



### 運動生物力學之靜力學原理

- 平衡原理(Equilibrium)
- 槓桿原理
- 反作用力原理(牛頓第三定理)
- 重力原理(萬有引力定理)
- 摩擦力原理(Friction)
- 結構原理

### 力與力矩

- 力(force)：造成物體平移
- 力矩(moment or torque)：造成物體轉動  
= 力 × 力臂長
- 通過質心(旋轉中心)力的力臂長=0  
=> 力矩=0

### 平衡原理 (Equilibrium)

- 一系統所受外力合力為零時，即達到力平衡之狀態，可分為靜平衡與動平衡。
  - $\Sigma F = 0$  (合力為0)
  - $\Sigma M = 0$  (合力矩為0)

### 平衡原理實例

- 體操吊環之十字平衡為典型靜平衡
- 起跑為破壞平衡後再迅速達平衡之現象
- 跳遠空中飛程之動作即在保持身體平衡

### 槓桿原理

施力      抗力

施力 × 施力臂 = 抗力 × 抗力臂

- 人體的槓桿系統  
人體的動作乃以骨骼當作槓桿、關節當作支點、而肌肉收縮的方向為作用力或拉力方向。

### 槓桿原理

- $F_{\text{施力}} \times R_{\text{施力臂}} = F_{\text{抗力}} \times R_{\text{抗力臂}}$
- 第一槓桿 支點在中央
- 第二槓桿 抗力點在中央 省力費時
- 第三槓桿 施力點在中央 省時費力

### 槓桿原理

### 槓桿原理實例

- 輕艇(Canoe)划槳動作可視為第三槓桿或第一槓桿
- 西式划船(Rowing)划槳動作可視為第一槓桿或第二槓桿

### 槓桿原理實例

- 人體肢段關節
  - 如頸椎關節 - 第一槓桿
  - 下顎關節白齒 - 第二槓桿
  - 下顎關節門牙 - 第三槓桿

### 槓桿原理實例

- 人體肢段關節
  - 踝關節 - 第二槓桿
  - 肘關節 - 第三槓桿

### 反作用力原理(牛頓第三定理)

- 作用力與反作用力，大小相同方向相反
- 作用在同一直線(點)，但非同一物體

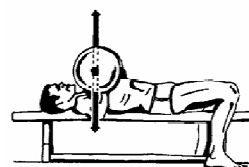
### 反作用力原理實例

- 肌肉等長收縮 (Isometric contraction) , 等長訓練即利用反作用力為訓練之抗力
- 測力板即利用作用力與反作用力原理求取地面反作用力



### 重力原理(萬有引力定理)

- $F = G \frac{M m}{r^2}$   $G = 6.67 \times 10^{-11} \text{ (nt m}^2/\text{kg}^2)$
- $g = G \frac{M}{r^2} = 9.81 \text{ m/sec}^2$  for earth



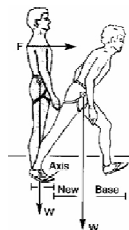
### 重力原理實例

- 舉重項目即為典型利用重力原理之運動
- 重量訓練器材即利用重力為訓練之抗力
- 拋物線軌跡即受到重力加速度影響



### 摩擦力原理(Friction)

- 黏滯性摩擦 (Fluid Friction)  $F = CV$
- 乾摩擦 (Dry Friction)  $F = \mu N$
- 靜摩擦 (Static Friction)  $F = \mu_s N$
- 動摩擦 (Kinetic Friction)  $F = \mu_k N$   
- (滾動、滑動摩擦)

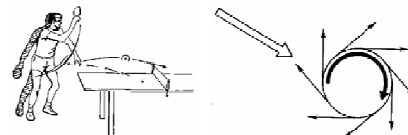


### 摩擦力原理實例

- 自由落體之終端速度 ( $mg - CV = 0$ ) 即為空氣之黏滯性摩擦造成阻力所產生
- 步行即利用足底與地面之摩擦力為前進力之來源
- 運動鞋之設計, 鞋底之摩擦為主要因素 (如釘鞋)
- 運動表面之設計, 摩擦為主要考量因素
- 冬季奧運冰上或雪上運動皆為低摩擦運動


### 摩擦力原理實例

- 球類運動之旋轉球 (Spin), 如桌球之旋轉即由球拍與球之摩擦產生
- 技擊項目擊劍攻擊動作後腳推蹬力即由足底與地面之摩擦力所產生



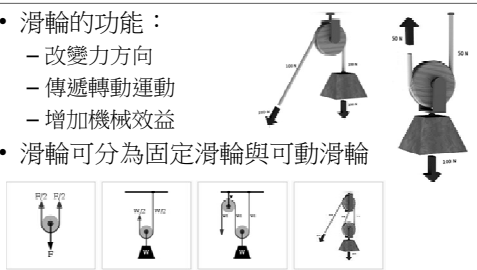
### 結構原理

- 靜滑輪：改變力方向；動滑輪：減低力量
- 繩索僅能承受張力，同一繩索張力相同
- 連桿 (Linkage)



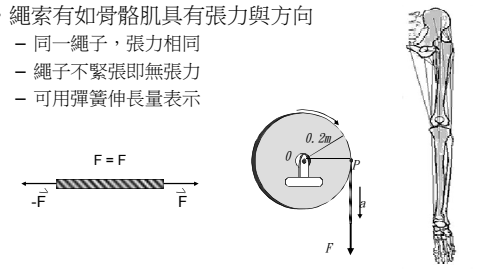
### 機械傳導系統-滑輪

- 滑輪的功能：
  - 改變力方向
  - 傳遞轉動運動
  - 增加機械效益
- 滑輪可分為固定滑輪與可動滑輪



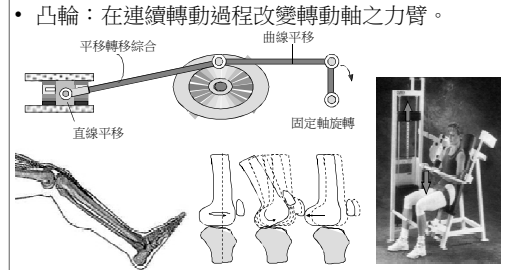
### 機械傳導系統

- 繩索有如骨骼肌具有張力與方向
  - 同一繩子，張力相同
  - 繩子不緊張即無張力
  - 可用彈簧伸長量表示



### 機械傳導系統

- 凸輪：在連續轉動過程改變轉動軸之力臂。

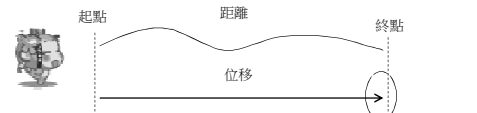


### 運動學

- 線運動
- 拋物體運動
- 角與圓周運動
- 相對運動
- 剛體平面運動
- 連桿系統
- 運動學研究儀器

### 線運動

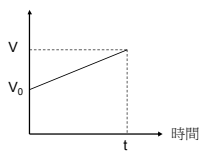
- 位置與時間的關係
- 距離(distance) vs. 位移(displacement)
- 速率(speed) vs. 速度(velocity)
- 加速度(acceleration)





### 位移、速度、加速度

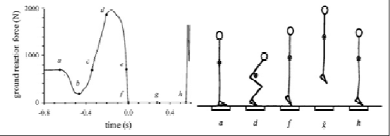
- $V = V_0 + at$
- $S = V_0t + (1/2)at^2$
- $V^2 = V_0^2 + 2aS$   
(s: 位移、v: 速度、a: 加速度)



- 在步態分析中，平均速度=步頻×步幅
- 時間、位移、速度、加速度的單位

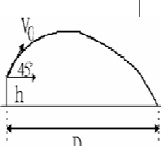
### 重力加速度

- 自由落體 => 等加速度落向地面
- 不計空氣阻力則與大小、重量無關
- 重力加速度 -g (g= 9.81 m/s<sup>2</sup>)
- 例：垂直跳測試，空中時間越久，人體質心上升高度越高



### 拋物體運動

- 水平加速度為零，垂直加速度為-g (g=9.8m/s<sup>2</sup>)
- 決定初始條件：速度、角度、高度
- 水平方向為等速度運動  $V_x = V_0 \cos \theta$
- 垂直方向為等加速度運動  $V_y = V_0 \sin \theta - gt$
- 達到最高點時間  $t = V_0 \sin \theta / g$
- 水平距離  $R = \text{Max}(X) = V_0^2 \sin 2\theta / g$   
 > 當出射角為45度時，水平距離最遠
- 垂直高度  $H = \text{Max}(Y) = V_0^2 \sin^2 \theta / 2g$   
 > 當出射角為90度時，垂直高度最高



### 拋物體類型

- 等高拋物運動：起點與落點在同一水平  
 > 踢足球
- 不等高拋物體：起點與落點非同一水平  
 > 起點低於落點：投籃球  
 > 起點高於落點：擲鉛球

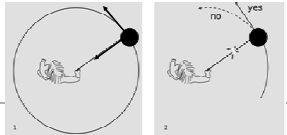


### 拋物體運動實例

- 鉛球、鐵餅、標槍之出射角接近(小於)45度
- 跳高為一大角度之拋物線運動
- 跳遠之起跳角<45度是因助跑造成起跳前水平速度遠大於垂直速度
- 棒球傳球主要強調時間短而非距離遠，故拋射角皆不大
- 投籃弧度大可增加進籃之機率
- 羽球之高遠球是因為空氣阻力大造成

### 圓周運動

- 圓周運動是有一向心力把物體拉向圓形運動軌跡的中心點，提供物體所需的加速度
- 若無向心力，物體會依牛頓第一定律慣性地進行直線運動
- 即使物體速率不變，圓周運動仍有加速度，因為物體的速度向量是不斷地在改變方向



### 圓周運動

- 角度  $\theta$  與弧度 rad
- 角速度  $\omega = \Delta\theta/\Delta t$
- 角加速度  $\alpha = \Delta\omega/\Delta t$
- 切線速度  $V = r\omega$  ( $r$ : 半徑)
- 切線加速度 =  $\Delta V/\Delta t$
- 向心加速度 =  $V^2/r = r\omega^2$

(向量 $\omega$ 、 $\alpha$ 方向使用右手定則，此例為垂直向上)

- 有限空間內，旋轉加速可得較大之速度

### 圓周運動實例(一)

- 鏈球及鐵餅為典型利用旋轉加速，以切線速度拋出物體之運動
- 鉛球之投擲姿勢由「反身後推出」轉為「旋轉後推出」
- 跆拳道之旋踢為使用率最高之攻擊動作
- 跆拳道之後旋踢即是在短距離內，旋轉加速得到較大之攻擊力量

### 圓周運動實例(二)

- 高爾夫的揮桿
- 保齡球的出手
- 壘球的風車式投球法

### 圓周運動實例(三)

- 人體相鄰關節之角度對角度的分析(抓舉):
  - 第一階段：軀幹前旋、膝關節伸展
  - 第二階段：軀幹後旋、膝關節彎曲
  - 第三階段：軀幹後旋、膝關節伸展

### 剛體平面運動

- 剛體：
  - 固體
  - 有限尺寸
  - 物體任二點距離不改變
  - 形變可被忽略
- 剛體平面運動包括：
  - 平移 (Translation)
  - 固定軸旋轉 (Rotation)
  - 一般平面運動 (平移+旋轉)

直線平移

曲線平移

固定軸旋轉

一般平面運動

### 剛體平面運動實例

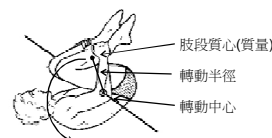
- 將人體肢段視為剛體
- 吊環運動
  - 頭、軀幹與下肢：平移
  - 上肢：旋轉
- 游泳運動(自由式&蛙式)
  - 四肢：旋轉+平移
  - 頭與軀幹：兩者不同
- 球類運動：橄欖球、棒球、籃球

### 動因學

- 轉動慣量
- 力與運動 (牛頓第二定理)
- 衝量與動量
- 功與能量
- 功率 (Power)
- 碰撞原理
- 圓周運動

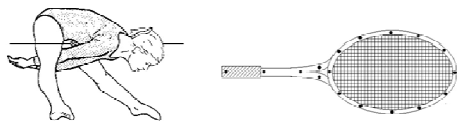
### 轉動慣量

- 線運動 -> 質量；圓周運動->轉動慣量
- 改變原本運動狀態的難易程度
- $I = \int r^2 dm$  (轉動慣量 = 半徑<sup>2</sup> × 質量)



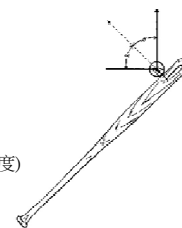
### 轉動慣量運動實例

- 溜冰旋轉手臂內縮減少轉動慣量增加轉速
- 體操及跳水團身之轉動慣量較小較易旋轉
- 網球拍之拍框加大並增加框邊局部質量即在增加轉動慣量，以增加控球之穩定



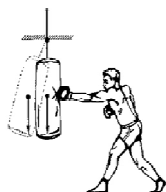
### 力與運動

- 牛頓第二運動定理
- 線運動
  - $F = m a$   
(作用力 = 質量 × 加速度)
- 圓周運動
  - $T = I \alpha$   
(作用力矩 = 轉動慣量 × 角加速度)



### 力與運動實例

- 所有跟力量與速度之運動
- 跆拳道之旋踢，空踢時膝關節容易受傷



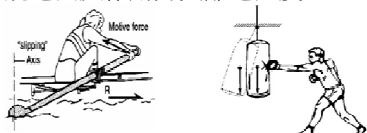
### 衝量與動量

- 衝量 (Impulse) =  $F \Delta t$
- 動量 (Momentum) =  $m \Delta V$
- 力的衝量造成物體動量，且能量守衡
  - 衝量動量守恆定理 =>  $F \Delta t = m \Delta V$



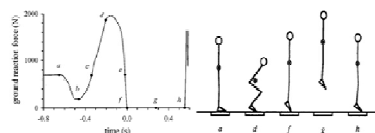
### 衝量與動量運動實例(一)

- 西式划船之划槳力量與時間積分
- 游泳之划手力量與時間積分
- 技擊項目攻擊動作速度與力道
- 垂直跳地面反作用力與離地速度

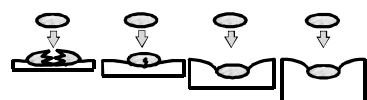


### 衝量與動量運動實例(二)

- 垂直跳地面反作用力與離地速度



- 避震系統

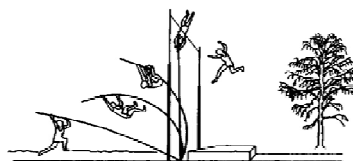


### 功與能量

- 功 (Work) =  $F \Delta S$  【 $T \Delta \theta$ 】 (力量×距離)
- 動能 (Kinetic Energy) =  $(1/2) mV^2$   
【 $(1/2) I\omega^2$ 】 (1/2質量×速度<sup>2</sup>)
- 位能 (Potential Energy)
  - 重力位能 =  $mgh$  (質量×重力加速度×高度)
  - 彈性能 =  $1/2kX^2$  (1/2×彈性常數×形變量<sup>2</sup>)
  - 肌肉、球拍...等可形變物體可儲存彈性能

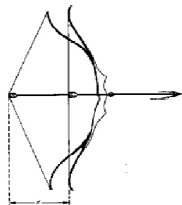
### 功與能量運動實例(一)

- 撐桿跳 (6米) 將助跑水平速度儲存於桿身之彈性能，再釋放為垂直重力位能  
➢  $1/2mV^2 = 0.5 m 10^2 = mgh$



### 功與能量運動實例(二)

- 網球拍、槳、弓箭皆將能量儲存於器材之彈性能再釋放出來




### 功與能量運動實例(三)

- 運動鞋的避震與能量反彈



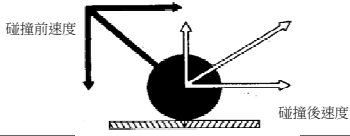
### 功率 (Power)

- 功率 = 力量×速度 ( $P = W/\Delta t = F\Delta S/\Delta t = F \times V$ )
- 強力運動 (Power Sports) 同時需要力量與速度
- 技擊項目最主要之影響因素為力量與速度



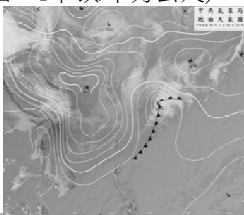
### 碰撞原理運動實例

- 軟網及硬網球之差異
- 紅土及草地球場球速之差異
  - 摩擦係數影響水平、碰撞係數影響垂直速度
- 技擊項目攻擊之碰撞



### 流體

- 可分為液體(不可壓縮)與氣體(可壓縮)
- 流體壓力=力/面積 (1帕 = 1牛頓/平方公尺)
  - 與高度(深度)有關
  - 帕斯卡(Pascal)原理：
    - ✓ 高壓 → 低壓
    - ✓ 靜止流體壓力相等
  - 柏努利(Bernoulli)原理：
    - 壓力越小速度越快

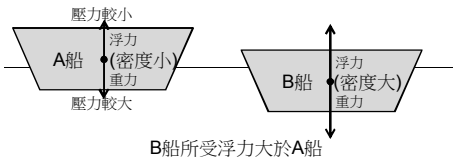


### 流體力學

- 浮力原理 (Buoyancy)
- 阻力 (Resistance) 與推進力
- 馬格納斯效應 (Magnus Effect)

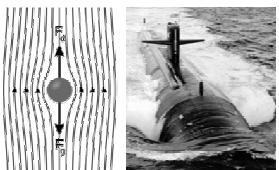
### 阿基米德之浮力原理

- $B = V \times \rho$  (排開體積×液體密度)
- 游泳、輕艇等水上運動即利用浮力原理
- 利用浮力原理求出身體組成密度



### 流體的流動

- 可分為穩定流與不穩定流
  - 層流或穩流：相同方向與速度
  - 擾流：流速改變產生渦流
- 流體的黏滯性
  - 通常是擾流來源

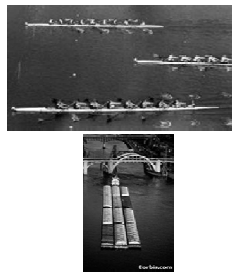


### 拉力(阻力)

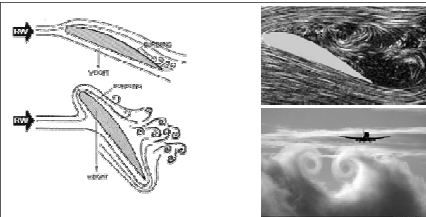
- 拉力通常為阻力，與物體前進方向相反，可分為：
  - 截面拉力(垂直於前進方向)： $F = A \times V^2 \times \rho$   
與截面積、速度平方、液體密度相關
  - 表面拉力(摩擦阻力)
  - ;
- 與物體形狀、體積、表面特性有關

### 影響拉力(阻力)的因素

- 與速度平方成正比
  - 速度越快阻力越大
- 尺寸與外型
  - 流線型
- 姿勢調整(技巧)
  - 維持水平
- 長度(長寬比例)
  - 長度越長阻力越小



### 日常生活中的擾流



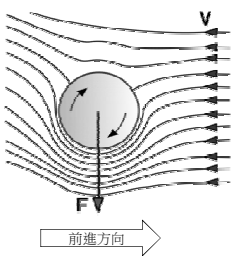
- 欲將拉力轉為推進力(如帆船、划槳等)，則形狀越不流線型越好

### 拉力實例

- 自由車輪設計即在減少渦流阻力
- 高爾夫球表面凹洞即在減少摩擦阻力
- 輕艇設計即在減少正面、摩擦及渦流阻力
- 游泳之阻力包含正面、摩擦及渦流阻力
- 鯊魚裝之設計

### 馬格納斯效應(Magnus Effect)

- 發生條件：
  - 球體
  - 質量輕
  - 表面非光滑(縫線 or 絨毛 or 凹洞)
  - 高速旋轉
- 利用馬格納斯效應產生橫向力造成變化球
- 鉛球因質量大，故馬格納斯效應之影響不大



### 馬格納斯效應之實例

- 足球射門之香蕉球

