

## 第參章、研究方法與步驟

本研究的方法與步驟分為七個部分加以說明：一、研究對象。二、實驗時間與地點。三、實驗儀器設備。四、實驗場地佈置。五、實驗步驟。六、實驗資料收集方法。七、實驗資料處理方法。

### 第一節、研究對象

本研究擬以國內優秀男性鉛球選手為對象，慣用旋轉式鉛球投擲技術之選手 1 名（目前國內排名第一），是有經驗的旋轉式鉛球投擲選手，訓練時間已經有四年（此選手以前使用背向滑步式）；慣用背向滑步式鉛球投擲技術之選手 1 名（目前國內排名第五），是初學旋轉式鉛球投擲動作的選手，訓練時間為一個月（此選手剛開始使用旋轉式），共 2 名男性鉛球選手為受試者。受試選手的基本資料列於表 3-1。

表 3-1：受試者基本資料

受試者	年齡	身高(cm)	體重(kg)	慣用投擲方式	比賽最佳成績(m)
S1	20	170	90	背向滑步式	14.67
S2	23	176	131	旋轉式	17.56

### 第二節、實驗時間地點

本研究之實驗時間：民國 92 年 1 月 26 日；實驗地點：國立臺灣師範大學分部田徑運動場之鉛球投擲場地。

### 第三節、實驗儀器設備

本實驗儀器設備分為資料收集部分、資料處理部分、其他部分：

一、資料收集部分：

- (一) Redlake 高速數位攝影機二台。
- (二) 三度空間標定參考架一座 (Peak Calibration Frame, 25 點)。

二、資料處理部分：

- (一) Kwon3D 3.0 Motion System 影像分析軟體。
- (二) Redlake CAMARA 影像擷取軟體。

三、其他部分：

- (一) 鉛球一個。
- (二) 插牌六個。
- (三) 皮尺一卷。
- (四) 號碼牌二組。
- (五) 攝影機腳架二個。
- (六) 遮陽傘二個。
- (七) 延長線三個。

## 第四節、實驗場地佈置

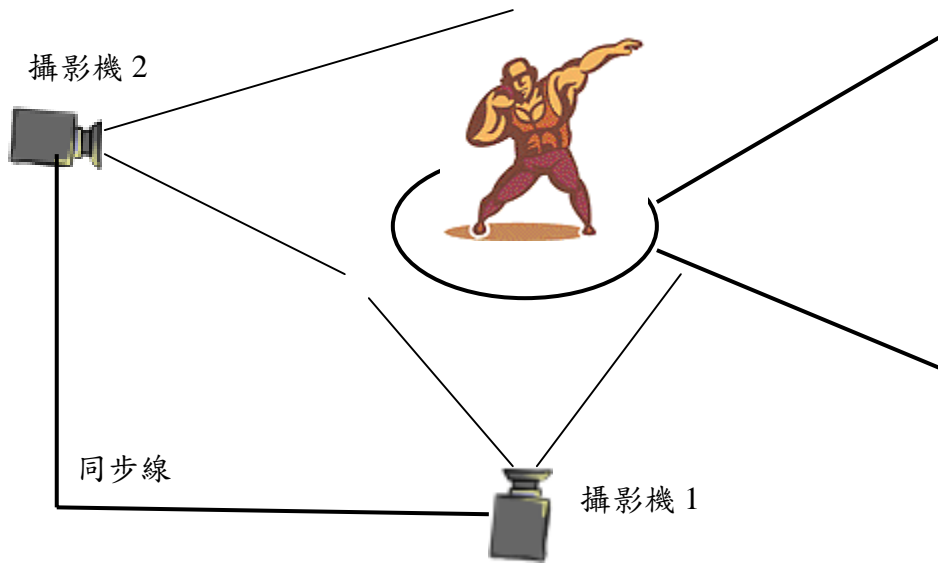


圖 3-1：實驗場地佈置

## 第五節、實驗步驟

本研究實驗過程如下：

- (一) 受試者填寫個人基本資料表，並告知其實驗過程、及此研究之目的。
- (二) 簽寫受試者同意書，並告知受試者隨時可以退出本實驗。
- (三) 要求受試者熱身 30 分鐘。
- (四) 將 Peak 三度空間標定參考架置於鉛球投擲圈內進行拍攝。
- (五) 正式拍攝時，要求受試者視此實驗如同正式比賽，盡全力投擲。
- (六) 二位受試者先站式投擲二次，之後進行投擲距離之測量。
- (七) 測量完投擲距離後，進行其慣用投擲方式的投擲，每人投擲六次。
- (八) 進行投擲距離之測量。

- (九) 進行其非慣用投擲方式的投擲，每人投擲四次。
- (十) 進行投擲距離之測量。
- (十一) 再次將 Peak 三度空間標定參考架置於鉛球投擲圈內進行拍攝。
- (十二) 取投擲距離最佳之三次慣用、非慣用投擲方式投擲動作進行及站式投擲分析。

## 第六節、實驗資料收集方法

本實驗利用二台 Redlake 高速數位攝影機(速度 125 Hz;快門 1/650 sec)進行受試者投擲動作影像之收集，一台置於與投擲方向垂直之位置拍攝受試者矢狀面的動作，另一台置於投擲方向向後延伸之位置拍攝受試者額狀面的動作。

## 第七節、實驗資料處理方法

本實驗所得的影像資料，透過 Redlake CAMARA 影像擷取軟體將之轉換成 Kwon3D 3.0 動作分析系統可讀取之壓縮格式，，之後再由 Kwon3D 3.0 動作分析系統進行直間線性轉換 (DLT) 與各參數的運算，其中三度空間的絕對直角座標與場地的相對關係如圖 3-2 所示，鉛球投擲方向定義為 Y 軸，垂直方向定義為 Z 軸，與投擲方向垂直的方向定義為 X 軸。

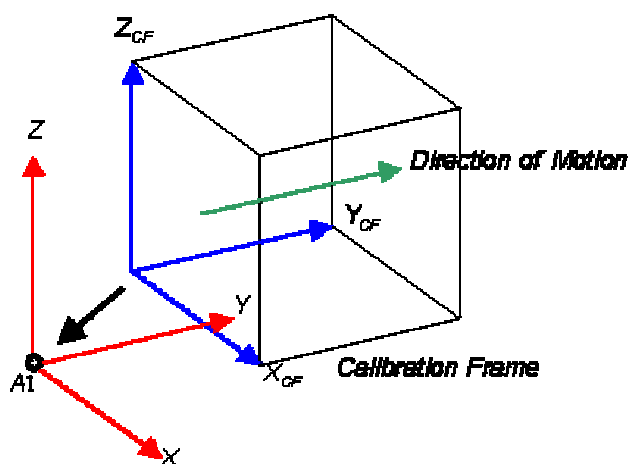


圖 3-2：三度空間絕對直角座標與場地座標的相對關係

### 一、人體肢段模型

在人體模型方面，設定關節位置共二十一個標誌點 (Landmark)，以及鉛球重心一個標誌點，此外，將人體簡化成十四個肢段 (Segment) (見圖 3-3)，且將人體的運動假定是各肢段密度相等的剛體 (Rigid Body) 結構，肢段參數採用 Kwon3D 3.0 動作分析系統之內建參數 (見表 3-1)。以肢段近端及遠端的兩個點 (關節點) 來代表肢段位置，頸部包含在頭部內，軀幹則不考慮脊椎的彎曲。

表 3-2：人體肢段參數

	肢段重心 位置 (CM)(%)	肢段 重量 (Mass)(%)	肢段轉動 慣量-額狀軸 (Ixx)(%)	肢段轉動 慣量-矢狀軸 (Iyy)(%)	肢段轉動 慣量-縱軸 (Izz)(%)
軀幹	47.66	46.84	25.55	31.82	15.17
頭	50.00	8.26	25.82	26.47	28.36
上臂	43.60	3.25	29.98	30.69	12.08
前臂	43.00	1.87	28.80	29.23	10.35
手掌	46.80	0.65	46.28	50.84	25.59
大腿	43.30	10.50	32.04	31.51	13.58
小腿	43.40	4.75	29.18	29.18	7.67
足	50.00	1.43	25.69	26.94	12.45

(一) 二十一個人體標誌點 (Landmark) 為：

頭的中心位置、右耳、左耳、右肩關節、左肩關節、右手肘關節、左手肘關節、右手腕關節、左手腕關節、右中指根部、左中指根部、右關節、左關節、右踝關節、左踝關節、右腳跟、左腳跟、右腳尖、左腳尖。

(二) 十四個人體肢段 (Segment) 為：

頭、軀幹、右上臂、左上臂、右前臂、左前臂、右手掌、左手掌、右大腿、左大腿、右小腿、左小腿、右足、左足。

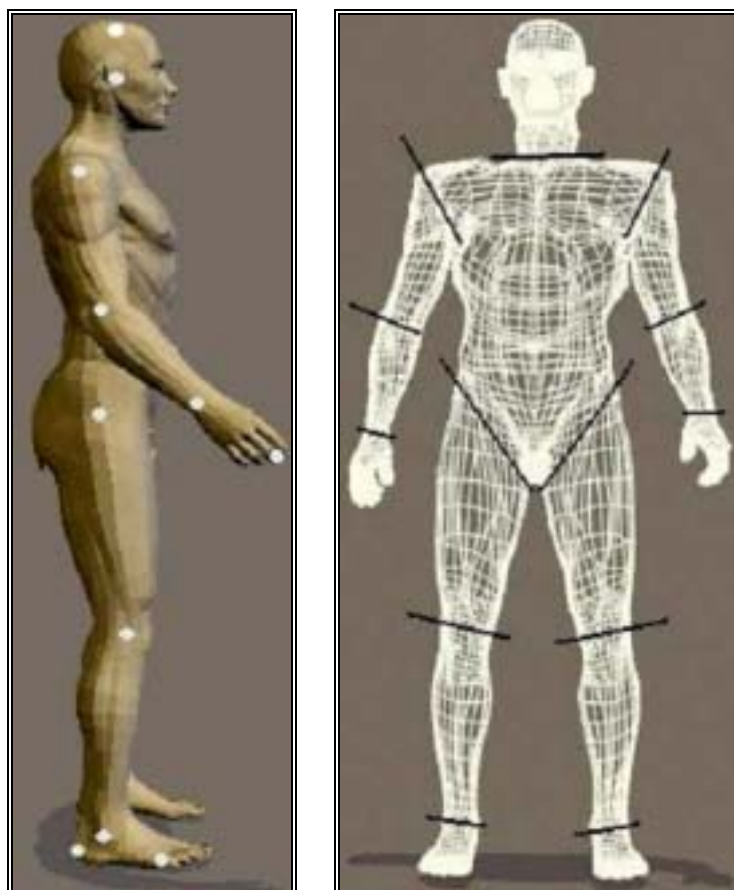


圖 3-3：人體標誌點、肢段模型

## 二、運動學資料數位化的過程

本研究是使用 Kwon3D 3.0 動作分析系統，分別點取二部攝影機鉛球投擲動作的人體二十一個關節標誌點及一個鉛球標誌點，透過三度空間座標系統資料的直接線性轉換後，即可獲得實際的三度空間座標值。有關整個數位化的原理與過程說明如下：

### (一) 直接線性轉換 (DLT)

利用影片分析三度空間座標時，取影片座標與空間座標的線性關係來計算空間座標的方法，稱為直接線性轉換法 (DLT)，它必須以控制點來計算轉換常數，並依兩部攝影機的轉換常數來計算空間座標 (王金成等

人，1990)。其計算攝影機常用的方法，是以 12 個方程式計算 11 個轉換常數，方法如下：

設 攝影機號碼  $i=1,2$  ； 控制點號碼  $j=1,2,\dots,n$

$U_{ij}$  = 控制點  $j$ 、攝影機  $i$  的水平座標

$V_{ij}$  = 控制點  $j$ 、攝影機  $i$  的垂直座標

$A\sim K$  為轉換常數 ；  $x、y、z$  為控制點的空間座標

其線性關係如下：

$$U_{ij} = \frac{A \cdot x_j + B \cdot y_j + C \cdot z_j + D}{E \cdot x_j + F \cdot y_j + G \cdot z_j + 1}$$

$$V_{ij} = \frac{H \cdot x_j + I \cdot y_j + J \cdot z_j + K}{E \cdot x_j + F \cdot y_j + G \cdot z_j + 1} \dots\dots\dots (1)$$

利用六個以上的控制點，即可將方程式以行列式表示，並以最小平方  
法 (Least Square Method) 計算出  $A\sim K$  共 11 個轉換常數，其寫法如下：



$$\begin{bmatrix}
 x_1 & y_1 & z_1 & 1 & -U_1x_1 & -U_1y_1 & -U_1z_1 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_2 & y_2 & z_2 & 1 & -U_2x_2 & -U_2y_2 & -U_2z_2 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_3 & y_3 & z_3 & 1 & -U_3x_3 & -U_3y_3 & -U_3z_3 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_4 & y_4 & z_4 & 1 & -U_4x_4 & -U_4y_4 & -U_4z_4 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_5 & y_5 & z_5 & 1 & -U_5x_5 & -U_5y_5 & -U_5z_5 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 x_6 & y_6 & z_6 & 1 & -U_6x_6 & -U_6y_6 & -U_6z_6 & 0 & 0 & 0 & 0 \\
 & & & & \cdot & & & & & & \\
 & & & & \cdot & & & & & & \\
 & & & & \cdot & & & & & & \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_1x_1 & -V_1y_1 & -V_1z_1 & x_1 & y_1 & z_1 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_2x_2 & -V_2y_2 & -V_2z_2 & x_2 & y_2 & z_2 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_3x_3 & -V_3y_3 & -V_3z_3 & x_3 & y_3 & z_3 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_4x_4 & -V_4y_4 & -V_4z_4 & x_4 & y_4 & z_4 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_5x_5 & -V_5y_5 & -V_5z_5 & x_5 & y_5 & z_5 & 1 \\
 0 & 0 & 0 & 0 & -V_6x_6 & -V_6y_6 & -V_6z_6 & x_6 & y_6 & z_6 & 1 \\
 & & & & \cdot & & & & & & \\
 & & & & \cdot & & & & & & \\
 & & & & \cdot & & & & & &
 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} A \\ B \\ C \\ D \\ E \\ F \\ G \\ H \\ I \\ J \\ K \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 \\ U_2 \\ U_3 \\ U_4 \\ U_5 \\ U_6 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \\ V_1 \\ V_2 \\ V_3 \\ V_4 \\ V_5 \\ V_6 \\ \cdot \\ \cdot \\ \cdot \end{bmatrix}$$

在求得轉換常數後，即可依轉換常數建立空間座標方程式，其方法即將 A~K 代入方程式 (1) 中，並由二部攝影機的平面數位化資料，以最小平方方法 (Least Square Method) 求解 x、y、z，其方程式如下：

$$\begin{bmatrix} A_1 - E_1U_1 & B_1 - E_1U_1 & C_1 - E_1U_1 \\ H_1 - EV_1 & I_1 - EV_1 & J_1 - EV_1 \\ A_2 - E_2U_2 & B_2 - E_2U_2 & C_2 - E_2U_2 \\ H_2 - E_2U_2 & I_2 - E_2U_2 & J_2 - E_2U_2 \end{bmatrix} \cdot \begin{bmatrix} x \\ y \\ z \end{bmatrix} = \begin{bmatrix} U_1 - D_1 \\ V_1 - K_1 \\ U_2 - D_2 \\ V_2 - K_2 \end{bmatrix}$$

由於三度空間參考座標架上的控制點之座標為已知值 (實際測量而得)，故可以均方根 (Root Mean Square) 法，求得此直接線性轉換法的估計誤差值，其算法如下：

$$E_{RMS} = \frac{\sqrt{\sum (X_R - X_i)^2}}{N} \dots\dots\dots (2)$$

其中  $X_R$  為參考值， $X_i$  為實測值。

## (二) 資料的修勻

從影片轉換過來的座標數據稱為「原始數據」(Raw Data)，而原始數據中常常參雜有干擾 (noise)，這些干擾的來源包括攝影機的震動、數位化過程的人為判斷誤差或是轉換過程中的一些隨機誤差...等 (Winter, 1990)，所以，利用數字平滑技術以降低誤差的方法就顯得相當重要。

本研究採用的平滑方法是 Kwon3d 3.0 動作分析系統提供的零相位移數位濾波法 (Butterworth Fourth-order Zero Lag Digital Filter) 將數位化後的原始資料加以修勻，其修勻的方程式如：

$$X^1(nT) = a_0X(nT) + a_1X(nT-T) + a_2X(nT-2T) + b_1X^1(nT-T) + b_2X^1(nT-2T) \dots\dots (3)$$

$X^1$ ：為修勻後的座標資料

$X$ ：為未修勻的原始座標資料

$nT$ ：為第  $n$  個採樣畫面

$(nT-T)$ ：為第  $n-1$  個採樣畫面

$(nT-2T)$ ：為第  $n-2$  個採樣畫面

$a_0 \dots b_2$ ：為過濾係數

本研究的數位濾波法中，選用的截止頻率（Cutoff Frequency）是 6 Hz；修勻的方代是以原始數據帶入公式（3）中從頭至尾過一次，是為二階低通濾波（Butterworth-type low-pass filter of second order），可是這將會在截止頻率處有 90 度的滯後相移（phase lag），而產生相失真（phase distortion），所以為了消除此滯後相移的情形，則再將修勻後的資料自尾至頭修勻一次，使相位前移 90 度，此即為零相位移數位濾波法。

### （三）速度與加速度的計算方法

假設位移的資料為  $d_i$ ， $i=1、2、\dots、n$ （ $i$  為影片張數）

$\Delta t$  為影片與影片間的時間間隔

#### 1、速度的計算方法

當  $i=1$  時，速度

$$V_1 = \frac{-d_3 + 4d_2 - 3d_1}{2\Delta t}$$

當  $i=2, \dots, n-1$  時，速度

$$V_i = \frac{d_{i+1} - d_{i-1}}{2\Delta t}$$

當  $i=n$  時，速度

$$V_n = \frac{d_{n-2} - 4d_{n-1} + 3d_n}{2\Delta t}$$

#### 2、加速度的計算方法

當  $i = 1$  時，加速度

$$a_1 = \frac{2d_1 - 5d_2 + 4d_3 - d_4}{\Delta t^2}$$

當  $i = 2, n-1$  時，加速度

$$a_i = \frac{d_{i+1} - 2d_i + d_{i-1}}{\Delta t^2}$$

當  $i = 3$  時，加速度

$$a_i = \frac{0.0833 (-d_{i+2} + 16d_{i+1} - 30d_i + 16d_{i-1} - d_{i-2})}{\Delta t^2}$$

當  $i = n$  時，加速度

$$a_i = \frac{d_{n-3} - 4d_{n-2} - 5d_{n-1} + 2d_n}{\Delta t^2}$$

### (三) 肢段角動量的計算方法

假設肢段為  $i$ ,  $i$  肢段的角動量  $H$  為：

$$\begin{aligned} H &= \sum_i H_i \\ &= \sum_i (H_{Ri} + H_{Li}) \dots\dots\dots (1) \end{aligned}$$

上式 (1) 之一

$H_{Ri} = i$  肢段相對於身體重心之角動量

$H_{Li} = i$  肢段本身之角動量

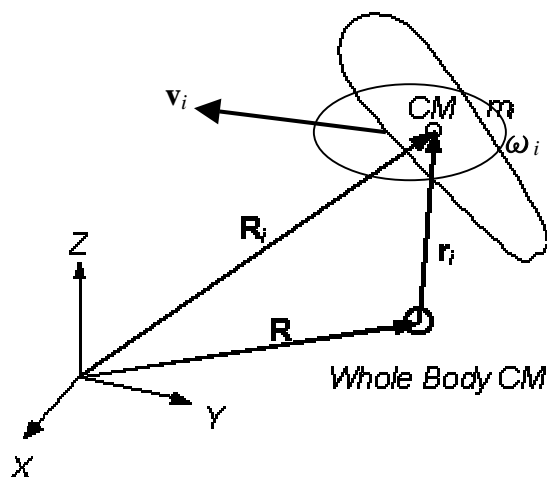


圖 3-4：肢段之角動量計算示意圖

$$\begin{aligned} \mathbf{H}_{R_i} &= \mathbf{r}_i \times \mathbf{p}_i = m_i \mathbf{r}_i \times \mathbf{v}_i \\ \mathbf{H}_{L_i} &= \mathbf{I}_{CM_i} \boldsymbol{\omega}_i \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (2)$$

上式 (2) 之一

$\mathbf{r}_i = i$  肢段重心相對於身體重心之旋轉半徑

$\mathbf{v}_i = i$  肢段重心相對於身體重心之直線速度

$\mathbf{I}_{CM_i} = i$  肢段本身之轉動慣量

$\boldsymbol{\omega}_i = i$  肢段本身之角速度

由 (1) (2) 式，得到下式

$$\begin{aligned} \mathbf{H} &= \sum_i (m_i \mathbf{r}_i \times \mathbf{v}_i + \mathbf{I}_{CM_i} \boldsymbol{\omega}_i) \\ &= \sum_i (m_i \mathbf{r}_i \times \mathbf{v}_i) + \sum_i \mathbf{T}_{i/G}^T \mathbf{I}_{CM_i}^{(i)} \mathbf{T}_{i/G} \boldsymbol{\omega}_i \end{aligned} \quad \dots\dots\dots (3)$$

上式 (3) 之一

$$\mathbf{I}_{CM}^{(i)} = \begin{bmatrix} I_{xxi} & 0 & 0 \\ 0 & I_{yyi} & 0 \\ 0 & 0 & I_{zz i} \end{bmatrix}$$

$\mathbf{T}_{i/G} = i$  肢段本身座標之轉換矩陣

$\mathbf{I}_{CM} =$  肢段相對於本身重心之轉動慣量