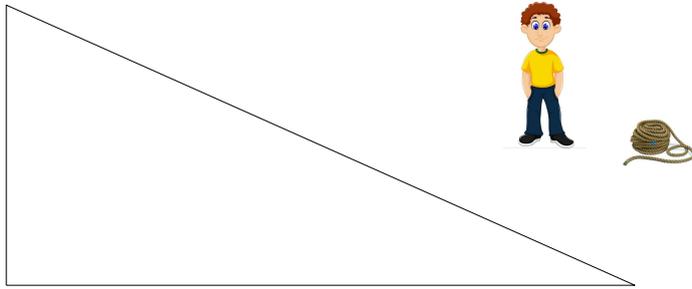
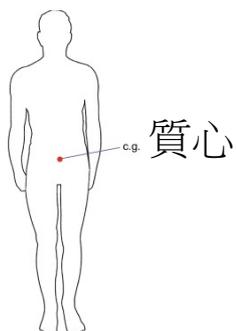


如何利用一捆繩使人安全站立在一個完全平滑的斜坡上？
請解釋。

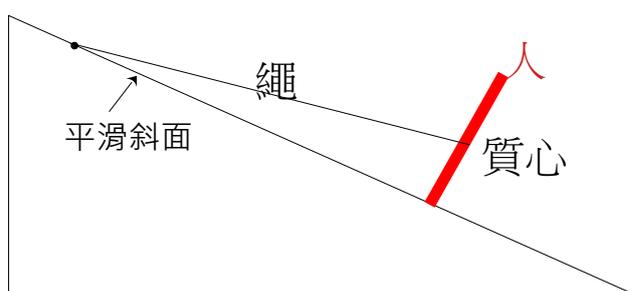


有以下這個簡單方法：

1. 把繩的一端繫在斜坡上一個較高位置。
2. 把繩的另一端繞過人的**重心 (或質心)** 位置的腹圍。

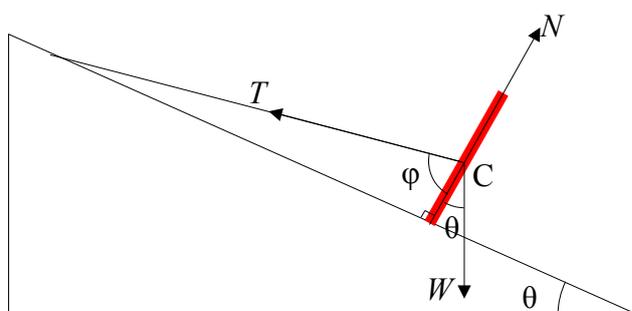


3. 這樣，人就可以垂直站立在那平滑的斜坡上。



力學平衡 (equilibrium) 條件：

1. 物體受的淨力為零。
2. 用任何一點計算的總力矩 (moment) 為零 (若物體受三個非平行的力作用，此三力的延線必然經過同一點)。



因為斜面平滑，斜面作用於人的只可以是垂直於斜面的法向力（normal force），不可能有摩擦。

條件 1：物體受的淨力為零。

$$\begin{aligned} \rightarrow \text{垂直人身軀方向：} & \quad T \sin \varphi = W \sin \theta \\ \therefore & \quad T = \frac{W \sin \theta}{\sin \varphi} \quad \dots (1) \end{aligned}$$

$$\rightarrow \text{平行人身軀方向：} \quad N = W \cos \theta + T \cos \varphi \quad \dots (2)$$

$$\text{把 (1) 代入 (2)，得} \quad N = W \left(\cos \theta + \frac{\sin \theta}{\tan \varphi} \right) \quad \dots (3)$$

用上式可以計算出繩的張力 T 和斜面的法向力 N 。

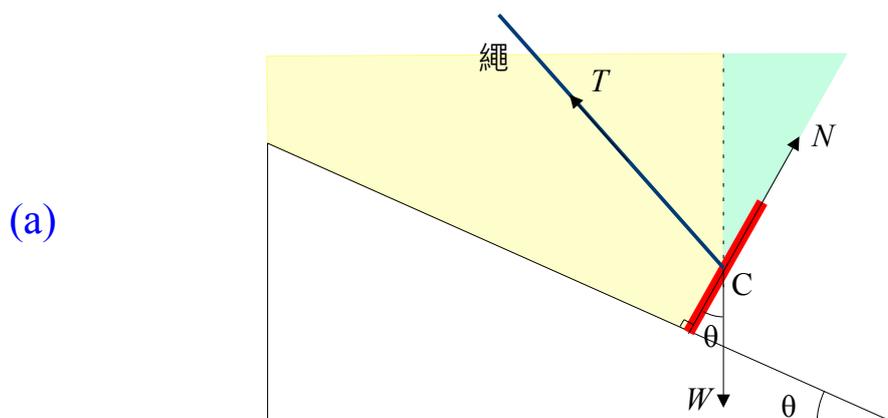
條件 2：用任何一點計算的總力矩（moment）為零。

W ， T 和 N 這三個力都經過質心，所以用質心計算力矩，這三力的力矩均為零。



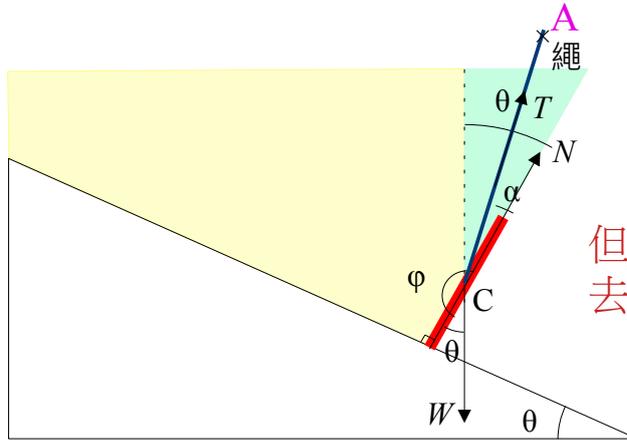
進一步探究：

問題一：若把原來繫在斜坡上的繩端繫在其他物件上，可以嗎？



如果繩是從圖的黃色區伸延出去，人仍可以平衡。

(b)



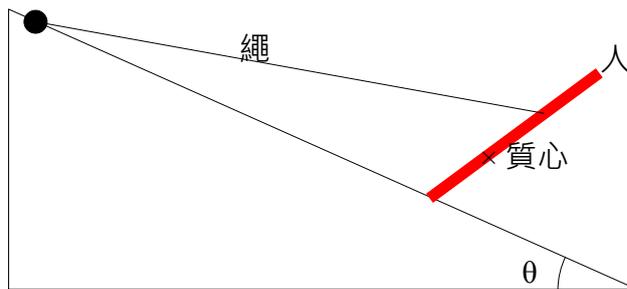
但如果繩是是從綠色區伸延出去，那一定不可以平衡。

在圖 (b) 繩上任何一點（譬如 A）計算力矩： T 的力矩為零； W 和 N 的力矩均為逆時針，故不可以平衡。



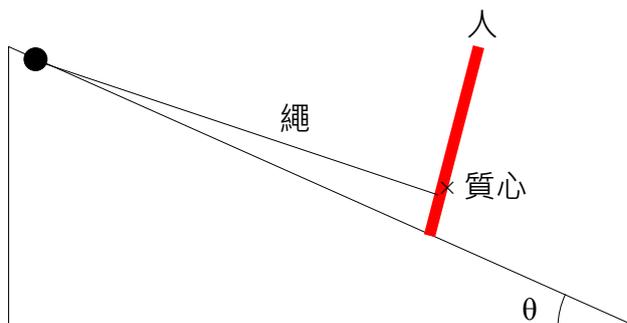
問題二：若把繩繫在人的其他地方（譬如用手拉着），可以嗎？
可以的，但人不能夠垂直站立於斜面。

(c)



繩繫在質心較高位置，
那時人要傾後一些
（傾側的角度要剛好）

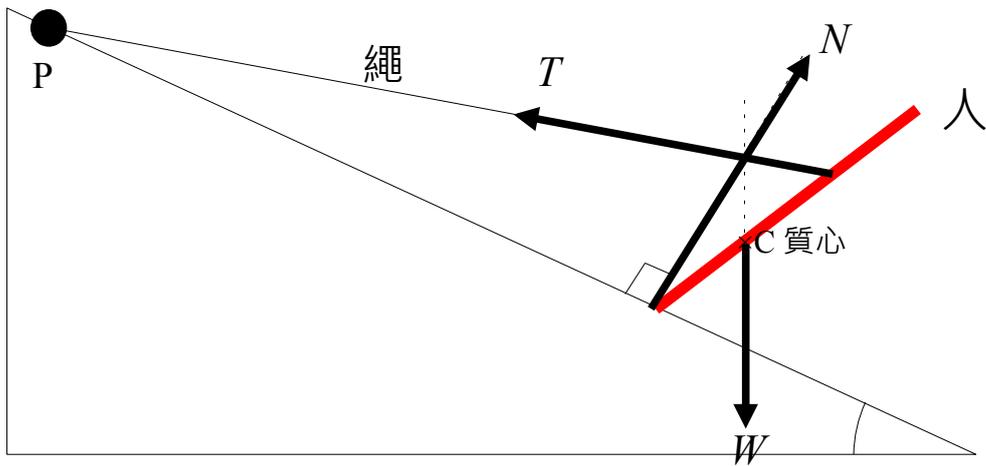
(d)



繩繫在質心較低位置，
那時人要傾前一些
（傾側的角度要剛好）

傾側的角度要剛好，但何謂之「剛好」？

那就是： N ， T 和 W 三力的延線必須經過同一點。



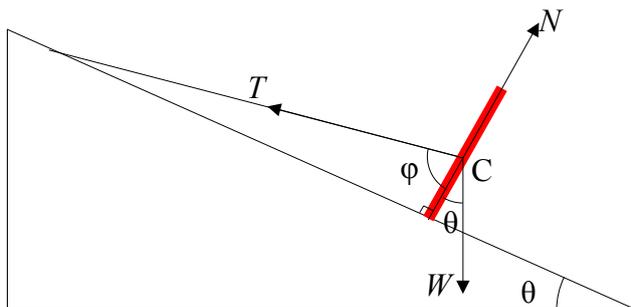
問題三：以上討論的平衡，真的在現實可行嗎？

其實，上述的平衡是真的可以發生，但都是屬於「不穩定平衡」(unstable equilibrium)。



小心傾側左圖的椅子，使它平衡不倒下。但角度只要有非常小的偏差，椅子就會迅速倒下，所以此平衡是一個「不穩定平衡」。

同樣，下圖的情況類似。



只要

- (1) 那條繩須要連接人的重心，和
- (2) 人須要垂直站立於斜面

其中一條做得不那麼好，人就會倒下。

但現實的斜坡也不可能是完全平滑，路面存在或多或少的摩擦。這個路面摩擦可以在少許偏離上述兩個條件（繩須連接人重心，人須垂直站立於斜面）下人也不會倒下。



作者：吳老師 (Chiu-King Ng)

<https://ngsir.netfirms.com>

<http://phy.hk>

電郵：feedbackWZ@phy.hk 其中 WZ 是 23 之後的質數