

力拔山河

國中組物理科第三名

台中市立至善國民中學

作 者：方孟裕、周桂菁、黃慶圓、黃鈴珺
指導教師：錢啓華、陳文成

一、研究動機

民國 84 年 9 月 13 日的中國時報人物介紹〔台中光華高工體衛組長吳崑德老師，引進日本拔河技術多次奪得全國冠軍〕引起同學興趣，我們拜訪吳崑德組長，蒐集資料來進行研究。

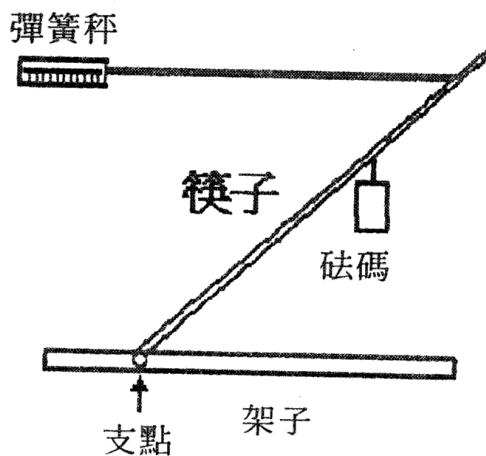
二、研究目的

1. 拔河力量的來源是什麼？
2. 身體的姿勢對拔河力量有什麼影響？
3. 新式拔河和傳統拔河的差別是什麼？

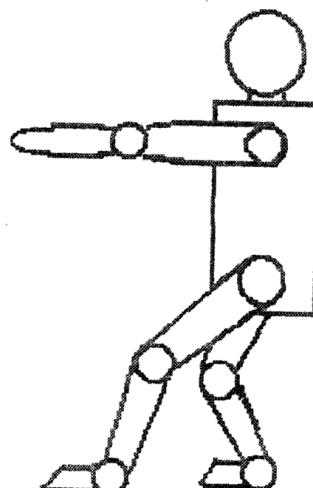
三、研究器材

(一)用筷子代表簡單身體模型。(研究重心位置的影響)

1. 以筷子(代表身體)在底部垂直方向綁竹子(代表腳)。
2. 放在木架的兩條構中間，並可以隨意調整傾斜度。



簡單筷子模型



人體模型

訪問資料整理如下：

(一) 一般事項

1. 每場比賽人數八人，總體重不可超過 600 公斤重。
2. 穿著專門比賽用的日本製拔河鞋。
3. 比賽前吃得太飽不利於比賽。

(二) 拔河預備動作：

1. 人都站在繩子左邊，左前腳右後腳。
2. 身體有一點向後傾斜，兩手伸直捉緊繩子。

(三) 比賽開始：

1. 右腳向前伸，兩腳左右並列，以外八字張開約 90 度。
2. 頭往後仰，軀幹儘量與地面平行。
3. 大腿儘量與地面平行，小腿與大腿夾角 105-110 度。
4. 最後一個人採取坐姿以免整隊倒下來。

(四) 比賽攻擊：

1. 兩腳交互小距離後收，向前用力撐，使身體後退增加拉力。
2. 要獲得最後勝利的隊伍，要有訓練體力、耐力和毅力。

(五) 其它事項：

1. 日本的拔河有十多年歷史，發展成大眾化的運動。
2. 日本有拔河專用場地及經常性研究心得刊物發行。
3. 本國拔河運動剛起步萌芽；光華高工兩次獲得本國第一名，代表到日本比賽，但是仍然須要再努力迎頭趕上。

四、研究過程

我們經過討論，將影響拔河的因素分為以下幾個：

1. 體重 W 。
2. 繩子高度 H 。
3. 身體傾斜度 θ 。
4. 重心位置 OP 。
5. 身體姿勢。

(一) 拔河力量來源實驗

(A)

1. 實驗目的：研究體重 W 對拉力 F 的影響。
2. 實驗步驟：

(1) 固定線離地面的高度 12cm。

- (2) 固定筷子（代表小腿）與地面上的夾角 45 度。
- (3) 砝碼距支點位置 $OP = 8\text{cm}$ 。
- (4) 在距離支點 5cm，依序掛砝碼 0g、20g、40g、60g、80g、100g，測量彈簧秤的拉力 F。

3. 實驗結果：(拉力 F10 組平均值)

砝碼重 gw	0	20	40	60	80	100
F 值 gw	18.0	35.6	52.7	72.1	92.8	114.8

由直角座標圖可得拉力 F 與體重 W 成正比。

(B)

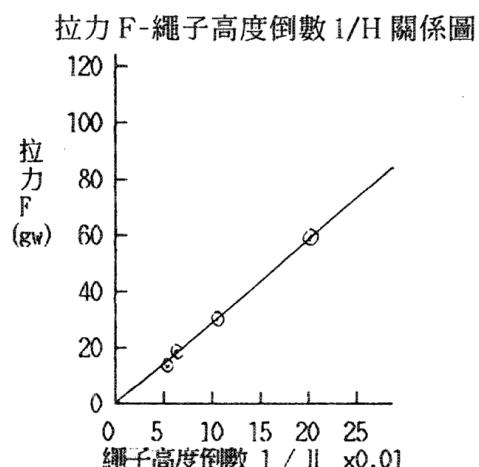
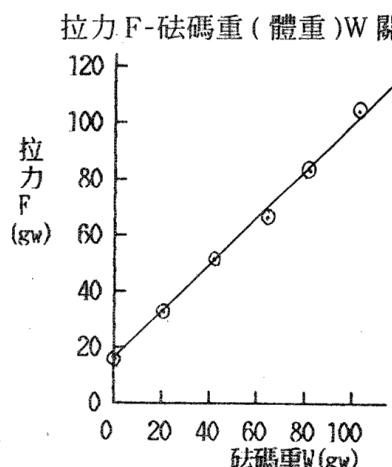
1. 實驗目的：研究繩子高度 H 對拉力 F 的影響
2. 實驗步驟：

 - (1) 在距離支點 11.5cm 處掛砝碼 20gw 代表體重。
 - (2) 固定筷子（代表小腿）與地面上的夾角 45 度。
 - (3) 改變線離地高度 5、10、15、20cm 測量拉力 F。

3. 實驗結果：(拉力 F 十組平均值)

繩子高度 H	5 cm	10 cm	15 cm	20 cm
$1/H$	0.20	0.10	0.067	0.05
F 平均值 gw	60.3	30.5	20.2	15.0
$F \times H$	302	305	303	300

- (1) $F \times H$ 平均值 = 303。
- (2) $F \times H$ 最大誤差 = $(305-303) \times 100\% = 2\%$ 。
- (3) 由直角座標圖可得 $1/H$ 與拉力成正比則繩子高度 H 與拉力 F 成反比。



(C)

1. 實驗目的：身體傾斜度 θ ，對拉力 F 的影響。
2. 實驗步驟：
 - (1)固定線離地面的高度 15cm。
 - (2)在距離支點 20cm 處，掛砝碼 20gw (代表體重)。
 - (3)改變筷子 (代表身體) 與地面之夾角依序為 40°、60°、80°、90°，測量彈簧秤拉力。
3. 實驗結果：(拉力 F10 組平均值)

傾斜度	40°	60°	80°	90°
F 平均值	45.5	29.2	7.8	0.0

由直角座標圖可得，身體傾斜度 θ 越小，拉力 F 越大。

(D)

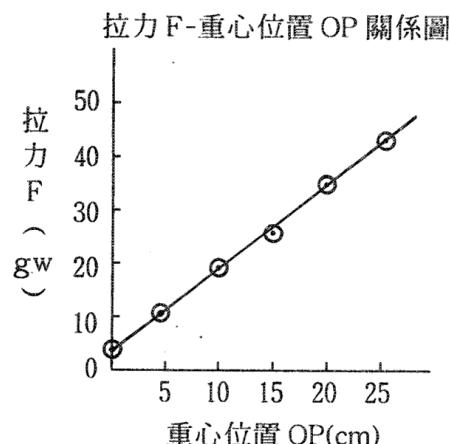
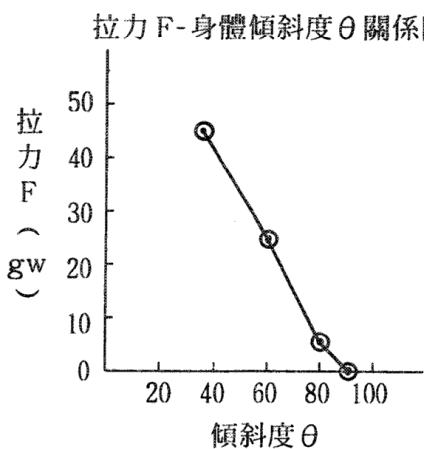
1. 實驗目的(4)：重心位置 OP 對拉力 F 的影響。
2. 實驗步驟：
 - (1)固定線離地面的高度 20cm。
 - (2)以砝碼 100 克代替體重。
 - (3)固定筷子與地面夾角 50°。
 - (4)改變砝碼到支點的距離 $OP = 5, 10, 15, 20, 25\text{cm}$ 測量彈簧秤的拉力。
3. 實驗結果：(拉力 F10 組平均值)

$OP = \text{支點到重心位置距離}$ 。

OP(cm)	0	5	10	15	20	25
F(gw)	2.0	11.0	19.2	25.6	36.2	43.2

由直角座標圖可得 OP 與拉力 F 成正比。

4. 實驗討論(一)：
 - (1)由〈傾斜度對拉力的影響〉實驗，我們發現傾斜度 θ 越小，重心位置愈低，拉力 F 愈大。
 - (2)由〈重心位置對拉力的影響〉實驗，我們發現 OP 與拉力 F 成正比，重心位置愈高，拉力 F 愈大。
 - (3)由討論(1)(2)可得拔河拉力，會隨著重心位置改變，但是對拉力的影響互相矛盾，所以又設計了以下實驗。



(E)

1. 實驗目的(5)：研究重心 X，Y 位置對拉力 F 的影響。

2. 實驗步驟：

(1) 固定繩子高度 12.5cm，砝碼 20g。

(2) 改變筷子傾斜度，用直角座標的觀念，取腳為支點移動砝碼，取重心座標 Y 值為 10 cm，測量不同 X 值的彈簧秤拉力。

(3) 固定繩子高度 20cm，砝碼 40g。

(4) 調整重心座標 X 值為 5cm 改變傾斜度，測量不同 Y 值及彈簧秤拉力。

3. 實驗結果：(拉力 F 十組平均值)

重心 X 位置， F_0 ：無砝碼拉力， F_1 ：平均值 gw

$F = F_1 - F_0$ ：砝碼造成的拉力

重心 X 位置對拉力 F 實驗數據

重心 Y 位置 = 10cm，砝碼重 (體重) $W = 20\text{gw}$ ，繩子高 $H = 12.5\text{cm}$

X 位置 (cm)	5	10	15	20
F_0 (cm)	8	14	20	25
F_1 平均 (gw)	17.2	30.6	43.2	55.8
$F = F_1 - F_0$ (gw)	9.2	16.6	23.2	30.8

重心 Y 位置對拉力 F 實驗數據

重心 X 位置 = 5cm，砝碼重 (體重) $W = 40\text{gw}$ 繩子高 $H = 20\text{cm}$

Y 位置 (cm)	5	10	15	20
F_0 (cm)	7	3	2	0
F_1 平均 (gw)	21.1	18.5	17.2	14.4
$F = F_1 - F_0$ (gw)	14.1	15.5	15.2	14.4

由直角座標圖可得

(1)重心的 X 位置與拉力 F 成正比。

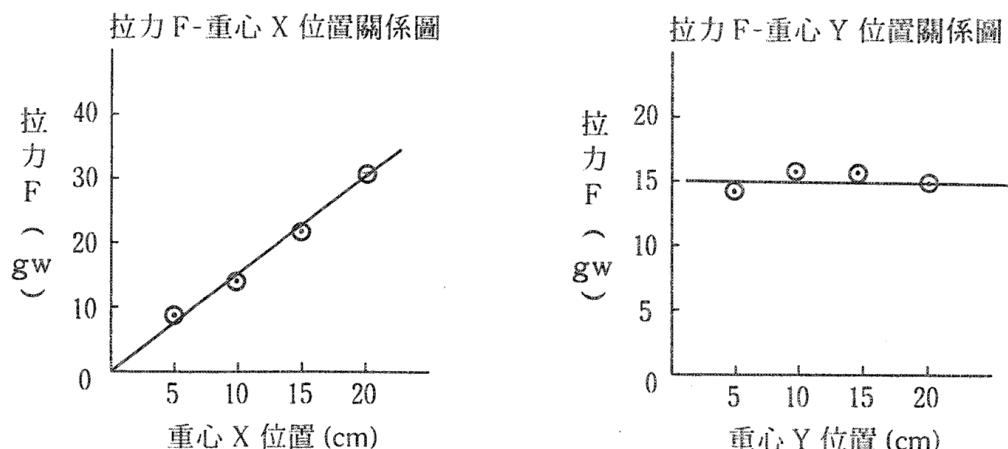
(2)重心的 Y 位置對拉力 F 的沒有影響。

由實驗(1)–(5)我們得到一個關係式 $F = KWX/H$ 。

我們用重心 (X 位置) 對拉力 F 實驗數據求 k 值

物理量組別	F (gw)	H (cm)	W (gw)	X (cm)	K=FH/WX
1	9.2	12.5	20	5	1.15
2	16.6	12.5	20	10	1.04
3	23.2	12.5	20	15	0.97
4	30.8	12.5	20	20	0.96

k 平均值 = 1.03 ≈ 1 所以關係式為 $FH = WX$



4. 實驗討論：(如圖)

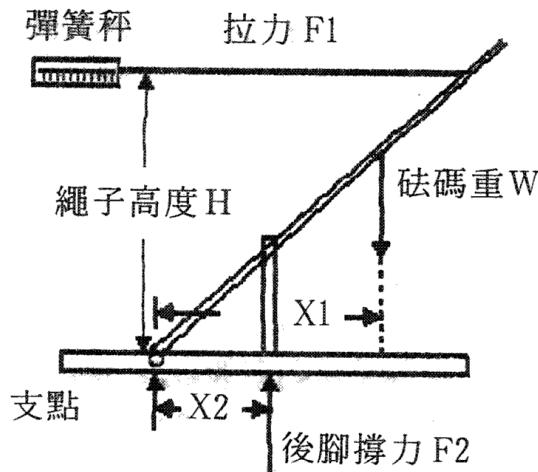
(1)拔河的拉力來源最先決條件是體重。

(2)我們利用力矩的觀念解釋 $F \times H = W \times X$ ，砝碼重 W 代表體重，方向垂直地面，支點代表腳，X 力臂是從支點到重心位置的水平距離。W 與 X 垂直，所以 $W \times X$ 產生順時針力矩 τ_1 。

(3)支點到繩子的距離為 H，繩子拉力 F 方向為水平，H 與 F 垂直，所以 $F \times H$ 產生順時針力矩 τ_2 。

(4)拔河靜止狀態的時候 $\tau_1 = \tau_2$ ， $W \times X = F \times H$ ，移項得到 $F = WX/H$ 此為拔河關係式的數學式。

(5)拔河的拉力來源是由體重，經由身體槓桿，以腳為支點旋轉，在繩子上產生拉力。



(二)身體姿勢實驗

我們將實驗(一)得到的結果，用人體模型驗證。

(F)

1. 實驗目的：改變人體姿勢對重心位置的影響。

2. 實驗步驟：

- (1)拿人體模型固定姿勢，用固定在貼有方格紙的厚紙板上。
- (2)拿繩子綁砝碼作鉛垂線，以長尾夾固定在厚紙板的一角。
- (3)拿彈簧秤勾住長尾夾，沿鉛垂線垂直在紙板上畫線。
- (4)再重覆其步驟，但長尾夾改變所夾位置。
- (5)畫出兩線交點，此點就是人體模型加厚紙板的重心位置。
- (6)改變人體模型，重覆前五步驟畫出另外一個重心位置。

3. 實驗結果：人體模型姿勢改變，重心位置也改變。

(G)

1. 實驗目的：改變模型各部份的姿勢，測量拉力。

2. 實驗步驟：

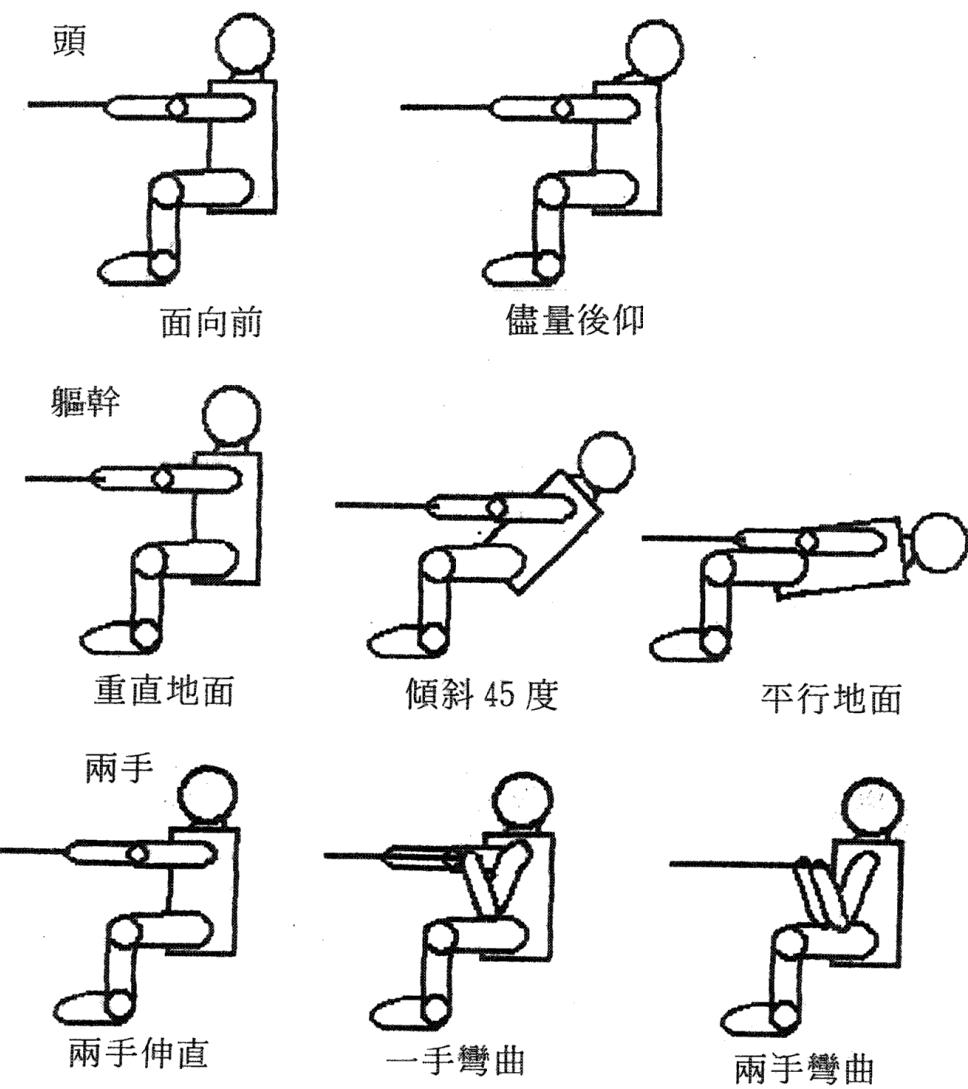
- (1)頭：固定手伸直拉線，小腿與地面垂直，大腿平行地面，軀幹直垂直地面，頭綁砝碼 100gw，改變頭的姿勢為 (a) 面向前 (b) 儘量往後仰測量拉力。
- (2)軀幹：固定手伸直拉線，小腿垂直地面，大腿平行地面，軀幹垂直地面，頭綁砝碼 100gw，改變軀幹與頭 (a) 垂直地面 (b) 傾斜 45° (c) 平行地面測拉力。
- (3)雙手：固定小腿垂直地面，大腿平行地面，軀幹垂直地面，改變雙手姿勢使其 (a) 兩手伸直 (b) 左手彎曲右手伸直 (c) 兩手都彎曲測量拉力。
- (4)大腿：固定手伸直拉線，小腿垂直地面，軀幹垂直地面，改變大腿使

其與地面夾角 (a)90° (b)45° (c)0° (d)-45° 測量拉力。

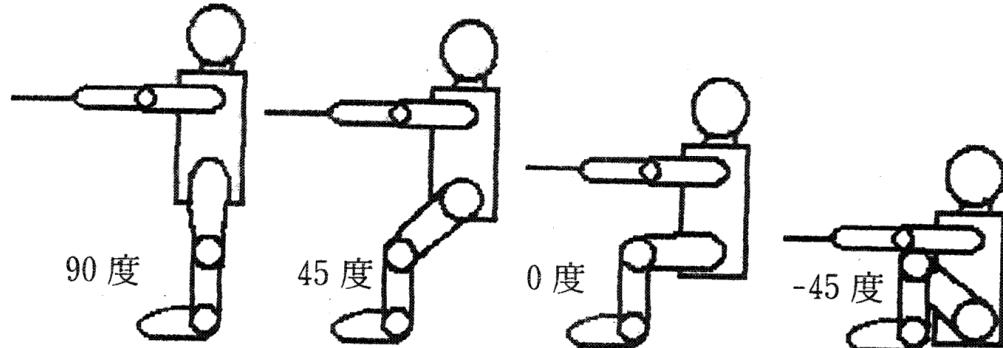
(5)小腿：固定手伸直拉線，大腿平行地面，軀幹與頭垂直地面，改變小腿與地面夾角 (a) 90° (b)45° 。

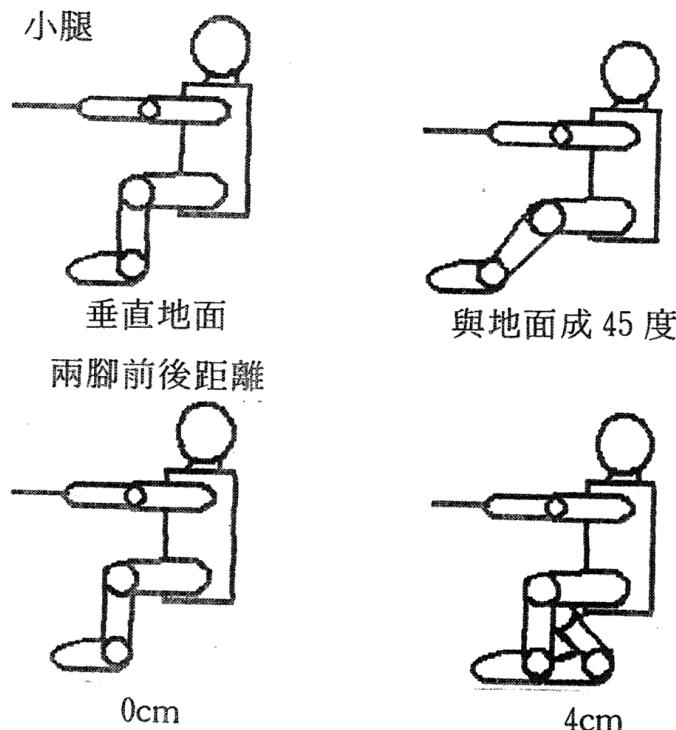
(6)腳：固定手伸直拉線，小腿垂直地面，大腿平行地面，軀幹垂直地面，改變兩腳前後距離 (a)0cm(b)4cm 測量拉力。

身體各部份姿勢



大腿與地面夾角





3. 實驗結果：（拉力 F10 組平均值）

(1)

頭的姿勢	頭正視前方	頭後仰
拉力 F(gw)	150.9	171.7

(2)

軀幹姿勢	垂直地面	傾斜 45 °	平行地面
拉力 F(gw)	97.8	135.4	223.8

(3)

手的姿勢	兩手伸直	右手回收	兩手回收
拉力 F(gw)	66.4	83.2	85.0

(4)

大腿與地面夾角	90 °	45 °	0 °	-45 °
拉力 F(gw)	0	60.0	98.7	105.4

(5)

小腿與地面夾角	90 °	45 °
拉力 F(gw)	96.3	183.3

(6)

兩腳前後距離	兩腳平行併列	兩腳前後距 4cm
拉力 F(gw)	198.5	29.7

前後腳的實驗得到一個結果，雙腳並列拉力較大，當一腳在前一腳在後拉力較小，我們不知其原因所以利用簡單模型來探討其原因。

(H)

1. 實驗目的：研究兩腳前後距離，對拉力的影響。

2. 實驗步驟：

(1)我們在筷子模型中央綁兩支短筷子代表後腳。

(2)短筷子垂直地面，底部到支點的水平距離為 X_1 。

(3)未掛砝碼用 A 彈簧秤測量繩子拉力 F_0 。

(4)用橡皮筋綁住 B 彈簧秤，另一端綁短筷子底部，將 B 彈簧秤施力提高如同地面後腳的撐力 F_1 。

(5)取 $H = 17.5$ ， $W = 100\text{gw}$ ， $\theta = 40^\circ$ ， $OP = 20.5\text{cm}$ 。

(6)固定 $X_1 = 10\text{cm}$ ，B 彈簧秤施拉力 $F_2 = 20, 40, 60, 80, 100\text{gw}$ ，用 A 彈簧秤測量繩子拉力 F_1 。

(7)取 $H = 17.5$ ， $W = 100\text{gw}$ ， $\theta = 40^\circ$ ， $OP = 20.5\text{cm}$ 。

(8)B 彈簧秤施力 $F_2 = 100\text{gw}$ ，移動短筷子改變 $X_1 = 2, 4, 6, 8, 10\text{cm}$ 測量 A 彈簧秤拉力 F_1 。

3. 實驗結果：

F_0 ：未掛砝碼繩子拉力 F_1 ：A 秤繩子拉力

F_2 ：B 秤拉力（地面撐力） X_1 ：後腳到前腳距離

$F = F_1 - F_0$ ：砝碼重造成的繩子拉力

前後腳分開，不同撐力 F_2 對拉力 F_1 數據

取 $H = 17.5$ $W = 100\text{gw}$ $\theta = 40^\circ$ $OP = 20.5\text{cm}$ $X_1 = 10\text{cm}$

撐力 $F_2(\text{gw})$	20	40	60	85	100
F1 平均 (gw)	95.4	78.7	69.6	54.1	42.5

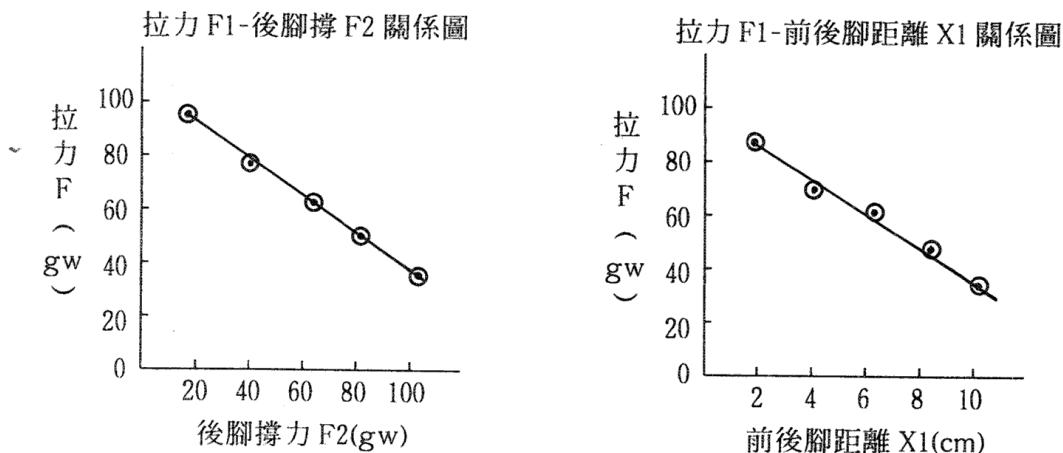
前後腳分開，不同 X1 距離對拉力 F1 數據

取 $H = 17.5$ $W = 100\text{gw}$ $\theta = 40^\circ$ $OP = 20.5\text{cm}$ $X1 = 100\text{gw}$

X1 位置 (cm)	2	4	6	8	10
F1 平均 (gw)	88.1	75.8	65.0	53.2	42.5

(1)由直角座標圖可得，地面撐力增加拉力減小。

(2)前後腳分開距離越大拉力減小。



4. 實驗討論：

(1)身體姿勢改變會改變重心位置。

(2)要產生較大拉力的姿勢必須

(a) 體重要重，頭、大腿、身體平行地面。

(b) 兩手收回握住繩子（實際這樣太久手會抽筋）。

(c) 小腿與地面夾角要小，兩腳必須平行並列。

(3)體重 W 與後腳到支點的距離 $X1$ 垂直，產生順時針力矩 $\tau_1 = W \times X1$ 。

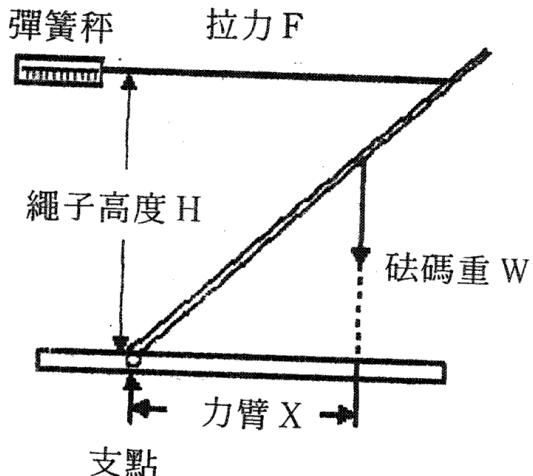
繩子拉力 $F1$ 與支點到繩子的高度 H 垂直，產生逆時針力矩 $\tau_2 = F1 \times H$ 。

地面撐力 $F2$ 施力給後腳，垂直後腳到支點的距離 $X2$ ，產生逆時針力矩 $\tau_3 = F2 \times X2$ 。

地面撐力 $F2$ 產生逆時針力矩 τ_3 ，會抵消體 W 產生的順時針力矩 τ_1 ，使得拉力 $F1$ 減弱。

(4)如果後腳力臂 $X2$ 不變，撐力越大則 τ_3 越大使得拉力 $F1$ 越小。

(5)後腳離支點越遠，使得後腳力臂 $X2$ 越長，如果撐力 $F2$ 不變則 τ_3 越大，則拉力 $F1$ 越小。



五、研究結論

- (1) 拔河力量的來源，必須有地心吸力產生體重 W ，然後體重 W 施力在人體上（人體可看作是槓桿），以腳為支點旋轉，作用在水平繩子上而產生拉力。
- (2) 拔河的物理原理，是體重造成的力矩，和繩子拉力所造成的力矩，在靜止時達到力矩平衡。
- (3) 如果身體姿勢改變，會改變力矩平衡，影響拉力大小。
- (4) 新式和舊式拔河的不同：

項 目	新 式 拔 河	舊 式 拔 河
繩 子	距離地面低	距離地面高
重心位置	離腳支點遠	靠近腳支點
雙腳位置	兩腳平行並列	兩腳前後分開
選手位置	在繩子同一側前後較分開	左右交叉前後距離較擠

六、參考資料

1. 國中理化。
2. 國中數學。
3. 牛頓科學研習百科。

評語

本實驗考慮身體在用力的各階段中的姿勢，例如雙腳的距離，身體的傾度，雙手的彎曲度等，對於重心、施力臂等影響以產生最大的施力功效。具有趣味性，與應用性。具經應用於比賽屢得冠軍，已證明其正確性，是一有意義的研究成果。