

# 雙手握力大小的差異性對抬舉姿勢的影響

## The Effects of difference of Grasp Forces on the Lifting Tasks

計劃編號: NSC 87-2213-E-041-001

執行期限: 86年8月1日至87年7月31日

主持人: 江昇修 嘉南藥理學院工業安全衛生系

### 1. 前言

「人工物料搬運」(Manual Materials Handling, M.M.H.)是指使用雙手來從事搬運的工作, 包括有抬舉(lifting)、提攜(carrying)、推頂(pushing & pulling)等作業項目, 而其中抬舉作業(lifting)的任務不僅是在現代自動化的工業界中, 勞工仍然免不了要執行的項目, 就連其他非勞工領域的人們在日常生活中皆偶爾需要面對的動作[1][2][3][4]。

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

根據眾多的研究報告顯示, 不當的抬舉作業方式會造成身體長期或短期的傷害[5][6][7][8][9], 其所引致的傷害賠償與治療需要付出相當大的社會與醫療成本; 這亦是人工物料搬運/抬舉作業引起了多個領域的專家們感到興趣而致力研究的主要原因[1][2][3][6][7][10]。

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][9][10]; 研究的焦點不外乎人體最大可承受抬舉重量、抬舉頻率、抬舉高度、下背區域受力情形、物件大小與重量的關係等等, 成果豐碩, 對於工業安全規範的確認訂定諸多裨益; 然而對於抬舉時上肢運動學與雙手握力對於抬舉時平衡的相關探討, 則略嫌不足; 所以本研究擬以一完整的上肢三維運動學生物力學數學分析模式來描述抬舉作業執行時上肢各關節運動情形, 並且對抬舉作業過程中的重心移動、慣用邊/非慣用邊握力差異之影響作探討; 期望建立一個可信賴的分析模式與資料庫供工業安全和臨床上參考。

### 3. 研究目的

在生物力學的研究領域中, 有關上肢三維運動學分析模型的建立已臻成熟; 本研究擬以動態分析系統來建立且描述不同握把角度、不同重量與重心偏移的箱子, 其抬舉作業執行時上肢的三維開放鏈(Open Chain)運動情形; 並藉由力板收集上述不同箱子狀況下, 抬舉過程地面反作用力與重心軌跡(Center Of Pressure, COP)移動情形, 進而合併受測者慣用邊/非慣用邊握力差異狀況作對稱性的探討。

本研究的目的包括:

1. 建立完整的抬舉時上肢三維運動學模式, 2. 並且藉其評估此模型在描述上肢開放鏈運動狀態下的適用性。
3. 分析上肢各關節在不同 4. 箱子狀況抬舉作業執行時運動模式。
5. 探討不同 6. 箱子狀況下抬舉時, 7. 對 8. 兩腳地面反作用力與 9. 地板重心軌跡(身體平衡)的影響, 10. 及其與 11. 慣用邊/非慣用邊, 12. 握力差異相關性。

### 4. 實驗方法

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

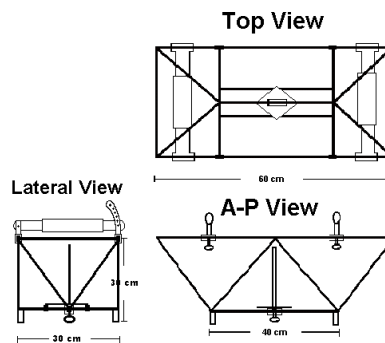


圖 1 抬舉模擬架

如圖 1，此抬舉模擬架係由 2.2 公分寬、1.2 公厘厚的不銹鋼方管焊接而成；此模擬架可作多角度的調整，把手部份可以每間隔水平 10 度做 0~30 度的調整，共有 4 個角度變化來模擬不同的握把角度；在底座上則設計一滑槽，容許砝碼插銷座作出左右方向的調整，其最大左/右偏移距離為 20 公分，本實驗將以砝碼插銷座的左/右偏移來模擬重心偏左/右的物體。

參與本研究的受測者為 8 位自願受測健康男性，年齡介於 23~28 歲，體重介於 58~73 公斤，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，慣用手皆為右手；每位受測者皆完成整個實驗流程。

首先建立一個完整的三維上肢生物力學-運動學的數學分析模型，並藉此分析兩側肩關節、肘關節和腕關節在整個抬舉過程中的運動模式。

目前生物力學-運動學的研究，多將人體的骨-肌肉系統以“肢段”(segment)的觀點作假設，將之視為多剛體，關節處以球窩關節(ball-and-socket joint)或鉸鏈關節(hinge joint)相連的多連桿系統；在本研究中，我們把兩上肢以及軀幹視為多剛體系統，每一上肢由三個肢段：手部(hand)、前臂(fore arm)和上臂(upper arm)組成，與軀幹(trunk)肢段形成左右共六個連接點的多連桿系統，如圖 2。

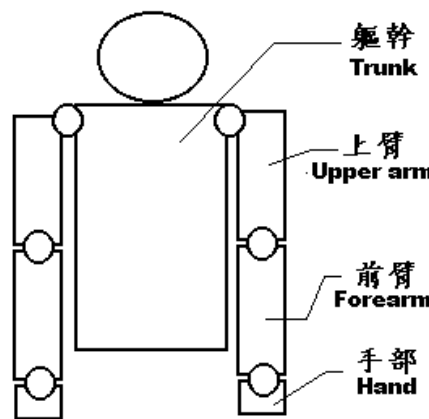


圖 2 將人體視為多剛體系統

並作以下之假設：

- 假設每一個肢段皆為密度均勻的剛體(Rigid Body)。
- 肢段間的連接點皆視為球窩關節(ball-and-socket joint)，c. 擁有 3 個自由度(Degree of Freedom, DOF)。
- 左右兩上肢的結構對稱。
- 抬舉執行的過程定義為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)。

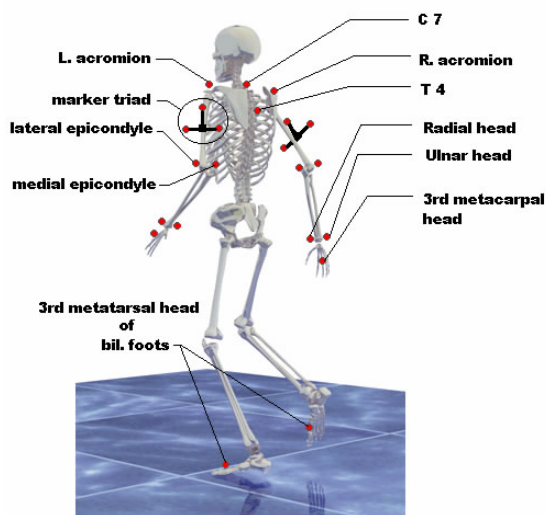


圖 3.反光球貼附位置示意圖

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 3rd metacarpal bone)。

如圖 3，每一個肢段上貼附反光球在上肢及軀幹的解剖位置上，在本運動學模型中，總共用了 20 顆反光球來定義兩邊上肢以及軀幹各自的局部座標系；另外在兩腳掌第三掌骨頭(3rd metatarsal head)各自貼附 1 顆反光球來偵看抬舉時兩腳的位置與移動否。為了計算抬舉時手部肢段相對於箱子握把的角運動情形、我們亦貼附三個反光球來定義箱子的局部座標系。

以各肢段上之反光球定義出各剛體肢段在空間中的旋轉矩陣(座標系)，可以利用旋轉矩陣來計算肢段間的角運動情形。

在本研究中，我們採取以浮動軸(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、肘關節以及手部肢段與握把相對角運動的部分則採取 Y'-X'-Z" (flexion/extension, adduction/abduction and axial rotation) 的旋轉順序來描述與分析，並於實驗進行時同步收集地面力板資料，計算地面反作用力與壓力中心點軌跡。

實驗前握力收集：收集受測者在握把間距分別為 2cm、2.5cm、3cm、3.5cm、4cm 下之兩手最大握力值(見表 3-2)，唯最大握力值收集與抬舉實驗之進行並不在同一天進行。

本實驗分成二個階段：第一階段所有受測者先行完成 30 公斤的抬舉,第二階段作 20 公斤與 35 公斤的抬舉，且在每一階段實驗結束之後隨即讓受測者填寫問卷；每位受測者第一階段與第二階段實驗間隔時間皆超過一週以上。

第一階段：

物重：30 公斤

握把角度：0、10、20、30.

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 12 組 30 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 4 段的握把角度搭配 3 個不同的重心位置，在這 12 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：20 公斤 與 35 公斤

握把角度：0、10、20、30。

重心偏移：

20 公斤：正中、向左偏移 15 公分、向右偏移 15 公分。

35 公斤：只有正中位置

受測者總共完成 16 組(12 組 20 公斤與 4 組 35 公斤)的抬舉作業，實驗程序與受測者注意事項如同第一階段。

## 5.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 28 筆動態空間座標值資料與 28 筆測力板資料。

(a)動態空間座標值資料處理：

利用 EVA 4.0 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，以個人撰寫之程式利用 Mat-lab 軟體計算每次抬舉過程中各關節角運動情形。

(b)測力板資料處理：

利用 EVA 4.0 軟體將測力板資料轉以 ASCII Code 輸出，以個人撰寫之程式利用 Mat-lab 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。

## 6.結果

為了方便資料的討論,本研究把抬舉過程簡單分為下列幾個時期:

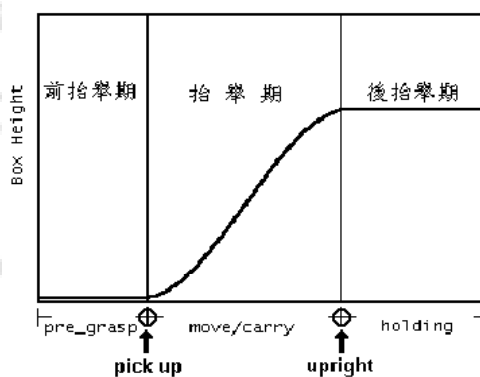


圖 4 抬舉作業分期

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。
- 抬起(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。

(a)關節角度運動

整體而言，在肩關節的角度變化範圍，當箱子重心正中時，不同握把角度下右肩關節的抬高平面變化範圍(plane of elevation)在統計上皆明顯大於左肩( $p=0.0001$ )；並且在三種不同箱子重心位置狀況、三種箱子重量的全部握把角度變因之下，左肩抬高(elevation)的角度變化亦皆明顯大於右肩( $p=0.0001$ )，而右肩的軸向旋轉角度變化範圍明顯大於左肩( $p=0.0001, p=0.0009$ )。

以箱子重心位置正中的情形來討論，右肩關節比左肩關節在抬高平面與軸向旋轉二個角度作出顯著的變化( $p=0.021, p=0.0009$ )，這之間的差異，個人認為可能與慣用邊/非慣用邊肩帶(shoulder

girdle) 之動作模式不同有關，二者間存在著不同的肌肉徵召模式與偏好來完成肉眼看似一樣的動作，而這種現象在重心偏左時依然明顯；重心偏右時，本研究中箱子重 30 公斤的資料群組則在抬高平面角變化範圍出現左肩顯著大於右肩的情形( $p=0.0038$ )，亦即隨著負荷重量的增加，右肩減少了在抬舉平面的角度調整，而且其調整範圍亦顯著小於物重 20 公斤箱子重心偏右時( $p=0.0143$ )。

肘關節的伸展/屈曲(Extension/Flexion)角度變化範圍在重心位置正中、箱子重 20 公斤與 30 公斤的二個群組之中，左手肘顯著地大於右手肘( $p=0.003, p=0.0365$ )，然這種差異在 35 公斤時就變得看不明顯了。在肘關節內縮/外展(Adduction/abduction)的角度變化範圍方面，本研究計算得出之結果略大於之前學者依類似座標系計算手肘旋轉角所得之數據，歸就其原因、個人覺得有二個可能：

1. 考慮因手肘伸展/屈曲(extension/flexion)所伴隨增加之手肘內收/外展角度(carrying angle)，本研究中受測者手肘的伸展/屈曲角度範圍均較大，故導致其出現較大範圍的內收/外展角度。

2. 本研究中肘關節內、外髁的標記點實際實驗時係由上臂之三反光球(marker triad)，在靜態姿勢下推算所得，於前抬舉期中受測者出現手肘先屈曲(flexion)再伸展(extension)的快速動作易造成上臂肢段表皮與肌肉部份作出軸向的扭曲，容易增加經由三反光球組在推算內、外髁位置時之誤差。

腕關節的角度變化範圍在左右手的差異更為明顯且一致；在每一種重心偏移與握把角度情況下，左手腕在屈曲/伸展(flexion/extension)與尺側偏向/橈側偏向(Ulnar deviation/Radial deviation)的角度變化範圍皆顯著大於右手腕 ( $p=0.0001, p=0.0001, p=0.0017$ )，本研究中受測者皆以右手為慣用手，數據顯示右手出現較小的角度變化，顯示在相同的任務條件之下，右手腕較左手腕多了一些控制與穩定的能力；握把角度的改變對肩關節與肘關節角度變化範圍並不顯著。

手掌與握把相對角度變化範圍隨著箱子重量的增加而顯著減少，當箱子較輕時(20kg)，手掌在握力許可的範圍內容許掌面與握把作出較大的角度變化，而使手腕維持在較少活動度的姿勢，對照 20 公斤與 30 公斤的手腕與滑脫角角度變化表可發現：當箱子重量增加(30kg)，使得抬舉時手掌必需要更好好握住握把，滑脫角顯著地比 20 公斤時小( $p=0.0068$ )，而這些角度由手腕吸收了(30 公斤時手腕屈曲/伸展與尺側/橈側偏向角度變化範圍顯著大於 20 公斤時( $p=0.0017, p=0.0138$ ))，左右手皆然，這同時容易增加手腕受傷的機率。

#### (b) 力板資料

##### 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(如圖 5)，而箱子重心偏右時，軌跡亦較偏向受測者右側(如圖 6)。

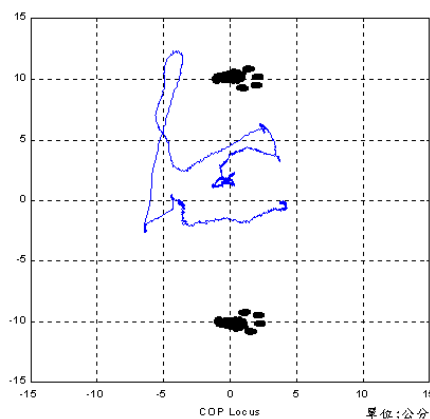


圖 5. 箱子重心偏左之壓力中心點軌跡

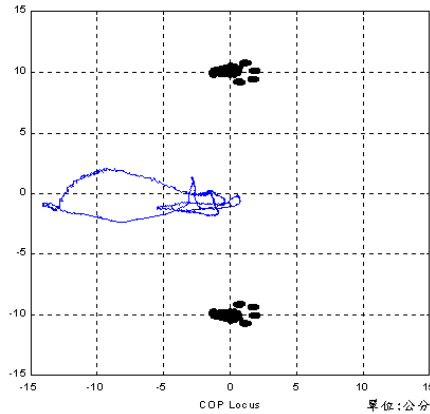


圖 6.箱子重心正中之壓力中心點軌跡

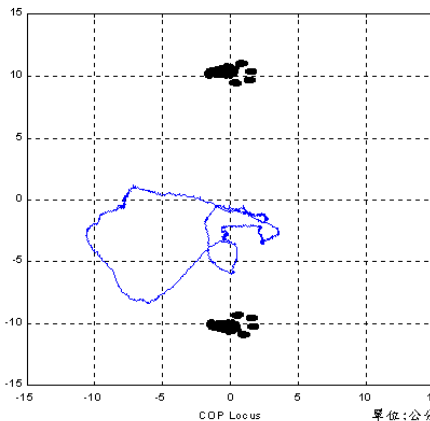


圖 7.箱子重心偏右之壓力中心點軌跡

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

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( $F_z\_offset$ ):

( $force\_z\#fp1$  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(百分比，%) 若為負值則表示左腳負載較右腳多(百分比，%)，其與時間為橫軸的曲線可告訴我們抬舉過程中重量偏移(weight shift)的變化。

圖 8.力板正向反作用力( $F_z$ )與左右腳正向反作用力偏移值( $F_z\_offset$ )

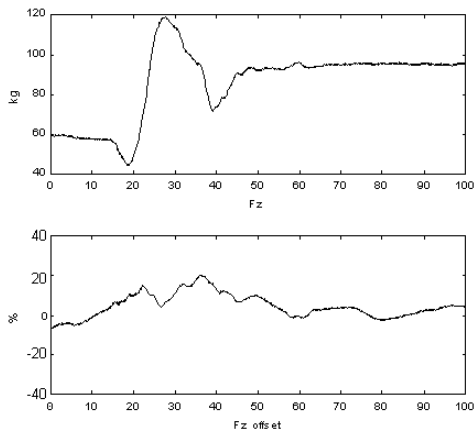
## 7.結論

由本次實驗，我們可以歸納出以下幾點結論：

1. 本次實驗建立之上肢運動學分析模式分析所得之結果符合真實現象，
2. 並經由此分析模型發現抬舉作業執行時在運動學與
3. 角運動範圍
4. 左右上肢存在有差異。
5. 在開放鏈(open chain)運動中本上肢運動學分析模型運算所得之三維手-握把介面相對
6. 角運動結果亦與
7. 實際情形相符，
8. 相較於之前學者所研究“滑脫角”、本運動學分析模型提供較為詳細的三維運動分析，
9. 研究抬舉過程中手部施力於握把的姿勢能更加清楚。
10. 透過二塊力板的分析、本研究中自行推算之左右腳正向反作用力偏移值( $F_z\_offset$ )與
11. 時間的曲線能更為迅速的偵看出抬舉過程負荷重量的轉移動態；本研究皆為執行正中矢狀面的抬舉，
12. 在力板壓力中心軌跡(COP locus)分析所得之資料，
13. 不同
14. 箱子重心位置即

會明顯影響其在左右方向的飄移趨勢，15. 當在更為極端的狀態之下、所造成對16. 身體平衡的影響是可預期的。

17. 在運動學探討發現慣用邊/非慣用邊腕關節的差異顯著，18. 慣用邊腕關節出現較小角運動範圍19. (ROM)，20. 係因為兩手間握力差異所造成，21. 惜本研究受測者群中未能依握力差異程度分出群組，22. 難以依程度區分來作統計比較；且若能增加額外之感測器偵測抬舉過程中手握力輸出情形(如:肌電訊號)、或手握握把上之壓力分布情形，23. 將24. 能更深入對25. 於手-握把介面作探討，26. 這亦是未來十分值得期待的研究方向。



握把角度的差異在本實驗並未出現明顯的統計意義，然在實驗後之問卷調查結果顯示過高與過低的握把角度均引起受測者負面的反應，這結果與之前學者以心物法所得之問卷結果相符。

#### 參考文獻：

1. Anil Mital 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.
2. Anil Mital. : "Comprehensive maximum acceptable weight of lift database for regular 8-hour work shift." *Ergonomics*, 27:1127-1138, 1984.
3. Anil Mital. : "Special-Issue Preface." *Human Factors*, 28:251, 1986.
4. Colin G. Drury, Chau-Hing Law, and Christopher S. Pawenski. : "A Survey of Industrial Box Handling." *Human Factors*, 24:553-565, 1982.
5. Anil Mital and Hamid F. Fard. : "Psychophysical and physiological responses to lifting symmetrical and asymmetrical loads symmetrically and asymmetrically." *Ergonomics*, 29:1263-1272, 1986.
6. G. Drury, J. M. Deeb, B. Hartman, S. Wooley, C. E. Drury, and S. Gallagher. : "Symmetric and asymmetric manual material handling. Part 1: physiology and psychophysics." *Ergonomics*, 32:467-489, 1989.
7. G. Drury, K. Begbie, C. Ulate, and J. M. Deeb. : "Experiments on wrist deviation in manual materials handling." *Ergonomics*, 28:577-589, 1985.
8. H. E. Kroemer, H. B. Kroemer, and K. E. Kroemer-Elbert. : "Ergonomics: how to design for ease and efficiency." Prentice-Hall, Inc. New Jersey, 1994.
9. M. Ayoub. : "Problems and solutions in materials handling: the state of the art." *Ergonomics*, 35:713-728, 1992.
10. P. de Looze, H. M. Toussaint, J. Ensink and C. Mangnus. : "The validity of visual observation to assess posture in a laboratory-simulated, manual material handling task." *Ergonomics*, 37:1335-1343, 1994.