加，力值明顯的增加直到抬舉到一定高度時，達到最大值且到了後抬舉期則變化會趨於穩定，而造成力量明顯變化的原因可能是因為在抬舉期(move/carry phase)時，肘關節本身屈曲(Flexion)角度增加會造成在這方向的剪力逐漸變大的趨勢。同時，肱骨內外髁方向的剪力(Medial-lateral force, F_y)在一開始受力較小，隨者抬舉高度的增加有明顯增加的趨勢而軸向力(Axial force, F_z)的變化剛好相反，可能是因為屈曲的角度的變化，也就是隨者屈曲角度的增加由最大值明顯的變小一直到後抬舉期才趨於穩定狀態，同理肱骨內外髁方向的剪力也會有與其相反的趨勢。

b. 力矩變化

在抬舉箱子的過程中，外展力

矩(Abduction moment , M_x)、屈曲力矩(Flexion moment , M_y)及外旋力矩(External moment , M_z)會出現一明顯的轉折而隨者抬舉高度的增加,變化會逐漸減緩一直到後抬舉期才有穩定的趨勢產生。而外展力矩的變化,可能是因為為了支撐箱重而產生的力矩變化。至於屈曲力矩及外旋力矩的變化可能是為了使在抬舉時,防止箱子因不對稱而在冠狀面產生的搖擺現象,直到後抬舉期變化有稍微緩和的趨勢。

5.3 肩關節

a. 力量變化

在抬舉期間,可看在前後方向的剪力(Anterior-posterior shear force , F_x)有出現一明顯的轉折而相較於其他兩力,即肱骨內外髁方向的剪力(Medial-lateral force , F_y)和軸向力(Axial force , F_z)也會有此一現象,只是較不明顯,一直到後抬舉期才趨於較平穩的狀態,而會出現轉折可能是因為肩關節運動模式有關,也就是在抬舉過程中會有一伸展(Extension)加上外旋(External rotation)的動作所致。

b. 力矩變化

在抬舉期間,伸展力矩(Extension moment , M_y)出現一明顯的轉折,其次在外展力矩(Abduction moment , M_x)及內旋力矩(Internal rotation moment , M_z)方面也會出現較為小的一個轉折變化曲線,一直到後抬舉期變化較平穩,至於會出現轉折的現象,個人認為在伸展力矩方面可能具有維持箱子至一定的高度,不至

產生的掉落的危險,而另外的外展力矩及內旋力矩可能具有穩定箱子在冠狀面及橫切面上所產生的不穩定的旋轉效應所致。

參考文獻

- [1] Ayoub, M. M., "Problems and Solutions in Manual Materials Handling: the state of the art", *Ergonomics*, 35(7), pp713~728, 1992.
- [2] 李慈賢, 鄭德相; '提舉工作與人體疲勞部位之研究'; 技術學刊, Vol.9, No.4, pp419~426, 1994.
- [3] Miller, A. A., Schultz, A. B., Warwick, D. N., and Spencer, D. L., "Mechanical Properties of Lumbar Spine Motion Segments under Large Loads", *Journal of Biomechanics*, 19, pp79~84, 1986.
- [4] Han, J. S., Goel, V. K., Ahn J. Y., Winterbottom, J., McGowan, D., Weinstein, J., Cook, T., "Loads in the spinal structures during lifting: development of a three-dimensional comprehensive biomechanical model", *European Spine Journal*, 4(3):153~68, 1995.
- [5] Hallbeck, M. S., and McMullin D. L., "Maximal Power Grasp and Three-jaw Chuck Pinch of Wrist Position, Age, and Glove Type", *International Journal of Industrial Ergonomics*, Vol. 11, pp.195~206, 1993.

- [6] Hallbeck, M. S., "Flexion and Extension Forces Generated by Wrist-dedicated Muscles over the range of Motion", *Applied Ergonomics*, 25(6), pp379~385, 1994.
- [7] Grant, K. A., Habes, D. J., Steeard, L. L., "An analysis of handle designs for reducing manual effort: the influence of grip diameter", *International Journal of Industrial Ergonomics*, 10, pp199~206, 1992
- [8] Shih, Y. C. and Wang, M. j., 1997, "Psychophysical evaluation of diameter and angle of container handles", *International Journal Industrial Ergonomics*, 19, pp 437- 444.

