

# 雙手握持力的動態變化與抬舉或放下物重的關係

計劃編號: NSC 88-2213-E-041-002

執行期限: 87年8月1日至88年7月31日

主持人: 江昇修 嘉南藥理學院工業安全衛生系

## 中文摘要

本研究的主要目的是建立一完整的上肢三維生物力學分析模型，並藉此分析在不同重量(24、34 公斤)、不同握把角度(0°、10°、20°)與不同重心位置(重心偏左、正中、偏右)等箱子狀況下，在執行抬舉作業時對上肢生物力學與地面反作用力做探討；共有 8 位受測者參與本研究，利用動態分析量測系統與測力板量測且利用牛頓第二定律求得兩邊肩關節、肘關節、腕關節受力情形與抬舉過程中地面反作用力及重心偏移軌跡情形。

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，其結果符合抬舉過程上肢受力的狀態且發現不同的握把角度對於腕關節和肩關節有較顯著的差異，尤其是在腕關節的地方，也就是較容易受到傷害的地方而慣用邊與非慣用邊在各關節亦存在有明顯差異，重心偏移軌跡與兩腳負荷重量差異亦明顯受箱子重心偏移的影響

關鍵詞：人工物料搬運、抬舉作業、握把角度

## 英文摘要

The purpose of this study was to establish the 3D kinematic and kinetic model of upper limbs. By image 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(2 weight: 24, 34kg; 3 weight offset: left, middle, right; 3 handle angles: 0°, 10°, 20° from horizontal) were collected and analyzed. 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 result completely described the 3-D kinematic and kinetic characteristics and real the joint force and moment of upper limbs. The handle angle can effect the joint force and moment of upper limbs, especially the wrist. The center of pressure (COP) calculated from force plate and its locus showed different patterns while different weight offset of box were lifted (COP shifted to left when the weight left offset, and COP shifted to right when the weight right offset).

## 1.前言

「人工物料搬運」(Manual Material Handling, 簡稱 M.M.H.)是指沒有借助外力的搬運行為，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將是一筆龐大的花費，所引起的傷害包括腰部的傷害與身體各部位的酸痛。而在所有的物料搬運活動中，又以物料抬舉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，此一作業工作負載會使人體產生各種壓力反應，這些壓力包括生物力學的、生理的和心理的壓力。當這些壓力超過人體所能忍受的界限時，即破壞均衡狀態而產生疲勞、不適和效能下降等現象[1][2]。

抬舉作業執行時、雙手必須施力於物件上，握把是人與物的界面，物件上的握把對於抬舉作業執行的順暢與否、安全與否有很大的影響；不當的握把設計易導致多種骨骼肌肉系統的累積性傷害，在不適的施力姿勢下執行抬舉作業亦容易引起身體額外代償性動作，使手部無法順利地施力於握把，甚至會影響身體的平衡，造成身體重心不穩，甚而跌倒。

## 2.背景

至目前為止、相當多的研究者投入大量的心力致力於抬舉作業的研究，並且以“生物力學法”(biomechanical approach)、“生理學法”(physiological approach)、“心物法”(psychophysical approach)等觀點切入探討[1][2][5][6][7][8]；對於抬舉能力的研究亦可分為兩方面，即經常性及非經常性的提舉工作，其研究所探討的焦點，不外乎是人體最大承受抬舉重量、抬舉高度或距離、抬舉頻率、不同箱子大小影響最大抬舉能力、抬舉姿勢或技術、抬舉姿勢的時間對抬舉能力的影響[3][4][5]等等，對於工業安全規範，可說是諸多裨益。

從以上簡單的描述，大略可知目前研究的成果相當的豐碩，但在抬舉時，上肢生物力學對抬舉平衡的探討並非詳盡；所以本研究將建立一個完整三維的生物力學模式，來描述抬舉時，上肢之各關節的受力及力矩的變化情形，並且描述因在抬舉的過程中，重心變化所造成身體不平衡的現象，以期能對

臨床及工業有所助益。

### 3. 研究目的

抬舉是一個複雜的動態行為模式，在過去有關抬舉生物力學的研究領域中，都採靜態分析為主而和動態分析比較之下，所造成的誤差相當大。因此為了減小誤差，本實驗首先建立一完整三維運動學及動力學的動態分析模式，來計算上肢開放鏈各關節運動模式及受力情形，進而能夠描述在不同的握把角度、重量及重心位置的箱子時各關節的運動及受力情形；並且藉由力板收集到不同箱子在抬舉過程中，壓力中心(Center Of Pressure, COP)的變化及正向反作用力的分佈情形，以探討身體平衡的狀況。

本研究的目的包括：

1. 建立抬舉時，完整上肢三維運動學及動力學模式，並且藉其評估此模型在描述上肢開放鏈，各關節運動及受力狀態下的適用性。
2. 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。
3. 分析不同的箱子在抬舉時，壓力中心的軌跡來探討由於重心的偏移，對於身體平衡的影響。

### 4. 動力學與運動學的计算

#### 4.1 動力學計算

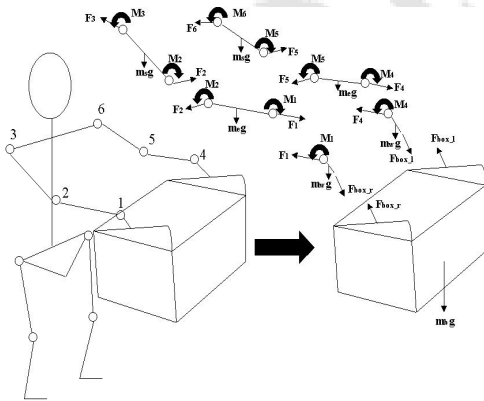


圖 1 抬舉作業時上肢自由體圖

圖 1 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)而實際推導的順序，是先求出作用在箱子握把上的力再推到各關節。

由圖1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：

$$\begin{aligned} \mathbf{F}_j &= m\mathbf{a}_{cl} - m\mathbf{g} - [\mathbf{R}_{j/lab}] [\mathbf{R}_{lab/j-1}] \mathbf{F}_{j-1} \\ \mathbf{M}_j &= [\mathbf{I} + \mathbf{r}_j \times \mathbf{I}] - (\mathbf{r}_j \times \mathbf{F}_j) - \\ & [\mathbf{R}_{j/lab}] [\mathbf{R}_{lab/j-1}] (\mathbf{r}_{j-1} \times \mathbf{F}_{j-1}) - \\ & [\mathbf{R}_{j/lab}] [\mathbf{R}_{lab/j-1}] \mathbf{M}_{j-1} \end{aligned}$$

j 的說明如下；

1. 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。
2. 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。
3. 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：肢段的質量

g：重力加速度(local)

$a_{cl}$ ：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：肢段相對於質心之轉動慣量

：肢段瞬間的角速度(local)

：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 Dempster(1955)[9] 和 McConville(1980)[10] 的人體的計測參數資料可求得肢段慣性矩及質量。

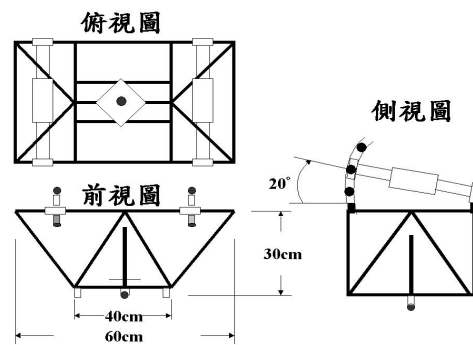


圖 2 抬舉模擬架

#### 4.2 運動學計算

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。

## 5.理論基礎

### 5.1 實驗設計

本研究實驗的方式採兩階段來對受試者進行測試而且每一位受試者在完成 4 到 5 動作時，都會要求做充份休息之後在進行下一個動作且在實驗完成後都會要求受試者作問卷，以了解抬舉的情況。

第一階段：

物重：24 公斤

握把角度：0°、10°、20°

重心偏移：正中、向左偏移 15 公分、向右偏移 15 公分。

受測者總共完成 9 組 24 公斤的抬舉作業，抬舉時受測者被要求以左右腳對稱姿勢站在二測力板上，右腳踩在第一塊力板、左腳踩在第二塊力板；以 3 段的握把角度搭配 3 個不同的重心位置，在這 9 組抬舉作業間並不遵循特定的順序，次與次間的抬舉皆給予足夠的時間休息(約 5 分鐘)，且隨時詢問受測者有無疲勞的現象，依據受測者的意志延長休息時間。

第二階段：

物重：34 公斤

握把角度：0°、10°、20°

重心偏移：正中、向左偏移 15 公分、向右偏移 15 公分。

受測者總共完成 9 組的抬舉作業，實驗程序與受測者注意事項如同第一階段。

### 5.2 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 (10kg\*3, 5kg\*1), 抬舉模擬架

如圖 2 可很清楚的看出抬舉模擬架的立體與平面形狀尺寸的大小。而本實驗所設計的模擬架，它可以在握把上自由的調整角度(每隔 10 度，共可調整 0~30 度)及在箱子的底部設計有滑動軌道，藉以調整不同重心位置(偏左/右及正中，最大偏移量為 20cm)，而且在滑動軌道上鑲有一插銷以固定法碼，以防止在抬舉的過程會任意移動並且可以調整重心位置。模擬架的每一根結構，是由寬度為 2.2cm、厚度為 1.2mm 的空心長柱所完成的。並且受測者抬舉時，雙手

抓取握把的寬度會調整成與受測者的肩膀同寬。

### 5.3 模型建立

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。

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)。
- 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)。

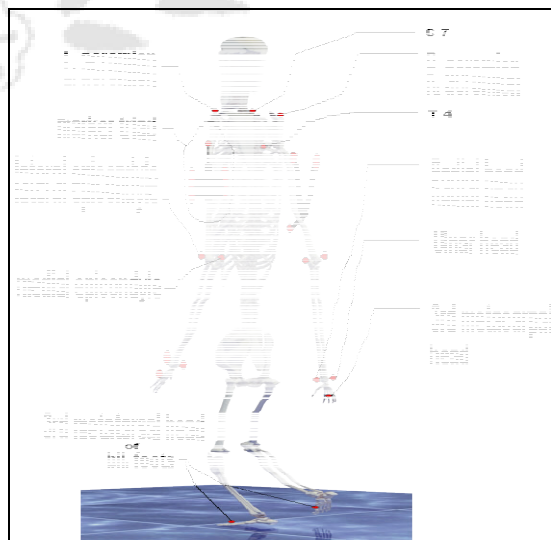


圖 3.反光球貼附位置示意圖

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 3<sup>rd</sup> metacarpal bone)。

如圖 3 很清楚可以看出 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(3<sup>rd</sup> 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。

## 6.資料收集與處理

本實驗每次資料收集時間為 4 秒，在這 4 秒內受測者執行一次抬舉；經過動態分析系統以及測力板的資料收集，整個實驗二階段結束之後，每位受測者各有 18 筆動態空間座標值資料與 18 筆測力板資料。

### 6.1 動態空間座標值資料處理：

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 Butterworth 濾波後，以 \* p3d\* 檔案形式輸出，以個人撰寫之程式利用 matlab 軟體計算每次抬舉過程中各關節運動及受力的情形。

### 6.2 測力板資料處理：

利用 EVA 5.0 軟體將測力板資料轉以 ASCII Code 輸出，以個人撰寫之程式利用 matlab 軟體計算得壓力中心點(Center of Pressure, COP)變化與二塊力板各自的反作用力(reaction force)值。

## 7.結果

由實驗所收集貼於肢體上的反光球軌跡，根據牛頓第二定律的原理，且採用反向動力學即可由反光球的運動軌跡所求得的運動參數來反推各關節所受的力及力矩的變化，最後將所得的資料來進行分析與探討。本章將分兩大部分來進行分析與討論，一部份是探討於不同握把角度下及物體重心位置時，各關節力量與力矩的變化情形，另一部份則討論力板資料。

為了便於分析抬舉過程的各種動作情形，於是本章將區分抬舉過程有三個時期如圖 4 所示為抬舉的整個過程分為 3 期：前

抬舉期、抬舉期、後抬舉期，而本研究在動力學的探討只針對後 2 期來進行探討，主要是因為在前抬舉期時身體支撐在箱物的握把上所以無法利用所建立的模式準確計算各關節的受力情形可能必須借助感測儀器方能量得但在力板分析方面因為是儀器量測所以可討論抬舉整個過程的壓力中心及正向反作用力的變化：

縱軸是箱子被抬舉高度，橫軸為抬舉時間：

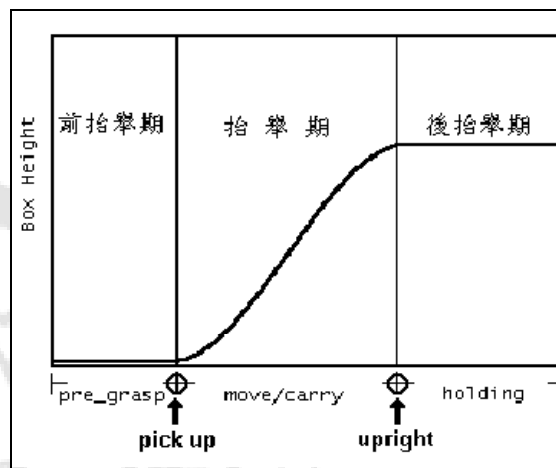


圖 4 抬舉作業分期

以箱子的被抬舉高度為縱軸，時間為橫軸：

- ┌ 前抬舉期(pre-grasp phase)：箱子尚未離地，受測者調整姿勢準備抬舉。
- ┌ 拾起(pick up)：箱子離地，受測者開始完全承受箱子的重量。
- ┌ 抬舉期(move/carry phase)：受測者完全承受箱子的重量，並將箱子由原來的位置移動到最終之位置。
- ┌ 身體完全直立(upright)：此時箱子已到達一定高度(最終位置)，身體完全直立。
- ┌ 後抬舉期(holding)：抬舉作業執行結束，受測者維持姿勢保持不動。

## 7.1 不同的握把角度與各關節所受合力及合力矩的相關性探討

### 1. 腕關節

表 1 分別表示腕關節在抬舉已知箱重的情況下，未知重心位置比較不同握把角度(0 度、10 度及 20 度)在 3 個方向的力及力矩的最小值時，建議應選用哪一握把角度？在表格內已填選的握把角度代表比較兩握把角度下，建議使用的角度而未填選握把角度的部

份表格代表比較兩握把角度並沒有明顯的差異性 ( $p>0.05$ )。

表 1 腕關節在未知重心位置的情況下，比較不同握把角度與三方向的力和力矩之相關性探討

Handle angle	0° vs 10°				0° vs 20°				10° vs 20°			
Box weight	24kg		34kg		24kg		34kg		24kg		34kg	
Right/Left hand	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
posterior shear force(Fx)	10*	10			20	20						
lateral shear force	0				0	0			0			10
axial force											20	
ulnar moment	0				0				0	10		10
flexion moment		10					20					
supination moment												

\* 代表抬舉已知箱重 24kg 且未知重心位置 (偏左、正中及偏右) 的情況下，比較握把角度 0 度及 10 度在右腕關節所承受 Fx 力量有明顯的差異性並且認為握把角度 10 度比起握把角度 0 度可能是較好的選擇，其餘則依類推。

## 2. 肘關節

肘關節在抬舉已知箱重的情況下，未知重心位置比較不同握把角度(0 度、10 度及 20 度)在 3 個方向的力及力矩的最小值時，建議應選用哪一握把角度?統計結果表示在肘關節所承受的力和力矩對於握把角度皆沒有明顯的影響( $p>0.05$ )。

## 3. 肩關節

表 2 分別表示肘關節在抬舉已知箱重的情況下，未知重心位置比較不同握把角度(0 度、10 度及 20 度)在 3 個方向的力及力矩的最小值時，建議應選用哪一握把角度?在表格內已填選的握把角度代表比較兩握把角度下，建議使用的角度而未填選握把角度的部份表格代表比較兩握把角度並沒有明顯的差異性( $p>0.05$ )。

表 2 肩關節在未知重心位置的情況下，比較不同握把角度與三方向的力和力矩之相關性探討

Handle angle	0° vs 10°				0° vs 20°				10° vs 20°			
Box weight	24kg		34kg		24kg		34kg		24kg		34kg	
Right/Left hand	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L	R	L
posterior shear force												
lateral shear force (Fy)			0*				0					
axial force											20	
abduction moment			0				0					
extension moment												
internal moment			0									

\* 代表抬舉已知箱重 24kg 且未知重心位置 (偏左、正中及偏右) 的情況下，比較握把角度 0 度及 10 度在右肩關節所承受 Fy 力量有明顯的差異性並且認為握把角度 0 度比起握把角度 10 度可能是較好的選擇，其餘則依類推。

## 7.2 抬舉過程平衡之探討

### 1. 壓力中心點軌跡(Center of Pressure, COP Locus)

抬舉時，壓力中心點軌跡隨著箱子重心位置的不同而出現不同的模式；大致而言，壓力中心軌跡與箱子重心偏移呈正相關，箱子重心偏左時，整個抬舉過程的軌跡偏向受測者左側，而箱子重心偏右時，軌跡亦較偏向受測者右側。

2. 力板正向反作用力(Fz)與左右腳正向反作用力偏移值(Fz\_offset)

藉由本實驗中二塊力板單獨收集左、右腳各自正向反作用力之值、在此我們另外計算出一個參數：左右腳正向反作用力偏移值(Fz\_offset):

$$Fz = \text{force\_z\#} fp1 + \text{force\_z\#} fp2$$

$$Fz\_offset = \frac{(\text{force\_z\#} fp1 - \text{force\_z\#} fp2)}{(\text{force\_z\#} fp1 + \text{force\_z\#} fp2)}$$

(force\_z#fp1 表示第一塊力板正向反作用力，force\_z#fp2 表示第二塊力板正向反作用力)

當偏移值為正數時，表示此時右腳負載較左腳多且若為負值則表示左腳負載較右腳多，結果發現在重心偏左時，較偏向於負值且重心偏右及正中時，較偏向於正值。

## 8. 討論

接下來是對以上腕、肘、肩關節抬舉箱重時，所受三方向的力及力矩和不同握把角度相關性的統計分析結合了 4 個問題來進行討論：

(問題一)：已知抬舉箱重(24kg和34kg)，但重心位置未知的情况下應選擇哪一種握把角度(0度、10度或20度)？

從表 3 可知在腕關節或肩關節抬舉箱物且未知重心位置時，以不同的力及力矩為目標，會建議使用者使用較不使關節受到傷害的握把角度。

表 3 從各關節在未知重心位置所受的力及力矩為目標，建議使用的握把角度

以三方向的力及力矩為目標	建議使用的握把角度
lateral shear force (Fy)(wrist joint)	握把角度 0 度
ulnar moment (Mx)(wrist joint)	握把角度 0 度
lateral shear force (Fy)(shoulder joint)	握把角度 0 度
abduction moment (Mx) (shoulder joint)	握把角度 0 度
posterior shear force(Fx)(wrist joint)	握把角度 10 度或 20 度
flexion moment (My)(wrist joint)	握把角度 10 度或 20 度

(問題二)：已知抬舉箱重(24kg和34kg)及重心偏左的情況下應選擇哪一種握把角度( 0度、10度或 20度)？

從表 4 可知在腕關節或肩關節抬舉箱物且重心偏左時，以不同的力及力矩為目標，會建議使用者使用較不使關節受到傷害的握把角度。

表 4 從各關節在重心偏左所受的力及力矩為目標，建議使用的握把角度

以三方向的力及力矩為目標	建議使用的握把角度
lateral shear force (Fy)(wrist joint)	握把角度 0 度
axial force (Fz) (wrist joint)	握把角度 20 度
axial force(Fz)(shoulder joint)	握把角度 10 度或 20 度
flexion moment (My)(wrist joint)	握把角度 10 度或 20 度
posterior shear force(Fx)(wrist joint)	握把角度 10 度或 20 度

(問題三)：已知抬舉箱重(24kg和34kg)及重心正中的情況下應選擇哪一種握把角度( 0度、10度或 20度)？

從表 5 可知在腕關節抬舉箱物且重心正中時，以尺側力矩(ulnar moment)為目標，會建議使用者使用較不使關節受到傷害的握把角度。

表 5 從各關節在重心偏左所受的力及力矩為目標，建議使用的握把角度

以三方向的力及力矩為目標	建議使用的握把角度
ulnar moment(Mx)(wrist joint)	握把角度 0 度

(問題四)：已知抬舉箱重(24kg和34kg)及重心偏右的情況下應選擇哪一種握把角度( 0度、10度或 20度)？

從表 6 可知在腕關節或肩關節抬舉箱物且重心偏右時，以不同的力及力矩為目標，會建議使用者使用較不使關節受到傷害的握把角度。

表 6 從各關節在重心偏左所受的力及力矩為目標，建議使用的握把

以三方向的力及力矩為目標	建議使用的握把角度
lateral shear force (Fy)(wrist joint)	握把角度 0 度
ulnar moment (Mx)(wrist joint)	握把角度 0 度
lateral shear force (Fy)(shoulder joint)	握把角度 0 度
supination moment (Mx)(wrist joint)	握把角度 10 度
axial force (Fz) (wrist joint)	握把角度 20 度
posterior shear force(Fx)(wrist joint)	握把角度 10 度或 20 度

## 9. 結論

由實驗所獲得的資料經統計分析之後，於是有下列幾點的結論：

1. 本研究續學者高偉騰所建立的三維運動學模式之後，依此模式所得運動學資料結果與其相符合，同時本實驗也建立三維動力學模式以探討各關節受力的情形且與實際抬舉的狀況相符合，並依此模型發現不同握把角度及慣用手與非慣用手的确會影響抬舉時關節受力的情形。
2. 從壓力中心的軌跡(Center Of Pressure locus, COP)圖來看，不難發現重心的偏移確實會造成身體的平衡穩定程度，尤其是在箱子越重且握把 0 度的情況下，x 方向軌跡變化的範圍越是有明顯增加的趨勢，同時從力板所量測而得的正向反作用力的偏移值可告知在重心偏左時會造成荷重會作用在左腳以及重心正中和重心偏右會造成荷重會作用在右腳。
3. 從動力學的角度來看，不同的握把角度會對於

抬舉過程關節受力有一明顯的影響，尤其是腕關節的部份，也就是最有可能造成傷害的地方而根據統計分析的結果發現握把角度 0 度在腕關節向後方向的剪力(posterior shear force, Fx)及屈曲力矩(flexion moment, My)比起握把角度 10 度及角度 20 度造成傷害的可能性較大，但相反的在肱骨外髁方向的剪力(lateral shear force, Fy)及尺側力矩(ulnar moment, Mx)，握把 0 度可能是最佳的選擇，其次造成傷害的地方是在肩關節。

本實驗針對受試者所做的問卷調查的結果，目的是要了解他們在抬舉不同握把角度的箱子時，其可接受的程度而結果發現大多的受測者較認同握把 10 度及 20 度，對於本實驗的調查結果與前學者以心物法所得的結果相符合。

## 參考文獻：

1. Ayoub, M, "Problems and solutions in materials handling: the state of the art." Ergonomics, 35: 713-728, 1992.
2. Weiner, JS, "The measurement of human workload." Ergonomics, 25: 953-965, 1982.
3. Mital, A, "Comprehensive maximum acceptable weight of lift database for regular 8-hour work shift." Ergonomics, 27: 1127-1138, 1984.
4. Davies, B, "Moving loads manually." Applied Ergonomics, 3: 190-194, 1972.
5. Anderson, K, and Chaffin, DB, "A biomechanical evaluation of five lifting techniques." Applied Ergonomics, 17: 2-8, 1986.
6. An, KN, Browne, AO, Korinek, S, Tanaka, S, and Morrey, BF, " Three-dimensional kinetics of glenohumeral elevation." Journal of Orthopaedic Research, 9: 143-149, 1991.
7. Drury, G, Begbie, K, Ulate, C, and Deeb, JM, "Experiments on wrist deviation in manual materials handling." Ergonomics, 28: 577-589, 1985.
8. Mital, A, and Manivasagan, "Maximum acceptable weight of load as a function of material density, center of gravity location, hand preference, and frequency." Human Factors, 25: 33-42, 1983.
9. Dempster, W, "Space requirements of the seated operator." WADC Technical Report, 55-159, 1955.
10. 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.