

# 第三部分：動作分析

## 基本力學概念

### 一、標量和矢量

標量（亦作無向量） 只有大小（或量值）， <b>不涉及</b> 方向。	矢量（亦作向量） 同時具有大小（或量值）及 <b>涉及</b> 方向。
例：時間、質量、長度、面積、體積、距離、速率等。	例：力、位移、速度、加速度等。
速率 = $\frac{\text{距離}}{\text{時間}}$	速度 = $\frac{\text{位移}}{\text{時間}}$ 加速度 = $\frac{\text{速度的變化}}{\text{時間}}$ = $\frac{\text{最終速度} - \text{初始速度}}{\text{時間}}$

### 二、牛頓定律

#### A. 牛頓第一定律（慣性定律）

- 除非受外力作用迫使物體改變其狀態，物體趨於保持靜止或向同一方向作勻速直線運動。
- 破壞靜態慣性例子：
  - 短跑運動員在起跳前處於靜止狀態；起跳時需要用力蹬地 / 蹬起跑器，以克服慣性，推動身體向前。
  - 游泳運動員在起跳前處於靜止狀態；起跳時需要用力蹬池面 / 蹬跳台，以克服慣性，推動身體向前。
  - 跳遠運動員在起跳前處於靜止狀態；起跳時需要用力踏板，以克服慣性，推動身體躍前。
  - 跳高運動員在起跳前處於靜止狀態；起跳時需要用力蹬地，以克服慣性，推動身體躍起向上。
  - 跳水運動員在起跳前處於靜止狀態；起跳時需要用力踏跳板 / 踏跳台，以克服慣性，推動身體向上躍起。
  - 排球 / 籃球運動員在起跳前處於靜止狀態；起跳時需要用力蹬地，以克服慣性，推動身體向上躍起。
- 破壞動態慣性例子：
  - 室內短跑運動員衝過終點後，慣性會使其有繼續衝前的趨勢，終點之後放置軟墊，就可以降低衝前的力量。
  - 跳高運動員越過橫杆後，慣性會使其有繼續墮下的趨勢，地面上放置軟墊，就可以降低墮下的撞擊力。

## B. 牛頓第二定律（加速度定律）

- 物體的加速度與它所受的力的大小成正比，並和它的質量成反比；物體加速度的方向與所受的力的方向相同。
- 力 (F) = 物體的質量 (m) × 加速度 (a)
- 例子：
  1. 扣球（排球 / 羽毛球）的力量越大，球的加速度越大，防守就越困難。
  2. 擊球（棒球 / 哥爾夫球 / 羽毛球）的力量越大，球的加速度越大，球就去得越遠。
  3. 擊球（羽毛球 / 乒乓球）的力量越大，球的加速度越大，球就去得越快。
  4. 傳球（籃球 / 足球 / 手球）的力量越大，球的加速度越大，球就去得越遠。
  5. 蹬離地面 / 起跑器（短跑）的力量越大，人體的加速度越大，跑得就越快。
  6. 蹬離池面 / 跳台（游泳）的力量越大，人體的加速度越大，跳得就越遠。
  7. 踏板起跳（跳遠）的力量越大，人體的加速度越大，跳得就越遠。
  8. 蹬地起跳（跳高、球類的起跳）的力量越大，人體的加速度越大，跳得就越高。

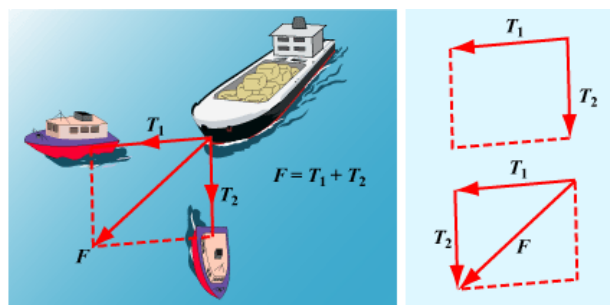
## C. 牛頓第三定律（作用與反作用定律）

- 當一個物體的力作用於另外一個物體時，第二個物體必然會對第一個物體產生一個大小相等但方向相反的反作用力。
- 例子：
  1. 跳高運動員用力蹬地時，力作用於地面，地面亦會產生一個大小相等但方向相反的反作用力，使運動員躍離地面。
  2. 短跑運動員用力蹬地面 / 蹬起跑器時，力作用於地面 / 起跑器，地面 / 起跑器亦會產生一個大小相等但方向相反的反作用力，使運動員蹬離地面 / 蹬離起跑器。
  3. 跳遠運動員用力踏板時，力作用於踏板，踏板亦會產生一個大小相等但方向相反的反作用力，使運動員蹬離踏板。
  4. 游泳運動員用力蹬池面 / 蹬跳台時，力作用於池面 / 跳台，池面 / 跳台亦會產生一個大小相等但方向相反的反作用力，使運動員蹬離池面 / 蹬離跳台。
  5. 游泳運動員用力蹬向池邊轉身時，力作用於池邊，池邊亦會產生一個大小相等但方向相反的反作用力，使運動員轉身後繼續向前。
  6. 跳水運動員用力踏跳板 / 踏跳台時，力作用於跳板 / 跳台，跳板 / 跳台亦會產生一個大小相等但方向相反的反作用力，使運動員向上躍起。
  7. 球墮地時，墮地的力作用於地面，地面亦會產生一個大小相等但方向相反的反作用力，使球向上彈起。

## 三、合力

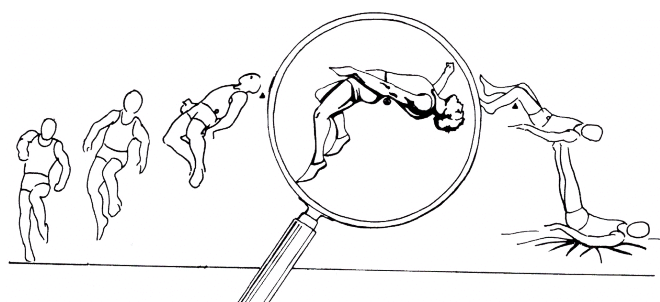
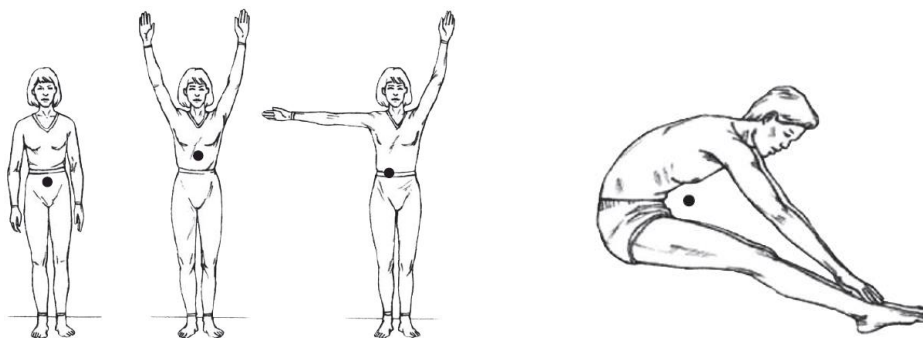
- 力是物體與物體之間的「推」、「拉」作用，它可以引致靜止的物體產生運動，也可以使運動中的物體加速、減速或改變方向。
- 兩個或更多的力同時作用於一個物體時產生的綜合矢量，稱為合力。

- 合力可以利用一個「**力平行四邊形**」來計算其量值和方向性。

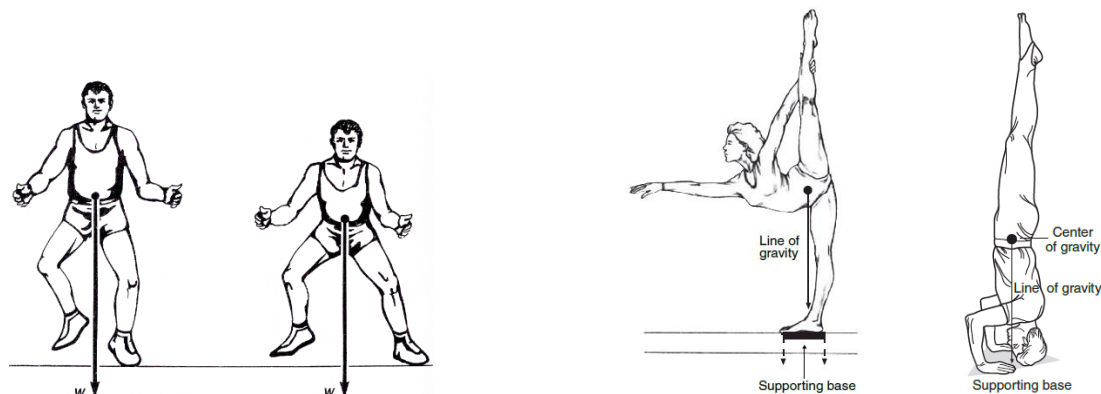


## 四、重心

- 是物體質量的**中心**（集中點）。
- 位置**取決於物體內部質量的分佈。
- 人體重心的位置在運動時會經常發生變化，甚至可以在身體之外。
  - 例：彎身摺疊身體、背越式跳高。

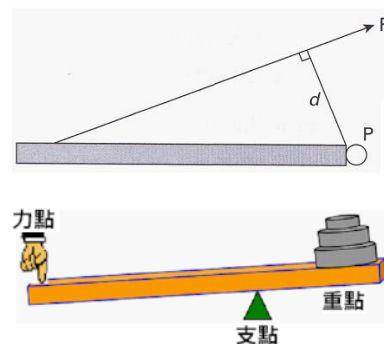


- 重心越低，物體越穩定。
- 底面積越大，物體也越穩定。



### 五、力矩

- 就是力繞一軸心所產生的轉動效果。
- 力矩 = 作用力(F) × 支點(p)到力作用線的垂直距離(d)。
- 如果力矩不變，力臂越長，用力越小。
- 如果用力不變，力臂越長，可以產生的力矩越大。
  - 擊球時用較長的桿或棒可以擊出較長的距離。
  - 投擲運動員的手臂越長，亦可投得越遠。

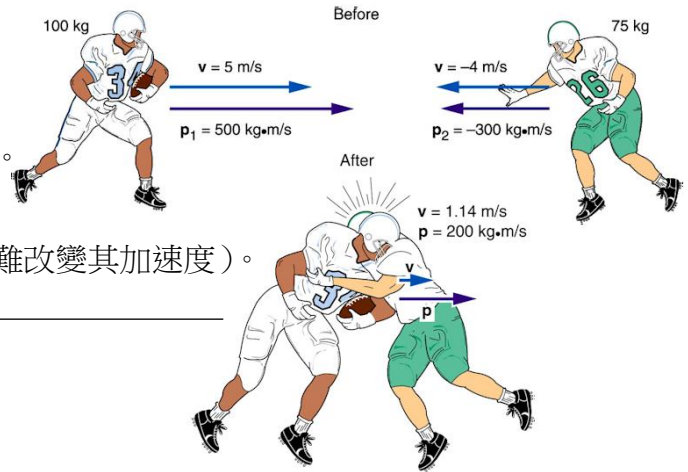


### 六、槓桿

<b>第一類槓桿</b> 支點在重點與力點之間	<b>第二類槓桿</b> 重點在支點與力點之間	<b>第三類槓桿</b> 力點在支點與重點之間
其他應用例子： 用螺絲起子開瓶蓋	其他應用例子： 胡桃夾子、開瓶器	其他應用例子： 釣魚、掃地、釘書機、筷子
力臂 > 重臂時，有利 <b>發力</b> 重臂 > 力臂時，有利 <b>速度</b>	力臂 > 重臂，有利 <b>發力</b>	重臂 > 力臂，有利 <b>速度</b>

## 七、動量

- 動量 = 質量 (m) × 速度 (v)
  - 移動中物體的質量越大，其動量越大。
  - 移動中物體的速度越高，其動量也越大。
  - 靜止中的物體沒有動量 (v = 0)。
  - 物體的動量越大，越難使其停下 (即越難改變其加速度)。



## 八、衝量

- 從牛頓第二定律， $F = ma$ ，可得出

$$F = m \cdot \frac{(v - u)}{t} \quad (m \text{ 是質量, } v \text{ 是最終速度, } u \text{ 是初始速度, } t \text{ 是時間})$$

$$F = m \cdot \frac{\Delta v}{t} \quad (\Delta v \text{ 是速度上的改變})$$

- 在公式的左、右兩邊同時乘以  $t$  後，

$$Ft = m \cdot \Delta v$$

- $Ft$ ，亦即 力 × 時間，就是衝量。
- 從  $Ft = m \cdot \Delta v$  的公式可見，衝量 = 動量的改變
- 在作用力 (F) 不變的情況下，力作用於物體的時間 (t) 越長，衝量越大，動量的改變地越大。

· 例子：

- 採用背向滑步推鉛球時，力作用於鉛球的時間較站立式推鉛球時長，所以衝量較大，動量的改變也較大，鉛球就可以推得更遠。
- 採用旋轉身體的方法擲鐵餅時，力作用於鐵餅的時間較站立式擲鐵餅時長，所以衝量較大，動量的改變也較大，鐵餅就可以擲得更遠。
- 跳高運動員轉身起跳前，會先把身體後仰，以增加力作用於地面的時間，使衝量增加，就可以跳得更高。
- 伸展手臂傳球時，同時向前踏出一步，就可以延長力作用於球的時間，使衝量增加，就可以傳得更遠。
- 踢球 / 擊球時的「後續動作」(follow-through) 可以延長力作用於球的時間，使衝量增加，就可以把球踢 / 擊得更遠。

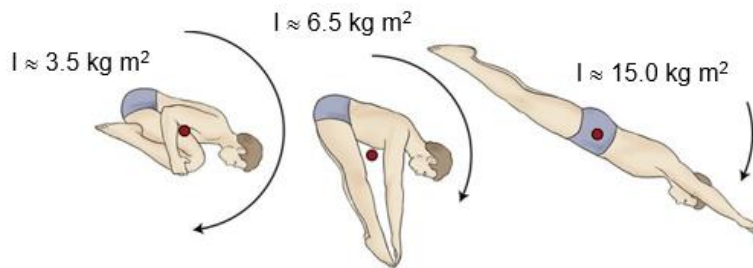
- 在衝量既定不變的情況下 (如從高處著地的一刻)，延長力作用於物體的時間 (t)，就可以減少撞擊力 (F)。

· 例子：

- 從高處著地時同時彎屈膝關節，就可以延長力作用於下肢的時間，以降低下肢受到撞擊的力度。
- 防撞軟墊、頭盔等的設計，就是要延長力作用於身體的時間，以降低身體受到撞擊的力度。

## 九、角運動

- **角位移**是測量物體繞中心軸線轉動的角度。
  - 完整旋轉 1 圈是 360 度或  $2\pi$  rad。
- **角速度**是角位移對於時間的變化率，其單位為弧度每秒（rad / sec）。
- **角加速度**是角速度對於時間的變化率，其單位為弧度每平方秒（rad/sec<sup>2</sup>）。
- **轉動慣量**
  - 是物體對於改變其**旋轉運動**所產生的阻力。
  - 轉動慣量 ( $I$ ) = 物體的質量 ( $m$ ) × [質量和轉軸的垂直距離 ( $d$ )]<sup>2</sup>  
=  $\sum md^2$
  - 物體的質量越大，轉動慣量越大。
  - 轉動慣量取決於質量圍繞旋轉軸的分佈情況。



- 質量離軸心越遠，產生的轉動慣量就越大；轉動的速度越低。  
( $d$  增加至原來的 2 倍時，轉動慣量變為原來的 4 倍。)
- 物體內所有質量分佈越靠近軸心，轉動慣量就越低；轉動的速度越高。  
( $d$  減少至原來的  $\frac{1}{2}$ 時，轉動慣量只是原來的  $\frac{1}{4}$ 。)

## 十、角運動的牛頓定律

### A. 牛頓第一角運動定律

- 旋轉的物體會圍繞軸心旋轉，並以恆角動量保持運動狀態，只有外力作用於物體才可迫使其改變這種狀態。
- 一個旋轉中物體的**角動量** ( $H$ ) = 轉動慣量 ( $I$ ) × 角速度 ( $\omega$ )。
- 要增加角動量，可以
  1. **增加**物體的質量 ( $I = \sum mr^2$ )
    - 如採用較重的球拍或球棒。
  2. **盡量**把物體的質量遠離轉軸 ( $I = \sum mr^2$ )。
    - 如展開身體、採用較長的球拍或球棒，或採用重量集中在頂端的球拍或球棒。
  3. **增加**物體轉動的角速度。
    - 如加快轉體或以更快的速度揮拍或揮棒。

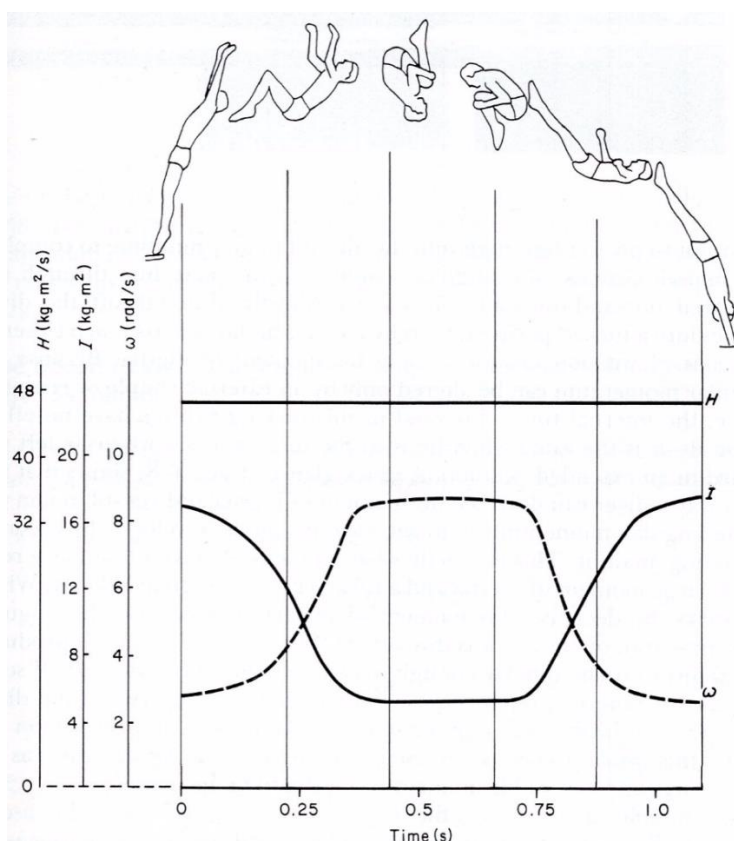


• **角動量守恆**

- 在跳高、跳遠、跳水、彈網、體操等項目，運動員起跳離地後，便**沒法子**再改變其角動量。
- 運動員在**起跳時**獲得的**角動量**，在空中短暫「飛行」時**保持不變**。
- 運動員要**改變**飛行時的轉動速度（**角速度**），就只有透過**改變**身體**質量的分佈**，也就是**改變姿勢**來完成。
- 例子：

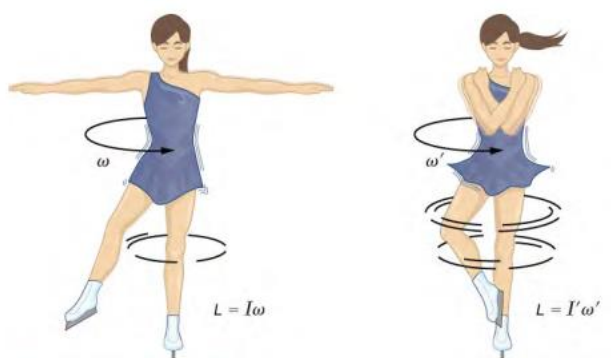
1. **跳水運動員在空中**可以透過

- **摺疊**身體以**減少轉動慣量**來**增加角速度**；或
- **展開**身體以**增加轉動慣量**來**降低角速度**。



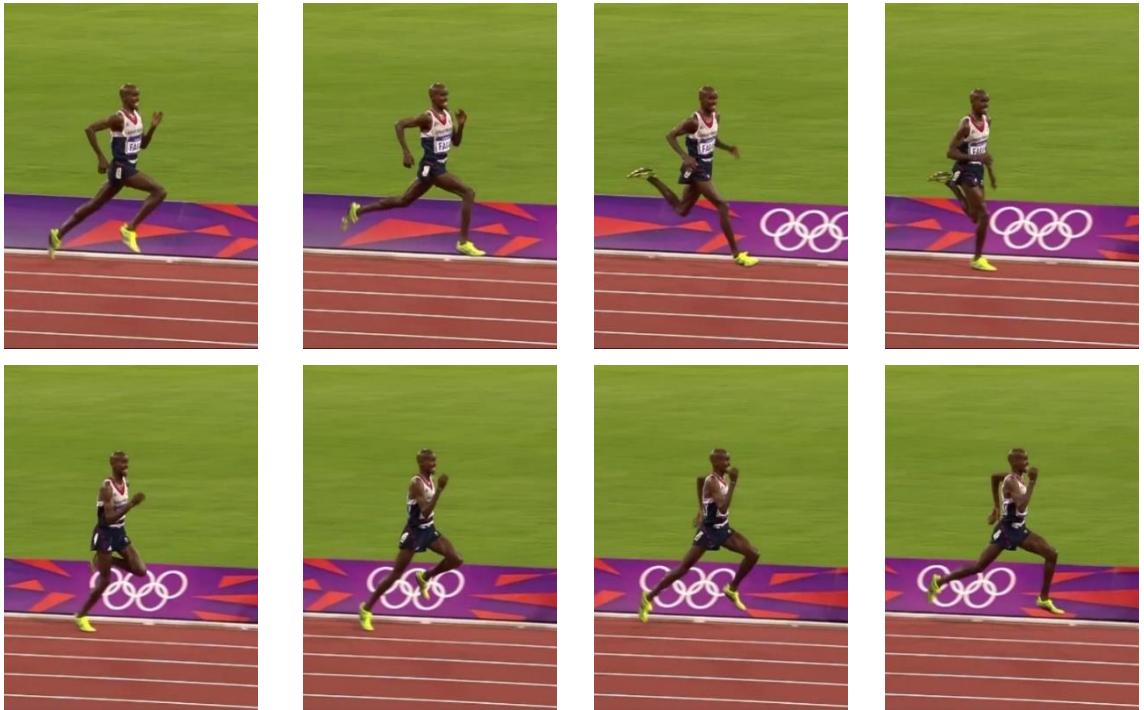
2. **花樣滑冰運動員**可以透過

- **雙臂抱緊上身**以**減少轉動慣量**來**增加角速度**；或
- **打開雙臂**以**增加轉動慣量**來**減少角速度**。



3. **跑步運動員**可以透過

- 蹬地腿向後摺疊時，**盡量**把腳跟貼近臀部，以**減少轉動慣量**來**增加角速度**，使腿可以更快地向前送出。



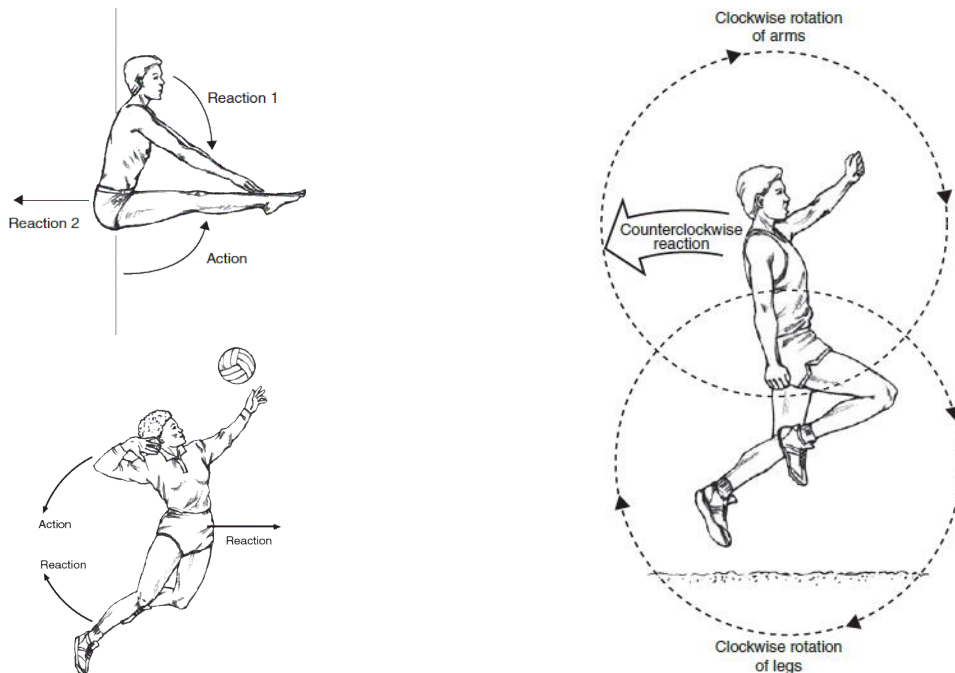
**B. 牛頓第二角運動定律**

- 物體的**角加速度** ( $\alpha$ ) 與物體所受的**轉矩** ( $\tau$ ) 成**正比**，角加速度的**方向**跟轉矩的**方向**相同。

- $\tau = I\alpha$

**C. 牛頓第三角運動定律**

- 每個物體的轉矩必然會對另一個物體產生一個**大小相等**，但**方向相反**的轉矩。





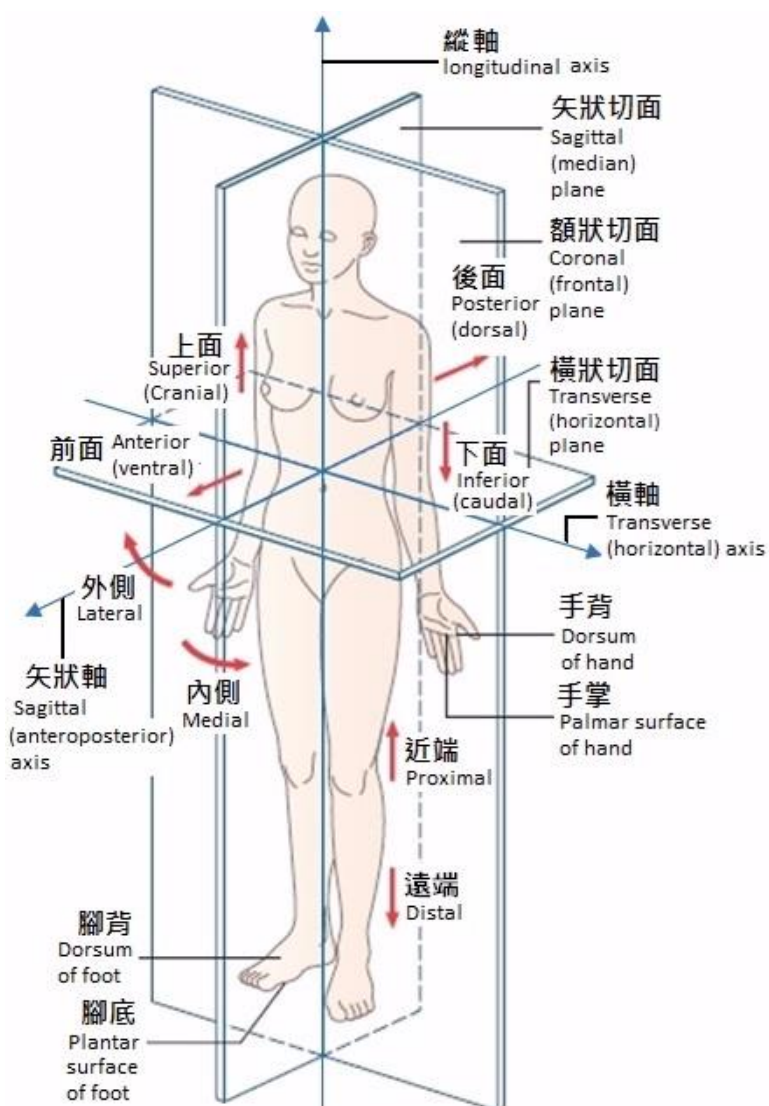
## 人體動作的類別

### 一、活動平面

- **矢狀切面**  
把人體分成**左**、**右**的平面。
- **額狀切面**  
把人體分成**前**、**後**的平面。
- **橫狀切面**  
把人體分成**上**、**下**的平面。

### 二、迴旋

- **矢狀軸**  
**前後**穿過人體、與**額狀切面垂直**的軸線。
  - **額狀切面**的迴旋動作圍繞**矢狀軸**進行，例如外展、內收、側手翻等。
- **橫軸**  
**左右**穿過人體、與**矢狀切面垂直**的軸線。
  - **矢狀切面**的迴旋動作圍繞**橫軸**進行，例如屈曲、伸展、前滾翻等。
- **縱軸**  
**上下**穿過人體、與**橫狀切面垂直**的軸線。
  - **橫狀切面**的迴旋動作圍繞**縱軸**進行，例如旋前、旋後、轉體等。



### 動作實例

動作	面	軸
前、後滾翻	矢狀	橫
前、後空翻	矢狀	橫
打保齡球	矢狀	橫
側手翻	額狀	矢狀
轉體	橫狀	縱
擲鏈球	橫狀	縱

### 三、屈曲 / 伸展



#### 屈曲

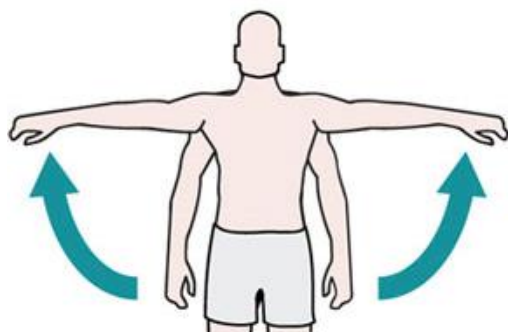
- 使人體兩個身體部分的角度減少。
- 引致屈曲動作發生的肌肉稱為「屈肌」。



#### 伸展

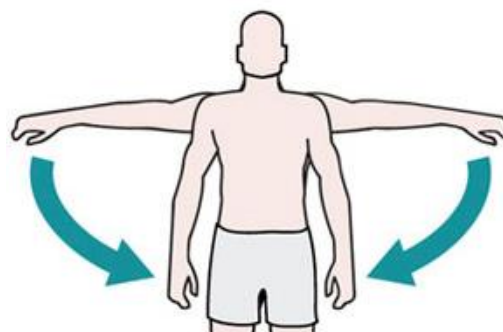
- 使人體兩個身體部分的角度增加。
- 伸展動作的肌肉稱為「伸肌」。

### 四、外展 / 內收



#### 外展

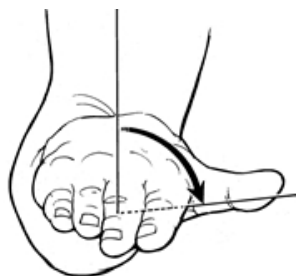
- 離開身體中線。



#### 內收

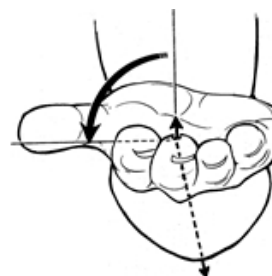
- 靠近身體中線。

### 五、旋前 / 旋後



#### 旋前

- 手掌向下翻。



#### 旋後

- 手掌向上翻。

## 表現分析：步驟和指引

### 一、動作分析的類別

#### A. 定性分析

- 不依賴數據資料描述動作的特徵和效果。
  - 如探究動作在各個階段的形態、過程中牽涉的關節和肌肉、肌肉收縮的類型等。

#### B. 定量分析

- 依賴數據資料描述動作的特徵和效果。
  - 如探究動作的關節活動範圍、角度、速度、張力等。

### 二、採用科學方法

#### A. 科學態度

- 科學探究從**求真**的精神出發，建基於證據，並以**事實經驗**為準則；同時也鼓勵創新及存疑精神。

#### B. 科學思維

- 科學知識建基於創意思維，科學家運用**演繹法** (deduction) 及**歸納法** (induction)，提出新的科學理論，再加以驗證。
- 科學知識縱然源遠流長，卻**不是**永恆不變的。

#### C. 科學實踐

- 科學家以精確的**研究設計**和合適的儀器，探索現象或驗證理論；謹慎處理**定量**和**定質**的數據，**誠實**匯報結果。

### 三、動作分析要領

#### A. 檢視動作

- 在各個階段的**形態**。
- 肌肉收縮**類型** (如**向心收縮**、**離心收縮**或**等長收縮**等)。
- 涉及的**關節**和**肌肉**。
- 關節**活動範圍**和**速度**。



- 踢球是**矢狀切面**上的動作，涉及**髖**、**膝**和**踝**三個關節，可分為準備和踢球兩個階段：

- 準備階段

關節	動作	主動肌
髖	伸展	臀肌 (臀大肌與臀小肌)
膝	屈曲	膕繩肌 (即股二頭肌、半膜肌和半腱肌)
踝	蹠屈	小腿三頭肌 (即腓腸肌、比目魚肌與跟腱)

- 踢球階段

關節	動作	主動肌
髖	屈曲	髂腰肌
膝	伸展	股四頭肌
踝	蹠屈	小腿三頭肌

#### B. 量化觀察

- 既**量化過程**，也**量化效能**。
- 運用**動作量表**，**系統地**進行**觀察**。
- 運用**科技**，**蒐集精確的觀察值**，如**速度**、**角度**、**張力**等。

#### C. 動作比較

- 模擬**：探究不同動作的效能。
- 模仿**：參考高水平運動員的動作，進行調整。