

物料搬運工作對造成背部傷害可能性之 自動化評估系統

An Automated System for Evaluating the Possible
Low Back Injuries in Manual Material
Handling Task

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所

八十二年度研究計畫

物料搬運工作對造成背部傷害可能性之 自動化評估系統

計畫主持人：王茂駿 清華大學工業工程研究所教授
研究人員：黃冠傑 清華大學工業工程研究所碩士
黃亮凱 清華大學工業工程研究所博士班
張志宏 清華大學工業工程研究所博士班

行政院勞工委員會勞工安全衛生研究所
國立清華大學工業工程研究所 編印

中華民國八十二年六月

物料搬運工作對造成背部傷害 可能性之自動化評估系統

摘 要

人工物料搬運 (Manual Material Handling，簡稱 MMH) 工作已被証實是造成慢性下背部酸痛 (Chronic Low Back Pain) 的主要因素之一。本研究的目的就是希望能根據國人人體計測資料，建立一套方便使用的自動化人工物料搬運工作評估系統。

系統的發展主要是利用快速影像擷取系統自放影機中截取所需要的搬運動作，並結合電腦計算儲存功能，參考國人人體計測資料，以達成能自動地評估物料搬運工作中，下背部受力的情形，及受傷害的可能性之測量。並找出在整個物料搬運工作週期中，最具危害性的元素，以影像陳示其姿勢，並進而提出正確物料搬運或抬舉重物方式之建議。

本系統具備兩套介面設計，一套是採適合初學者使用之對話方式，另一套是適合熟練者使用之選單方式。系統的設計是以 C 語言撰寫，在撰寫的過程中建立了很多程式庫，這些的程式庫將有助於日後的研究與擴充。

關鍵字：人工物料搬運、慢性下背部酸痛、人體計測學、電腦視覺與影像處理。

An Automated System for Evaluating the Possible Low Back Injuries in Manual Material Handling Task

Abstract

It has been proven that manual material handling (MMH) task is one of the main risk factors that cause chronic low back pain. The purpose of this study is to develop an automated computer system for evaluating the possible low back injuries in manual material handling tasks.

The key idea of this system is to use computer vision technique to automatically assess the posture in the process of performing manual material handling tasks. The system can calculate the strains exerted in low back and different joints based on the anthropometric data and the biomechanical models. Then, the system can indicate the worst element during the manual material handling job cycle, and the disc compressive force compare with the specific damage load and compressive strength to predict the possible injury occurrence. Finally, some recommendations of correct material handling or lifting posture are given.

The system has two computer interfaces design. One is for the beginner in the dialogue form and the other is for expert in the menu form. The system is written in C Language and image processing libraries, biomechanical models, and anthropometric data base are built in the system. These will be very useful for future development.

Key words: Manual Material Handling, Chronic Low Back Pain, Anthropometry, Computer Vision, Image Processing.

目 錄

第一章 緒 論.....	1
第一節 研究之背景與問題之嚴重性.....	1
第二節 研究動機與目的	2
第三節 研究之方法與步驟.....	2
第二章 下背部評估模式	4
節一節 Chaffin 模式	5
第二節 Fish 模式	7
第三節 Morris 模式	8
第四節 Bejjani 模式	10
第五節 Leskinen 模式	11
第六節 Schultz 模式	12
第七節 下背部危害負荷界限與最大承受壓力	14
第三章 人體計測資料	14
第一節 國人男性與女性各年齡層之身高、體重資料	14
第二節 肢節長度相對於身高比例資料	19
第三節 肢節重量相對於體重比例	24
第四節 肢節質量中心資料	26
第五節 系統所採用的資料	28
第四章 系統設計之方法與原理	31
第一節 系統簡介	31
第二節 系統設計之基本原理	34
第三節 亮點之設計	37
第四節 關節點之尋找	38
第五節 關節點連線法則	40
第六節 利用影像量測肢節長度	41
第七節 系統之 2D 靜態評估模式	43
第五章 系統功能之介紹	44

第六章 系統之驗證與應用	46
第一節 系統之驗證	46
第二節 比較影像量測與直接輸入法結果之差異	48
第三節 比較系統模式之差異	50
第四節 系統之應用	52
第七章 結 論	55
參考文獻	57
附錄一 系統使用手冊	61
附錄二 系統流程圖	74
附錄三 範 例	75

第一章 緒 論

第一節 研究之背景與問題之嚴重性

人工物料搬運 (Manual Material Handling, 簡稱 MMH) 工作已被証實是造成慢性下背部酸痛 (Chronic Low Back Pain) 的主要因素之一。但在強調自動化生產的產業界，目前還是無法完全避免人工物料搬。根據報告大約有 50-80% 的人曾有受到下背部酸痛之苦 (Andersson 1976)。在英國約有百分之 20 的工業意外傷害是下背部傷害，其中百分之 50-60 是因物料搬運 (Troup, 1965)。以美國為例，全年因下背部傷害造成之損失（包括醫療成本與收入損失等）超過 300 億美金 (National Safety Council, 1972-84)。有關賠償性工作傷害中有三分之一到四分之一與 MMH 傷害有關，是相當大的數字，也是相當值得重視的問題。而在開發中的國家使用人工物料搬運的比率更高於已開發國家，其 MMH 傷害之問題更為之嚴重。在國內根據調查（吳水丕、彭游 1993），從事物料搬運的作業人員約有百分之 59 左右，曾因物料搬運而受到傷害。

目前傳統評估方法，包括流行病學、生物力學、生理學和心理學等四種方法。

流行病學法 (Epidemiological Approach) 旨在確認某一職業群體其疾病和傷害的發生頻率、分佈，得以發現那些因素或那些活動與下背部酸痛有關，並加以控制。

生物力學法 (Biomechanical Approach) 旨在建立當作業員從事物料搬運活動時作用於肌肉骨骼系統的壓力大小，並以壓力大小做為評估指標。

生理學法 (Physiological Approach) 經由研究証實心跳率和氧攝取量為相當不錯的生理反應效標，並根據所選擇的界限反過來決定抬舉的負載大小。

心理物理學法 (Psychophysical Approach) 旨在探討感覺與物理刺激兩者之間的關係根據現代心理學，感覺的強度 (S) 與物理刺激的強度 (I) 成乘幂關係 ($S=KI^n$) k, n 為常數。

這幾種評估方法的研究方向相當獨立，而且皆已有一段很長時間，但如果

單從一個方法來做評估，所得的結果可能會與另外一個方法相互違背，例如：在生物力學方法中，對搬運過重的物體，建議增加搬運次數，以減輕搬運重量；但如以生理學的觀點來看，則希望減少搬運次數，所以必需增加搬運重量。所以 Kumar(1992)建議需要整合各種評估方法，以利找到最好的搬運方式。

生理與心理覆雜的因素，是研究人的問題中最困難的地方，為簡化搬運物料的問題，在本研究中主要以生物力學的觀點，探討單一搬運動作時，下背部傷害之可能性。

第二節 研究動機與目的

在不當的姿勢下，提舉過大、過重的物體，或長期間的從事人工物料搬運工作均有可能造成腰部肌肉疲勞或拉傷，亦可能因此而導致椎間盤(Intervertebra) disc)，尤其是 L5/S1，發炎和變形或椎盤的突出而壓迫神經使得下背部疼痛。

在複雜的現場工作條件下，到底那些物料搬運工作具潛在的危險性，需要立即改善呢？近年來歐美國家對物料搬運工作投入相當的研究，相繼建立安全的標準與規範(NIOSH 1981)。反觀國內，因國人體型、體能及工作環境與國外並不相同，所以國外的標準與規範並不一定適用於國內；而在這方面的研究，國內還算在起步中。在研究的過程中研究者或管理者所缺乏的是一個簡易且方便使用的工具，此工具能使得他們很輕易的了解搬運過程中，搬運者之下背部所受之壓力大小，以利研究或管理上使用。

本研究的目的是希望能根據國人人體計測資料，建立一套方便使用的自動化人工物料搬運工作評估系統。如此將有助於國內現場管理者對這類工作進行自我評估和改善，並進而降低發生下背部傷害之可能性。因此，在本研究中收集了最新國人人體計測資料，以及生物力學分析模式，並發展出一套電腦化系統國人在進行人工物料搬運工作時，發生背部傷害的可能性。

第三節 研究之方法與步驟

1. 文獻蒐集

在資料的蒐集上，國人人體計測資料、評估模式之參考文獻與脊椎之最

大承受壓力等，是蒐集的主要方向。

2.選擇適當的材質用以表示關節點

在系統的設計中，最主要的方法仍是取用影像處理；也因為如此，所以必需找到適當的材質用以凸顯各關節點，且其必需盡可能達成兩個條件：(1)在不同的亮度下，其仍可突顯各關節點，(2)不致於妨礙搬運工作之進行。

所以需要以不同的材質，如反光片、小燈泡與發光二極體(LED)等，不斷取像，不斷測試與不斷改進設計，以減輕重量。

3.系統之撰寫與測試

本系統設計的目的，是在於提供一個簡單而且方便使用的工具，所以為方便評估者使用，本系統具備兩套介面設計，一套是採適合初學者使用之對話方式，另一套是適合熟練者使用之選單方式。這兩套系統使用共同的人體計測資料庫，及模式庫。

4.系統之應用

最後利用設計好的系統，實際對幾個搬運動作做分析，用以驗證系統之正確性。

第二章 下背部評估模式

本章節將針對生物力學模式進行探討，並擇優提供系統設計使用。

第一節 Chaffin 模式

Chaffin (1984)的模式是 2D 靜態模式中最具代表性者。其於 1969 已發現髖關節所產生的力矩與腹部所產生的壓力有密切的關係，並導出相關之方程式。其腹部壓力的計算方程式如下：

$$P_A = 10^{-4} [43 - .36(\theta'_H + \theta'_T)(M_H^{18})] \quad (1.1)$$

$\theta'_H + \theta'_T = 180$ - 由肩關節經髖關節至膝關節所成之角度。 P_A 是腹部所產生的壓力單位為毫米汞柱 (mm-Hg)， P_A 之最大值為 150 毫米汞柱，最小為 0（注意如以此方程式計算 P_A 是有可能為負值，例： $\theta'_H + \theta'_T$ 大於 120）。 $P_A \times 0.01333$ 單位為牛頓 / 平方公分 (N/cm²) $F_A = P_A \times 465$ 單位為牛頓（465 為橫隔膜面積 (cm²)）， M_H 是髖關節 (hip) 所產生的力矩。

其模式之架構是以骨骼肌肉系統為主，並考慮腹部所產生的壓力，利用槓桿原理與作用力平衡之關係，求得下背部之壓力與剪力。下面的方程式，就是以 L5/S1 為觀察點，(2) 是以槓桿平衡原理所得，(3) 與 (4) 是作用力之平衡。

$$\sum M_{L5/S1} = 0 \Rightarrow b(mg_{bw}) + h(mg_{load}) - D(F_A) - E(F_M) = 0 \quad (1.2)$$

$$\sum F_{comp} = 0 \Rightarrow \sin \alpha mg_{bw} + \sin \alpha mg_{load} - F_A + F_M - F_C = 0 \quad (1.3)$$

$$\sum F_{shear} = 0 \Rightarrow \cos \alpha mg_{bw} + \cos \alpha mg_{load} - F_S = 0 \quad (1.4)$$

mg_{bw} 是 L5/S1 以上之上半身重量， mg_{load} 是手握重物之重量， F_M 為背部之棘脊肌之作用力， F_C 是 L5/S1 上所產生的壓力 (Compression Force)， F_S 是 L5/S1 上所產生的剪力 (Shear Force)。其中 3 個方程式含 3 個未知數 (F_M , F_C , F_S)，所以可以求得 F_C 與 F_S 之解。（參考圖 2.1）

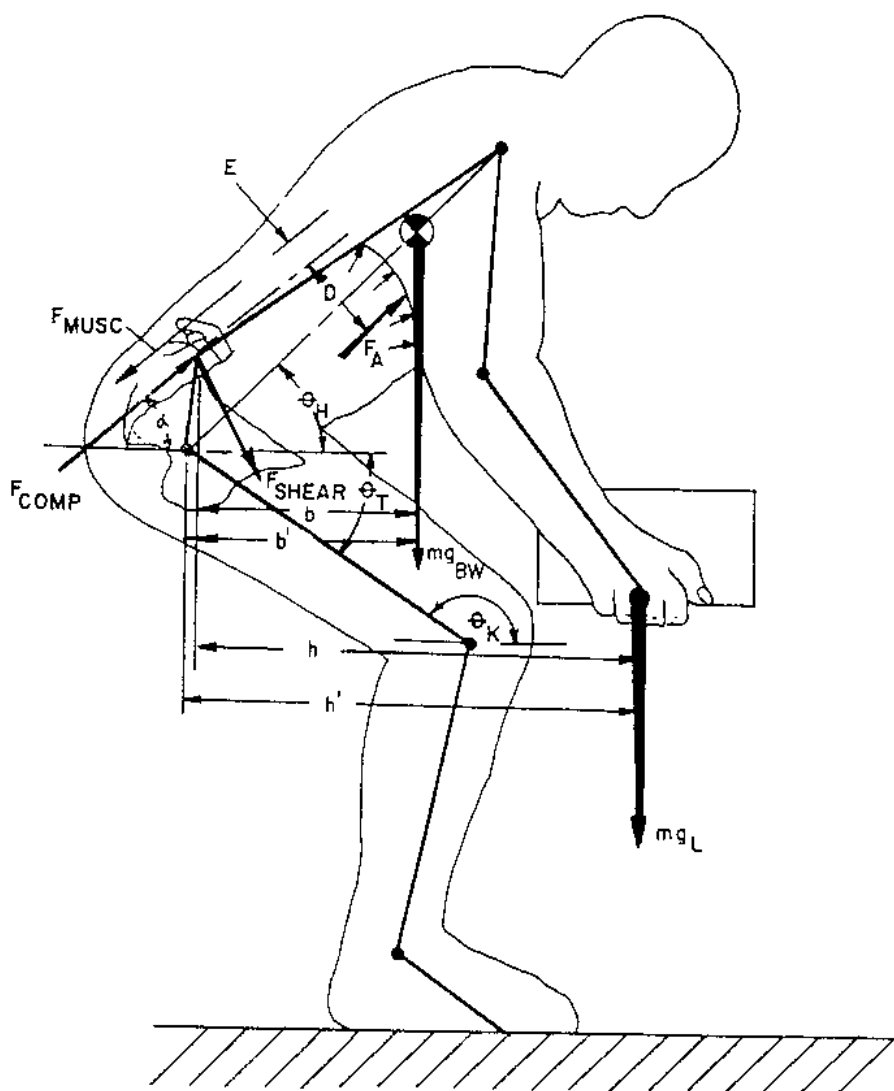


圖 2.1 Chaffin 模式

第二節 Fish 模式

Fish (1948) 模式是在可查的資料中，是最早建立的，亦屬 2D 靜態模式。其模式似乎已把肢節長度與重量參數化，所以其優點是計算方便。

$$x_1 = 0.1010L \sin \theta_1 \quad (2.1)$$

$$x_2 = 0.2337L \sin \theta_1 + 0.0827L \sin \theta_2 \quad (2.2)$$

$$x_3 = 0.2337L \sin \theta_1 + 0.1896L \sin \theta_2 + 0.1907L \sin \theta_3 \quad (2.3)$$

$$x_4 = 0.2337L\sin \theta_1 + 0.1896L\sin \theta_2 + 0.1907\sin \theta_3 \quad (2.4)$$

$$F_{es} = \frac{1}{.05}(0.363Mx_1 + 0.062Mx_2 + 0.050Mx_3 + Wx_4) \quad (2.5)$$

$$\tan \alpha = \frac{F_{es} \sin \theta_1}{F_{es} \cos \theta_1 + 0.531M + W} \quad (2.6)$$

$$R = \frac{F_{es} \sin \theta_1}{\sin \alpha}$$

M表工作者之體重，L表工作者之身高，W是手握重物之重量，R表下背部所產生的壓力， x_1 表軀幹之質量中心至L5/S1之水平距離， x_2 表上臂之質量中心至L5/S1之水平距離， x_3 表前臂之質量中心至L5/S1之水平距離， x_4 表持物點至L5/S1之水平距離， F_{es} 為背部之棘脊肌之作用力（參考圖2.2），(2.5)為槓桿平衡原理的結果，(2.6)以L5/S1為觀察點，則所有的作用力將與R相互產生平衡，所以把所有的作用力分為水平與垂直，則所成的角度會等於R作用所成的角度。(2.7)R的水平作用力會等於 F_{es} 的水平作用力。

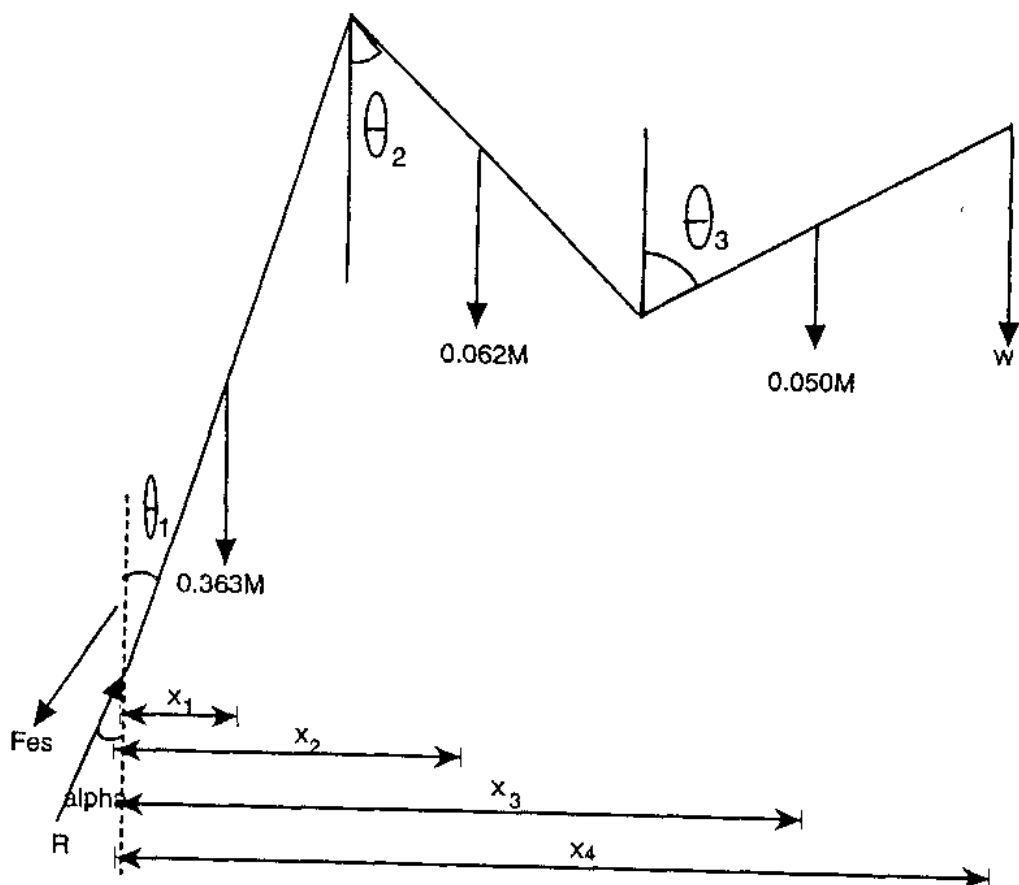


圖 2.2 Fish 模式

第三節 Morris 模式

Morris(1961)的模式亦是一個考慮腹部壓力的模式，其腹部壓力模式並不同於 Chaffin，其多考慮腹部長肌所產生的張力。

p ：腹部（橫隔膜）所產生的壓力， A_a ：腹部壓力作用的有效面積。 m ：腹部長肌所產生的張力， A_m ：腹部長肌作用的有效面積（參考圖 2.3）。

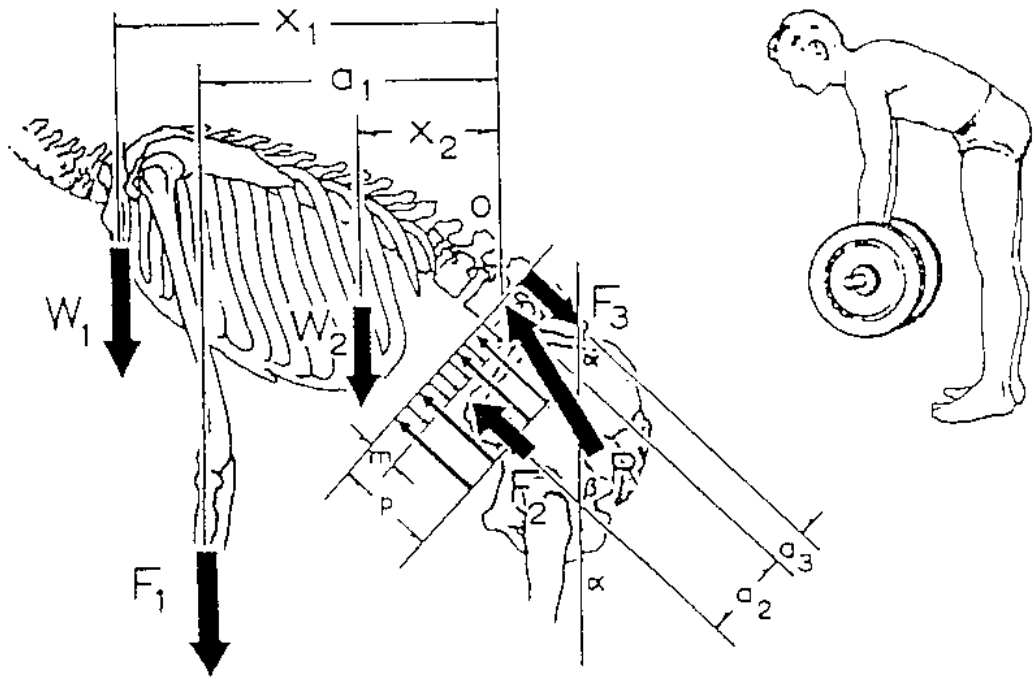


圖 2.3 Morris 模式

$$F_2 = pA_a - mA_m \quad (3.1)$$

$$\frac{W_1x_1 + W_2x_2 + F_1a_1 - F_2a_2}{a_3} = F_3 \quad (3.3)$$

$$R \cos \beta = W_1 + W_2 + F_1 + (F_3 - F_2) \cos \alpha \quad (3.3)$$

$$R \sin \beta = (F_3 - F_2) \sin \alpha \quad (3.4)$$

$$\frac{R \sin \beta}{R \cos \beta} = \tan \beta = \frac{(F_3 - F_2) \sin \alpha}{W_1 + W_2 + F_1 + (F_3 - F_2) \cos \alpha}$$

$$R = \frac{(F_3 - F_2) \sin \alpha}{\sin \beta}$$

第四節 模 式

Bejjani(1984)模式，視每一關節點的作用力皆有壓力與剪力，且以其合力(J_B)為主要關鍵力，但這個模式並未考慮腹部所產生的壓力。其中膝關節的作用力為其主要探討關節。在下背部的受力情況如圖 2.4：

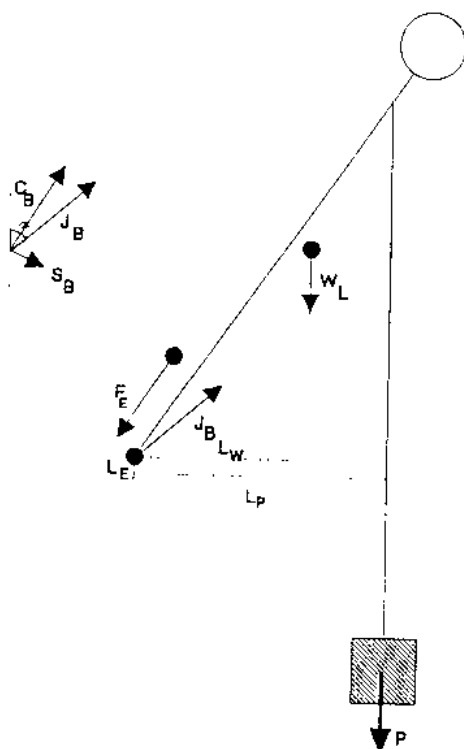


圖 2.4 Bejjani 模式(1)

$$F_E = \text{棘脊肌之作用力 (Erector Spinae Force)}$$

L_E = 棘脊肌力作用於 L4/L5 之力臂長

W_L = 頭部、軀幹與上肢之重量

L_w = 作用於 L4/L5 之力臂長

P = 負荷之重量

L_p = 作用於 L4/L5 之力臂長

J_B = 關節之反作用力

$C_B = \text{壓力 (Compression Force)}$

S_B = 剪力 (Shear Force)

$$F_E = [W_L \times L_w + P \times L_p] / L_E \quad (4.1)$$

$$C_B = W_L \cos \alpha + P \cos \alpha + F_E \quad (4.2)$$

$$S_B = W_L \sin \alpha + P \sin \alpha \quad (4.3)$$

$$J_B = \sqrt{C_B^2 + S_B^2} \quad (4.4)$$

膝關節的受力情況如圖 2.5:

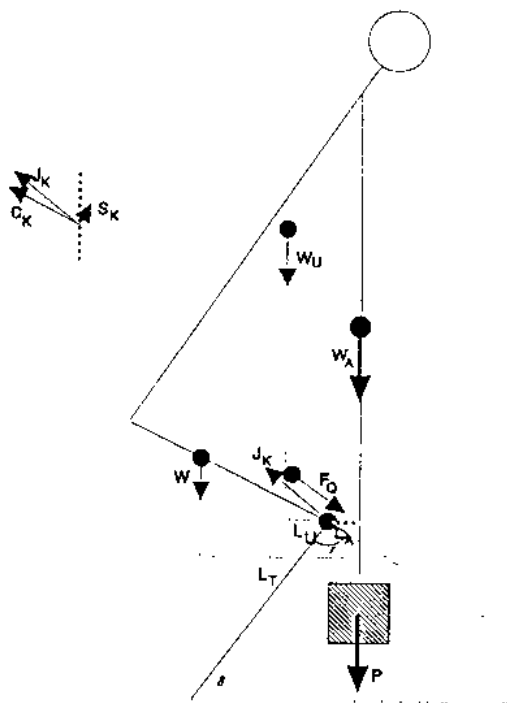


圖 2.5 Bejjani 模式(2)

W_U = 頭部與軀幹之重量

L_U = W_U 作用於膝關節之力臂長

W_T = 大腿之重量 W_A = 手臂之重量

L_T = W_T 作用於膝關節之力臂長

F_Q = 股四頭肌 (Quadriceps) 之作用力

$L_Q = L_P = L_A = F_Q, P, W_A$ 作用於膝關節之力臂長

J_K = 膝關節之反作用力

C_K = 膝關節之壓力 S_K = 膝關節之剪力

$$F_Q = \frac{1}{2} \times \frac{[-P \times L_p + W_L \times L_U - W_A \times L_A + W_T \times L_T]}{L_O} \quad (4.5)$$

$$C_K = \frac{(W_L + W_A + W_T + P)}{2} \times \sin(\gamma + \delta) + F_Q \quad (4.6)$$

$$S_K = \frac{(W_L + W_A + W_T + P)}{2} \times (-\cos(\gamma + \delta)) \quad (4.7)$$

$$J_K = \sqrt{C_K^2 + S_K^2} \quad (4.8)$$

第五節 Leskinen 模式

Leskinen(1983)模式是屬 2D 動態模式，其視每一關節點與質量中心皆有加速度，並可分為水平與垂直的加速度，再以此觀點推算下背部受力情況：（參考圖 2.6）

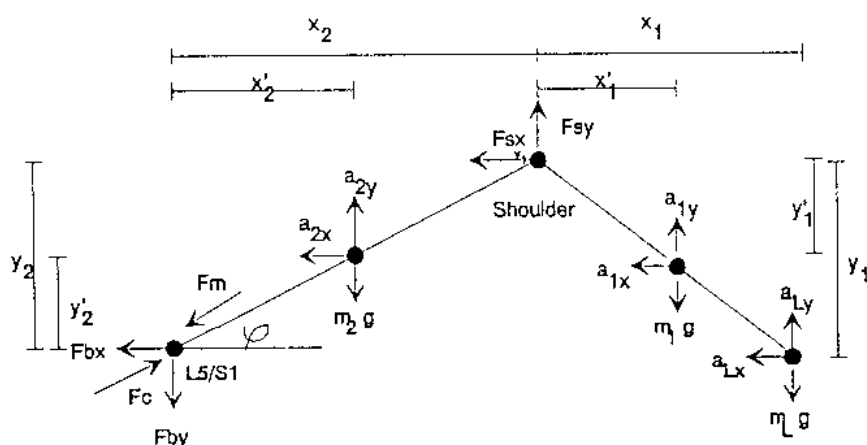


圖 2.6 Leskinen 模式

$$F_{sx} = m_L a_{Lx} + m_1 a_{1x} \quad (5.1)$$

$$F_{sy} = m_L (g + a_{Ly}) + m_1 (g + a_{1y}) \quad (5.2)$$

$$T_s = m_L (g + a_{Ly}) x_1 + m_1 a_{1x} y_1 + m_1 (g + a_{1y}) x'_1 + m_1 a_{1x} y'_1 + I_1 \alpha_T \quad (5.3)$$

m_L = 負荷之質量

m_1 = 第1段肢節之質量；

a_{Lx} , a_{Ly} = 負荷重物之水平與垂直加速度；

a_{1x} , a_{1y} = 第1段肢節之水平與垂直加速度；

- g = 重力加速度；
 x_1, y_1 = 由掌心至肩關節之水平與垂直距離；
 x'_1, y'_1 = 由第 1 段肢節之質量中心至肩關節之水平與垂直距離；
 I_1 = 第 1 段肢節之轉動慣量；
 α_1 = 第 1 段肢節之角加速度；
 $F_{bx} = F_{sx} + m_2 a_{2x}$ (5.4)
 $F_{by} = F_{sy} + m_2 (g + a_{2y})$ (5.5)
 $T_b = T_s + F_{sx} x_2 + F_{sy} y_2 + m_2 (g + a_{2y}) x'_2 + m_2 a_{2x} y'_2 + I_2 \alpha_2$ (5.6)
 $F_m = T_b / 0.05$ (5.7)
 $F_c = F_m + F_{bx} \sin \phi = + F_{bx} \cos \phi$ (5.8)
 ϕ : 水平與軀幹所夾之角度

第六節 Schultz 模式

Schultz(1981) 模式是由腰部橫切面的 10 塊肌肉所構成的模式，是屬 3-D 模式。其中共有 13 個作用力，包含肌肉張力、腹部壓力、下背部壓力與剪力等。作用力如圖 2.7 所示：

$$\begin{aligned}
 F_x &= (L_l - L_r) \sin \gamma + S_r \\
 F_y &= (I_l + I_r) \sin \beta - (X_l + X_r) \sin \delta + S_a \\
 F_z &= C + P - (E_l + E_r) - (R_l + R_r) - (I_l + I_r) \cos \beta - (L_l + L_r) \cos \gamma - (X_l + X_r) \cos \delta \\
 M_x &= y_e (E_l + E_r) - Y_r (R_l + R_r) + y_p p + y_l (L_l + L_r) \cos \gamma - y_o \{ (I_l + I_r) \cos \beta + (X_l + X_r) \cos \delta \} \\
 M_y &= x_e (E_r - E_l) + x_r (R_r - R_l) + x_l (L_r - L_l) \cos \gamma + x_o \{ (I_r - I_l) \cos \beta + (X_r - X_l) \cos \delta \} \\
 M_z &= y_l (L_r - L_l) \sin \gamma + x_o \{ (I_r - I_l) \sin \beta - (X_r - X_l) \sin \delta \}
 \end{aligned}$$

以上所刊之方程式是分別以作用力與作用力矩由 x, y, z 等三個方向所得。在如此複雜的條件下其解法有兩種：

- (1) 由假設條件求解：
先假設幾條肌肉沒有產生作用力，以降低變數個數。
- (2) 由線性規劃求得解：
利用線性規劃的方法求得最佳解。