

中華民國第 59 屆中小學科學展覽會

作品說明書

國小組 物理科

佳作

080114

百發百中-以力學分析影響陀螺擲準因素與改良

學校名稱：新北市淡水區竹圍國民小學

作者：	指導老師：
小六 陳乃恩	陳建興
小六 陳冠閔	邱玉彤
小六 顏子庭	
小六 黃建泓	
小六 陳麒文	
小六 張 懿	

關鍵詞：摩擦力、重心、角動量

摘要

本研究以力學分析影響陀螺擲準因素，並依據研究結果進行改良，製作適合小學五、六年級學生投擲的陀螺，並與其他陀螺比較。研究結果發現影響陀螺轉速、轉動時間、陀螺擲準因素有摩擦力、重心、繞繩、螺釘、重量、大小、形狀、距離高度。進行改良，設計尾凸和握手線，好握好施力。陀螺刻出三條防滑線增加靜摩擦力 1.0kg。調整陀螺錐度讓陀螺翻轉正確。中心加螺管降低重心 0.6cm，陀螺底部鑽孔降低重心 0.3cm，轉動更穩定。改良後，自製陀螺比一般陀螺轉速快(817 轉)平均得分高 1.36 分，失誤率減少 0.36。模擬擲準比賽，自製陀螺比學校陀螺高 1.5 分，比表演陀螺高 6.2 分。新手學習 2 小時，自製陀螺投擲成功率 0.85，比一般陀螺高 0.25，自製陀螺提高學習效果有利推廣陀螺體育活動。

壹、研究動機

學校每年都會參加陀螺擲準比賽，雖然我們花了兩年時間努力練習陀螺擲準，但是與強隊的實力仍有一段差距。陀螺老師說：「這可能是因為練習不足，手握的方法不正確，姿勢不佳，還有最重要的是你手上的陀螺不適合你，對你們來說，陀螺可能太重、太輕、太大、太小、形狀不良，對於初學者來說一個合適的陀螺是非常重要的。」所以我們想以力學的觀點來設計一個屬於我們自己的陀螺，能更有效學習陀螺擲準，幫助我們既容易學又打的準，讓我們陀螺擲準能夠「百發百中」。

貳、研究目的

- 一、力學分析影響傳統陀螺的轉速、轉動時間、擲準因素。
- 二、以力學改良傳統陀螺的轉速、轉動時間、失誤率。
- 三、自製陀螺與學校、市售陀螺比較優缺點，並推廣陀螺民俗體育活動。

參、文獻探討

一、陀螺轉動力學基本概念探討

(一) I (轉動慣量) $=M$ (質量) $\times R^2$ (半徑平方)。質量越大，半徑越大，轉動慣量越大。

(二) $L(\text{角動量})=I(\text{轉動慣量})\times\omega^2(\text{轉速平方})$ 。**角動量與轉速平方成正比。**

$$= M(\text{質量})\times R^2(\text{半徑平方}) \times\omega^2(\text{轉速平方})。$$

(三) 轉動動能 $=1/2(I(\text{轉動慣量})\times\omega^2(\text{轉速平方}))$ 。蔡尚芳 (2001)。

(四) 陀螺越重，陀螺角動量越大，陀螺的轉動時間越久，溫文台 (2015)。

(五) 重心越低，轉動越穩定，陀螺越不會搖動。楊子賢 (2004)、張詠翔 (2017)。

(六) 陀螺釘頭對桌面摩擦力越小，轉動時間越久。邱楹媛 (2006)。

二、角動量守恆：陀螺的轉動，旋轉體之角動量及轉動動能依角動能守恆原理，理論上陀螺是會持續不斷的旋轉，角動量會保持一定值，即角動量守恆。但是由於陀螺與底座有摩擦、風阻，會造成能量虧損，緊接著角速度會變小，陀螺越轉越慢，陳義勳 (2010)。

三、摩擦力：存在於兩界面間有相對運動（動摩擦），沒有相對運動（靜摩擦）。

纏繞圈數愈多，最大靜摩擦力愈大，楊舒喬 (2018)。

四、重心：物理上的重心，物理上的質心，物體的質量中心。

五、台灣木陀螺發展

詹韻鈴、歐宗明、蔡宗信 (2015)。台灣陀螺發展，今日臺灣常見的陀螺屬於木陀螺中的繞繩陀螺。在閩南語則稱為「甘樂」。初期，由於陀螺的玩法多採「釘干樂」形式的，歸類暴力或粗野童玩，因安全問題，學校禁止於校園中玩，也影響陀螺活動。2000年教育部體育司「發展學校民俗體育中程計畫」陀螺教材於2011年正式出刊，至大溪大干樂不同重量陀螺施打的成功賽，及持續轉動的持久賽，**現今以技巧與投擲準度的形式判定。**

六、陀螺比賽的制度的優缺點

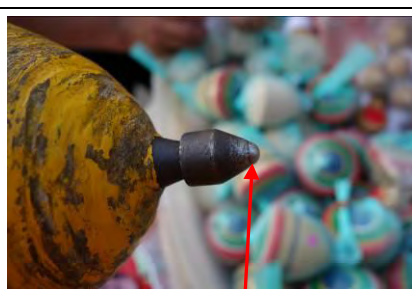
新式陀螺比賽創始者劉永和教練，一般比賽是2.5公尺擲準距離，劉永和教練建議比賽距離為4公尺（難度很高），以擲準作為比賽項目，評分標準客觀公平。但是陀螺擲準，學生必需要長期的練習，相同的擲準動作，在學習上缺乏變化，學生的學習興趣降低，於是想創造一些好玩的玩法，研究花式陀螺提高學生的學習興趣，以表演的方式呈現陀螺的美技。(新北市米倉國小，2008)。

七、陀螺擲準形式與打法分析表

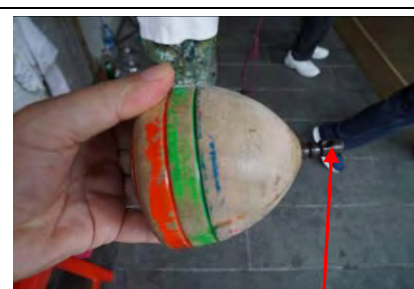
隊伍	三峽陀螺隊	大溪藝人	桃園市美華國小	新北市米倉國小	新北市明志國小	本校
指導老師	曾隊長	蕭可鉅	吳主任	黃老師	莊老師	顏老師
師承	不詳	不詳	不詳	劉永和	劉永和	劉永和
陀螺直徑	8.8~9.3cm	9.0~9.5 cm	8.8~9.3 cm	8.3~8.7 cm	8.3~8.7 cm	8.3~8.7 cm
陀螺重量	280~330 克	340~380 克	280~330 克	250~280 克	250~280 克	250~280 克
陀螺錐度	半圓	半圓	半圓	尖錐、半圓	尖錐、半圓	尖錐、半圓
陀螺尾部	平圓	平圓	平圓	平圓、尖錐	平圓、尖錐	平圓、尖錐
陀螺釘頭直徑與紋路	1.0cm 雙深紋	1.5cm 單深紋	0.9cm~1.5cm 單深紋或小紋(2~3)	0.8~0.9 cm 小紋(2~3)	0.8~0.9 cm 小紋(2~3)	0.8~0.9 cm 小紋(2~3)
投擲距離	300~350cm	250~300cm	250~300cm	320~400cm	320~400cm	320~400cm
釘頭繞繩	交叉 6 圈、平行往復 4 圈	交叉 6 圈	交叉 6 圈 平行往復	平行往復 8~12 圈	平行往復 8~12 圈	平行往復 8~12 圈
手部結繩	擋線板或繩圈	擋線板或繩圈	擋線板或繩圈	繞無名指或小指	繞無名指或小指	繞無名指或小指
投擲高度	100~250cm	100~140cm	0~150cm	0~100cm	0~100cm	0~100cm
陀螺繩直徑	約 0.6 cm	約 0.9 cm	約 0.6 cm	0.4~0.5 cm	0.4~0.5 cm	0.4~0.5 cm
主要站法	左腳在前	左腳在前	左腳在前	左腳在前 雙腳平行	雙腳平行	右腳在前 雙腳平行
花式表演	花式	花式	花式	花式	較少	較少
對外表演	有	有	有	有	無	無
投擲特色	打高、打準	打準	打準	打高、打準	打準	打準



大溪藝人交叉繞線 6 圈



大溪藝人釘頭有鋼珠



三峽陀螺隊 1.0cm 雙深紋螺釘

八、文獻探討總結與研究方向

有關於傳統木陀螺相關的文獻，大部分屬於歷史與活動的記載，幾乎沒對於傳統木陀螺物理實驗的相關研究。陀螺比賽的方式由粗暴的活動轉變為以陀螺擲準為主，投擲距離為 400cm，這對剛學習或正在學習的小學生，是一種學習挑戰。我們的研究是想在現有陀螺的基礎上，改良設計適合我們的陀螺，讓學生能在最短的時間，用最有效的方法把陀螺擲準學好，提高學習興趣。我們的目標是只要會丟棒球（投擲棒球手握方式與投擲陀螺類似），由老師指導 20 小時（每週一小時，約 20 週），就能學會初步陀螺擲準。

九、科展相關研究分析表

表 1 本研究與歷屆科展相關研究比較表

參考資料 影響因素	尤智德 (2002)	楊子賢 (2004)	邱楹煖 (2006)	溫文台 (2015)	張詠翔 (2017)	本次研究
發射方式	龍形齒條	發射台	發射台	發射台	發射台	繞繩投擲
陀螺來源	購買	自製	自製	自製	自製	自製
陀螺材料	鐵、塑膠	紙	紙	紙	紙	木頭
陀螺製作	不需製作	容易	容易	容易	容易	木工車床
陀螺重量	50~100克	50~100克	50~100克	50~100克	50~100克	250~300克
陀螺大小	5公分	5~10公分	5~10公分	5~10公分	5~10公分	8.3~9.2公分
操作技巧	容易	容易	容易	容易	容易	要技巧
投擲目標	無	無	無	無	無	有
研究目的	最佳陀螺 用於遊戲	最佳陀螺 用於遊戲	最佳陀螺 用於遊戲	最佳陀螺 用於遊戲	最佳陀螺 分析運動	最佳陀螺 競賽表演
研究項目	龍形齒條 的長短、 發射的力 量、陀螺 的重量	重心、本 體面積、 質量分布	摩擦力越 小、陀螺 腳高低、 陀螺旋轉 面積越 大、旋轉 陀螺的線 越長	陀螺重 量、陀螺 軸高、陀 螺盤面大 小	陀螺盤面 大小、陀 螺軸高、陀 螺的幾何形 狀	繞繩因素、陀螺釘因 素、陀螺因素、高度 與距離因素、人為因 素。 進行設計改良：設計 尾凸與握手線、陀螺 刻出三條防滑線、陀 螺的錐度、可替換釘 頭(降低重心)、陀螺 底部鑽孔(降低重 心)。
分析結果	轉動時間	轉動時間	轉動時間	轉動時間	轉動時間 轉動軌跡	轉速、轉動時間、平 均得分、失誤率、失 誤原因

- (一) 由表 1 發現：本研究與歷屆科展相關研究都屬於陀螺，在運用的原理相同，差異在**本次研究有投擲目標**，且陀螺材料、陀螺製作、陀螺重量、陀螺材質、操作技巧也不同。本研究著重在**提高陀螺轉速**，增加繞繩摩擦力，降低重心，讓陀螺擲準更容易學習。
- (二) 本研究以陀螺擲準為主，需要較高的技巧，操作不易，我們也試著依據陀螺特性設計發射架，但對於小學生難度太高。另外本研究所使用的陀螺較重，投擲的棉繩長 450cm，投擲距離 400cm 高度 100cm，目標（直徑 30cm），投擲力量大，轉速快（2800~3500 轉/分），要使用發射架有困難，所以採人數多與投擲次數多的方式，以求實驗數據之客觀性。

肆、研究器材與設備

一、器材

自製木盤（50cm×50cm）、陀螺棉繩直徑 0.5cm、收集各種投擲陀螺、自製各式陀螺 40 個、
栓木（9cm×9cm×240cm）、白鐵陀螺釘 0.9cm（20 支）、3 分白鐵壁虎 30 支、3 分螺絲接管
30 個、塑膠墊（2m×8m）。

二、設備：木工車床、光電測轉速器。

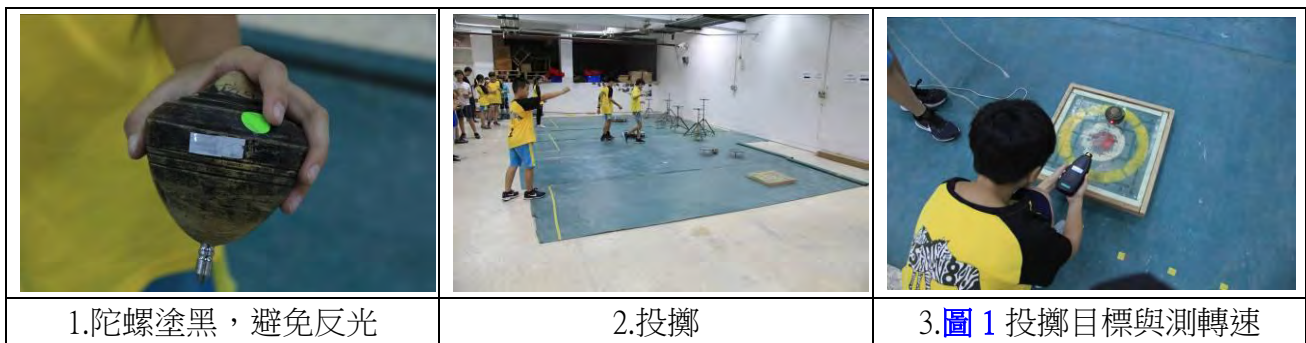
三、測量方法：光學測量法

光電轉速計測量：光電式轉速計 DT-2234C。測度範圍：2.5—99,999 轉數/分。

（一）測量步驟：

1. 陀螺繞繩與投擲距離（釘頭往復繞繩 8 圈，投擲距離 320cm）。
2. 投擲目標 50cm×50 cm，以 10 cm 為 1 圈共分 5 圈(如圖 1)，打中中心得分 5 分，最
外圈 1 分，其他類推。
3. 轉速，將陀螺投擲於陀螺盤面上後，開始測量轉速。

（二）測量方法圖說



四、名詞說明

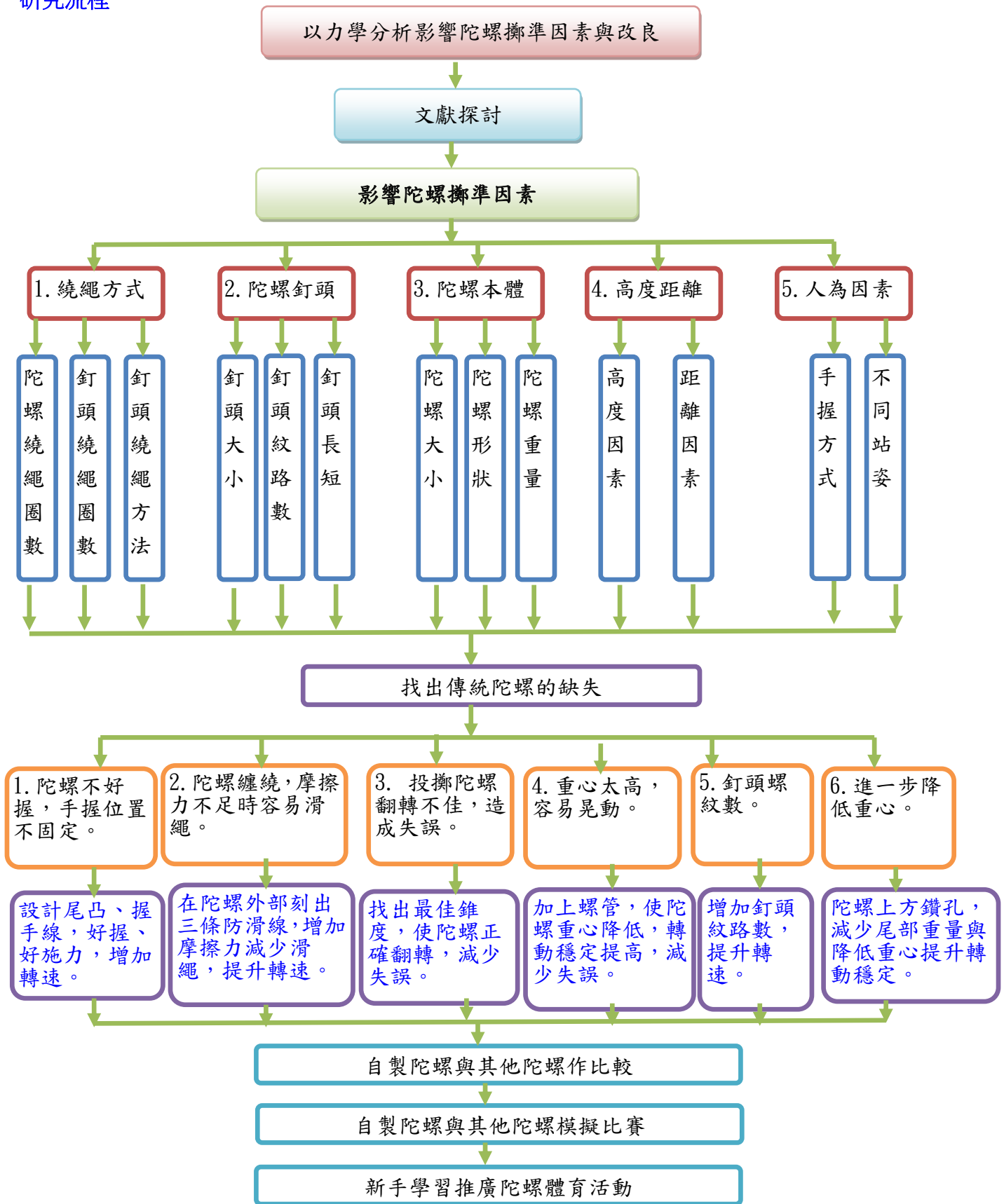
（一）**陀螺翻轉**：打陀螺時手握陀螺為水平方向，打到陀螺盤時會翻轉成垂直方向，如翻轉
方向不正確（釘頭沒有垂直盤面）陀螺轉動時產生晃動，影響轉速、轉動時間。

（二）**尾凸**：設計在陀螺尾部凸起的施力點。

（三）**握手線**：設計陀螺中間的橫溝，能正確握住固定位
置。（如右圖）



研究流程



研究流程圖

伍、研究方法與結果

一、以力學分析傳統陀螺的擲準形式與打法的優缺點

依據文獻探討台灣北部地區陀螺的打法主要可分為兩種，一種是以三峽大溪為主的打法，另一種是劉永和老師為主的打法，各有其優點。依據不同的打法來探討現有傳統陀螺擲準形式的差異，作為實驗探討問題。(1) 繞繩差異 (2) 陀螺釘頭差異 (3) 陀螺差異 (4) 距離與高度差異 (5) 人為差異。依據差異性進行第一階段的實驗。

參加實驗的學生：已經練習 2 年陀螺擲準學生 5 位，每位學生投擲 5 次，共投擲 25 次。計算轉速（轉/分）、轉動時間（秒）、平均得分（滿分 5 分）。

(一)繞繩方式對陀螺轉速與轉動時間的影響

1.實驗 1-1 陀螺繩繞圈數對陀螺轉速與轉動時間的影響

陀螺繞繩為陀螺轉動力量來源，繞繩圈數的多寡對於轉速與轉動時間的影響？

實驗 1-1	操縱變因	控制變因	實驗結果	
			轉速（轉/分）	轉動時間（秒）
陀螺繞繩圈數	14 圈	陀螺（8.7cm）292 克	2431	35.12
	15 圈	陀螺繩直徑 0.5cm	2582	36.76
	16 圈	釘頭繞繩往復 8 圈	2737	40.72
	17 圈	投擲距離 320cm	2803	42.92

由實驗 1-1 發現：繞繩圈數越多時，施力增加，所以轉速與轉動時間增加。

2.實驗 1-2 陀螺釘頭繞繩圈數對轉速與轉動時間的影響

在陀螺釘頭往復式繞繩（2~10 圈），再將陀螺繩綁在電子秤鈞秤的掛勾，用力拉動直到陀螺繩滑動為止，就可以測量出靜摩擦力。測量結果，2 圈（靜摩擦力 0.4 kg）、4 圈（摩擦力 3.8 kg）、6 圈（靜摩擦力 5.8 kg）、8 圈（靜摩擦力 6.0 kg）、10 圈（靜摩擦力 6.8 kg）。(如圖 3)

實驗 1-2	操縱變因	控制變因	實驗結果	
			轉速（轉/分）	轉動時間（秒）
釘頭繞繩圈數	往復 2 圈	陀螺（8.7cm）292 克	2197	30.17
	往復 4 圈	陀螺繩直徑 0.5cm	2777	42.29
	往復 6 圈	投擲距離 320cm	2826	44.52
	往復 8 圈		2890	45.44
	往復 10 圈		2968	45.96

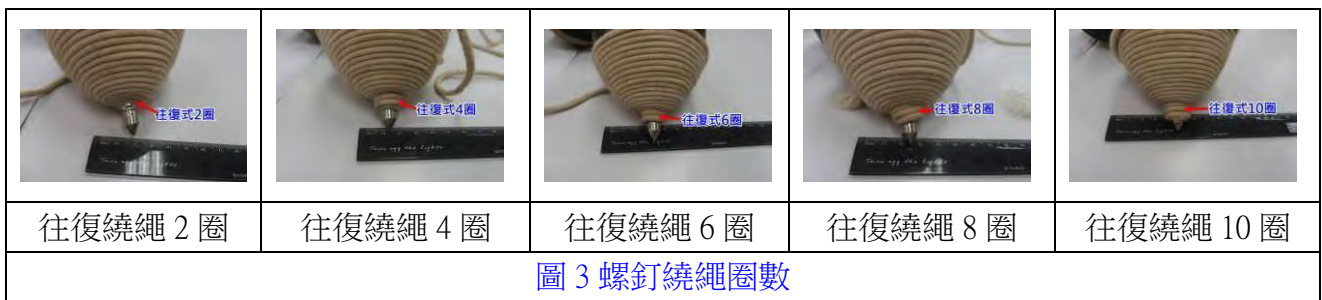


圖 3 螺釘繞繩圈數



圖 1-2-1 轉速與靜摩擦力關係圖



圖 1-2-2 轉動時間與靜摩擦力關係圖

- (1) 由實驗 1-2 發現，轉速：10 圈 > 8 圈 > 6 圈 > 4 圈 >> 2 圈。轉動時間：10 圈 > 8 圈 > 6 圈 > 4 圈 >> 2 圈。釘頭繞繩 2 圈（繞繩靜摩擦力 0.4kg）靜摩擦力小，投擲陀螺飛出盤外。
- (2) 由圖 1-2-1、1-2-2 發現，當往復式繞繩越多，施力圈數越多，靜摩擦力大，帶動陀螺的施力越大，所以陀螺轉速快，轉動時間較長。往復式繞繩 2 圈時，因為固著力小（靜摩擦力 0.4kg），所以打出的陀螺很容易直接飛出盤外。

3. 實驗 1-3 陀螺釘頭不同繞繩方式對轉速與轉動時間的影響

陀螺釘頭做不同繞繩，釘頭往復繞繩 8 圈（繞繩靜摩擦力 4.2kg），釘頭交叉繞繩 8 圈（繞繩靜摩擦力 2.8kg），釘頭任意繞繩 8 圈（繞繩靜摩擦力 1.8kg）。（如圖 4）

實驗 1-3	操縱變因	控制變因	實驗結果	
			轉速 (轉/分)	轉動時間 (秒)
釘頭繞繩方式	往復 8 圈	陀螺 (8.7cm) 292 克	2911	45.12
	交叉 8 圈	陀螺繩直徑 0.5cm	2834	43.83
	任意 8 圈	投擲距離 320cm	2816	43.40



(圖 4) 陀螺釘頭繞繩方式

(1) 由實驗 1-3 發現，轉速：往復繞繩 8 圈 > 交叉繞繩 8 圈 > 任意繞繩 8 圈。轉動時間：往復 8 繞繩圈 > 交叉繞繩 8 圈 > 任意繞繩 8 圈。

(2) 由於繞繩往復 8 圈（繞繩靜摩擦力 4.2kg）較大，繞繩方式平整，施力較大又較平均，所以轉速較快，轉動時間比較長。繞繩任意 8 圈（繞繩靜摩擦力 1.8 kg）較小，所以轉速較慢，轉動時間較短。

(二) 陀螺釘頭對轉速、轉動時間、得分的影響

1. 實驗 2-1 釘頭直徑對轉速、轉動時間、得分的影響

大溪、三峽所使用的陀螺釘為粗圓釘頭，本校為細尖釘頭，哪一種釘頭比較佳？釘頭 0.8cm（動摩擦力 142 克）、釘頭 0.9cm（動摩擦力 158 克）、釘頭 1.5cm（動摩擦力 205 克）（如圖 5）。

實驗 2-1	操縱變因	控制變因	實驗結果		
			轉速(轉/分)	轉動時間(秒)	平均得分
釘頭直徑	釘頭 0.8cm	陀螺 8.5cm 約 256 克	3040	43.15	2.84
	釘頭 0.9cm	投擲距離 320cm	2907	41.50	2.64
	釘頭 1.5cm	陀螺繩直徑 0.5cm	2793	37.88	2.04



圖 5 不同陀螺釘頭直徑

粗釘頭繞繩

細陀螺繞繩

(1) 由實驗 2-1 發現，轉速：釘頭直徑 0.8cm > 釘頭直徑 0.9cm > 釘頭直徑 1.5cm。轉動時間：釘頭直徑 0.8cm > 釘頭直徑 0.9cm > 釘頭直徑 1.5cm。平均得分：釘頭直徑 0.8cm > 釘頭直徑 0.9cm > 釘頭直徑 1.5cm。

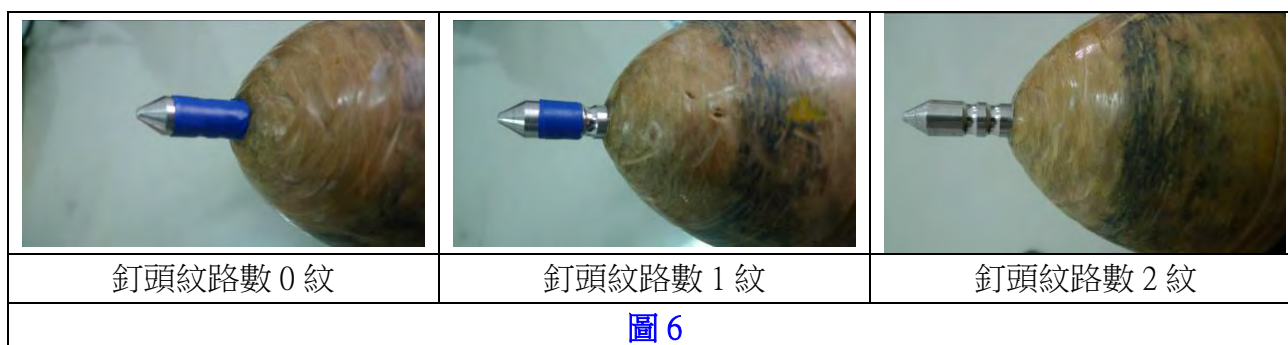
(2) 細尖釘頭摩擦力比較小(動摩擦力 142 克)，所以轉速比較快。粗釘頭(動摩擦力 205 克) 摩擦力較大，轉動時間較短，邱楹煖(2006)。細尖釘頭較尖容易固定在盤面，不易滑動，粗圓釘頭不易固定在盤面容易滑動，彈跳掉出盤面。

2.實驗 2-2 釘頭紋路數對轉速、轉動時間、得分的影響

陀螺釘頭有不同紋路數，不同的紋路數會影響轉速、轉動時間嗎？進一步的影響得分？

將釘紋設計為，紋路 0 紋釘(繞繩靜摩擦力 1.5kg)，紋路 1 紋釘(繞繩靜摩擦力 2.1 kg)，紋路 2 紋釘(繞繩靜摩擦力 2.8 kg)，釘頭釘紋數越多，繞繩靜摩擦力越大。

實驗 2-2	操縱變因	控制變因	實驗結果		
			轉速(轉/分)	轉動時間(秒)	平均得分
釘頭紋路數	紋路 0 紋	陀螺 (8.7cm) 290 克	2886	44.52	2.72
	紋路 1 紋	投擲距離 320cm	2918	45.76	2.76
	紋路 2 紋	釘頭繞繩往複 8 圈	2995	46.00	2.88
		陀螺繩直徑 0.5cm			



(1) 由實驗 2-2 發現，轉速：紋路 2 紋 > 紋路 1 紋 > 紋路 0 紋。轉動時間：紋路 2 紋 > 紋路 1 紋 > 紋路 0 紋。平均得分：紋路 2 紋 > 紋路 1 紋 > 紋路 0 紋。

(2) 當釘頭紋路數越多，繞繩靜摩擦力越大，對陀螺轉速、轉動時間、平均得分有提升效果。

3.實驗 2-3 釘頭長短對轉速、轉動時間、平均得分的影響

釘頭長度越長(圖 7)，陀螺重心越高，是否影響陀螺轉速、轉動時間、平均得分？

實驗 2-3	操縱變因	控制變因	實驗結果		
			轉速(轉/分)	轉動時間(秒)	平均得分
釘頭長短	2cm	陀螺 8.5cm 約 245 克	3103	33.81	2.80
	3cm	投擲距離 320cm	3041	32.95	2.58
	4cm	釘頭繞繩往複 8 圈	3029	32.50	2.36
		陀螺繩直徑 0.5cm			

(1) 由實驗 2-3 發現，轉速：2cm > 3cm > 4cm，轉動時間：
2cm > 3cm > 4cm。平均得分：2cm > 3cm > 4cm。

(2) 當陀螺釘頭越長，的重心越高，打出陀螺轉動時容易
產生晃動現象，造成轉速下降較快，轉動時間較短。釘
頭越短，重心越低，轉動比較穩定，楊子賢（2004），
轉速較快，轉動時間較長。



圖 7 釘頭長度

(三) 陀螺對轉速、轉動時間、平均得分的影響

1. 實驗 3-1 陀螺直徑與重量對轉速、轉動時間、得分的影響

發現陀螺直徑由 8.0~9.2cm（如圖 8），陀螺大小會影響轉速與轉動時間嗎？哪一種直徑的陀螺最適合用來陀螺擲準？

實驗 3-1	操縱變因	控制變因	實驗結果		
			轉速(轉/分)	轉動時間(秒)	平均得分
陀螺直徑	直徑 8.0cm	釘頭繞繩往復 8 圈	3197	33.50	2.40
	直徑 8.5cm	投擲距離 320cm	2919	40.62	2.84
	直徑 9.2cm	陀螺繩直徑 0.5cm	2882	48.20	2.60



圖 8 不同陀螺直徑

投擲實驗

投擲實驗

(1) 由實驗 3-1 發現，轉速：直徑 8.0cm > 直徑 8.5cm > 直徑 9.2cm。轉動時間：直徑 9.2cm
> 直徑 8.5cm > 直徑 8.0cm。平均得分：直徑 8.5cm > 直徑 8.0cm > 直徑 9.2cm。

(2) 在相同陀螺繩長下，繞在直徑 8.0cm 陀螺的圈數越多，轉速越快。直徑 9.2cm 陀螺的
重量較重，轉動慣量較大，施力要越大，角動量大，轉動時間最長，溫文台（2015）。直
徑 8.5cm 最適合我們手握的大小，好握好施力，失誤少得分高。

2.實驗 3-2 陀螺尾部形狀對轉速、轉動時間、得分的影響

陀螺尾部形狀(如圖 9) 有平底、小凸、尖凸，是否會影響陀螺的轉速與轉動時間？進一步影響平均得分？

實驗 3-2	操縱變因	控制變因	實驗結果		
			轉速(轉/分)	轉動時間(秒)	平均得分
陀螺尾部 形狀	平底	釘頭繞繩往復 8 圈	2872	39.33	2.68
	小凸	投擲距離 320cm	2913	40.48	2.84
	尖凸	陀螺 8.5cm 約 260 克	2889	40.24	2.32
		陀螺繩直徑 0.5cm			

(1) 由實驗 3-2 發現，轉速：小凸>尖凸>平底。轉動時間：小凸>尖凸>平底。平均得分：小凸>平底>尖凸。

(2) 由實驗發現，小凸陀螺在轉動時較穩定，尖凸陀螺因為重心較高，容易產生晃動，投擲的準度比較差，平底陀螺不好握。



(圖 9) 陀螺尾部形狀

3.實驗 3-3 陀螺重量對轉速、轉動時間、得分的影響

陀螺的重量會影響轉速與轉動時間嗎？哪一種重量最適合陀螺擲準？

將陀螺尾部，用電鑽挖出四個洞直徑 1.4cm (如圖 10)，作為陀螺重量配重用，陀螺不加螺管時重 221 克，加 2 個螺管陀螺重 271 克（對稱放置），加 4 個螺管陀螺（對稱放置）321 克。

實驗 3-3	操縱變因	控制變因	實驗結果		
			轉速(轉/分)	轉動時間(秒)	平均得分
陀螺重量	重量 (221 克)	陀螺直徑 8.5cm	2853	29.05	2.48
	重量 (271 克)	釘頭繞繩往復 8 圈	2692	34.53	2.84
	重量 (321 克)	投擲距離 320cm	2543	36.21	2.40

(1) 實驗 3-3 發現，轉速：重量 221 克>重量 271 克>重量 321 克。轉動時間：重量 321 克>重量 271 克>重量 221 克。得分：重量 271 克>重量 221 克>重量 321 克。

(2) 陀螺重量越重，轉動動能越大，轉動時間越長。重量越小轉動動能越小，轉動時間越短。平均得分以陀螺重量 271 克最高。



圖 10 挖孔 配重 25 克
陀螺尾部用電鑽挖出四個洞

(四)高度與距離對轉速、轉動時間、平均得分的影響

1.實驗 4-1 不同投擲高度對轉速、轉動時間、平均得分的影響

陀螺擲準總共有 6 個盤子，投擲高度由地面到 100 cm(如圖 11)，投擲高度會影響轉速與轉動時間嗎？哪一種高度陀螺擲準較困難？

實驗 4-1	操縱變因	控制變因	實驗結果		
			轉速(轉/分)	轉動時間(秒)	平均得分
投擲高度	高度 0cm	投擲距離 320cm	2913	45.48	3.08
	高度 20cm	釘頭繞繩往復 8 圈	2891	44.58	2.84
	高度 40cm	陀螺直徑(8.7cm)	2873	43.50	2.60
	高度 60cm	陀螺重量 290 克	2862	43.22	2.52
	高度 80cm	陀螺繩直徑 0.5cm	2815	43.12	2.32
	高度 100cm		2806	42.17	2.36

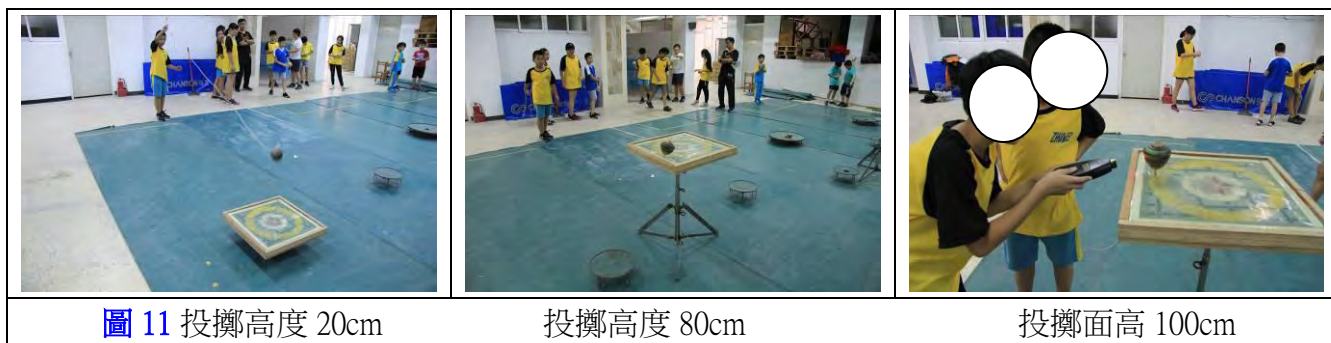


圖 11 投擲高度 20cm

投擲高度 80cm

投擲面高 100cm

(1) 由實驗 4-1 發現：投擲高度越高，轉速越慢，轉動時間越短，得分越低。

(2) 投擲高度越高、手擺動角度越高、投擲陀螺放手點越高，投擲力量越不易控制，容易造成陀螺歪斜，陀螺翻轉不正，失誤增加。

2.實驗 4-2 不同投擲距離對轉速、轉動時間、平均得分的影響

比賽時陀螺投擲距離 320cm~400cm(如圖 12)，投擲距離遠近會影響轉速與轉動時間嗎？

哪一個距離最難投擲？

實驗 4-2	操縱變因	控制變因	實驗結果		
			轉速(轉/分)	轉動時間(秒)	平均得分
投擲距離	距離 320cm	釘頭繞繩往復 8 圈	2868	42.10	3.08
	距離 340cm	陀螺直徑(8.7cm)	2874	43.42	2.48
	距離 360cm	陀螺重量 290 克	2903	44.25	2.80
	距離 380cm	陀螺繩直徑 0.5cm	2925	45.80	2.48
	距離 400cm		2987	46.24	2.12



圖 12 320cm 投擲

360cm 投擲

400cm 投擲

(1) 由實驗 4-2 發現，投擲距離越遠，轉速越快，轉動時間越長。投擲距離越遠，準度越差，得分越低。

(2) 投擲距離越遠繞繩長度越長，施力越大，轉速越快，角動量越大，轉動時間越長。投擲距離越遠，投擲力量要大，力量較不易控制，且目標越小，容易失誤。

(五)人為因素對轉速、轉動時間、得分的影響

1.實驗 5-1 手握方式不同對轉速、轉動時間、得分的影響

打陀螺的手握方式，依據手指擺放的前後，可分為前四後一、前三後二、前二後三(如圖 13)，手握方式不同會影響轉速、轉動時間嗎？哪一種手握方式打的最準？

實驗 5-1	操縱變因	控制變因	實驗結果		
			轉速(轉/分)	轉動時間(秒)	平均得分
手握方式	前四後一	釘頭繞繩往復 8 圈	2820	41.38	1.64
	前三後二	投擲距離 320cm	2862	43.32	2.76
	前二後三	陀螺(8.6cm) 280 克	2854	42.90	2.64
		陀螺繩直徑 0.5cm			

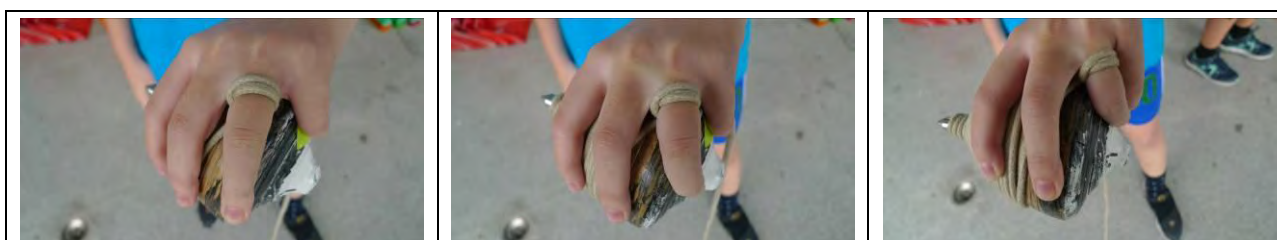


圖 13 前四後一

前三後二

前二後三

(1) 實驗 5-1 發現，轉速：前三後二> 前二後三>前四後一。轉動時間：前三後二>前二後三>前四後一。平均得分：前三後二>前二後三>前四後一。

(2) 依據實驗結果，手握方式以前三後二或前二後三在轉速、轉動時間、平均得分較佳，可能是學生比較常使用的握法，所以轉速快、轉動時間長、平均得分高。

2.實驗 5-2 不同站姿對轉速、轉動時間、平均得分的影響

打陀螺有不同站姿，大溪、米倉國小大部分為左腳在前，本校右腳在前，劉教練、明志國小為兩腳平行站立（如圖 14）。站姿會影響轉速、轉動時間嗎？哪一種站姿打得最準？

實驗 5-2	操縱變因	控制變因	實驗結果		
			轉速(轉/分)	轉動時間(秒)	平均得分
不同站姿	右腳在前	釘頭繞繩往復 8 圈	2888	44.33	2.92
	兩腳平行	投擲距離 320cm	2847	43.95	2.52
	左腳在前	陀螺(8.7cm) 292 克	2863	43.79	2.60



由實驗 5-2 發現，因為投擲的距離相同時，施力差異不大，對於轉速與轉動時間的影響有限，但是平均得分以右腳較佳，推測可能是因參與實驗的學生平常站姿以右腳在前居多，因此比較習慣原有姿勢。

二、以力學改良傳統陀螺的轉速、轉動時間、平均得分、失誤率

由研究一發現影響陀螺轉速、轉動時間、擲準因素有摩擦力、重心、繞繩、螺釘、重量、大小、形狀、距離高度。一個好投擲的陀螺要（1）釘頭長度約 2cm、釘頭直徑 0.8cm 或 0.9cm，釘頭要尖，釘頭紋路數多。（2）陀螺重量（270~280 克）。（3）陀螺直徑大小（8.5~8.7cm）。（4）尾部小凸為最佳。

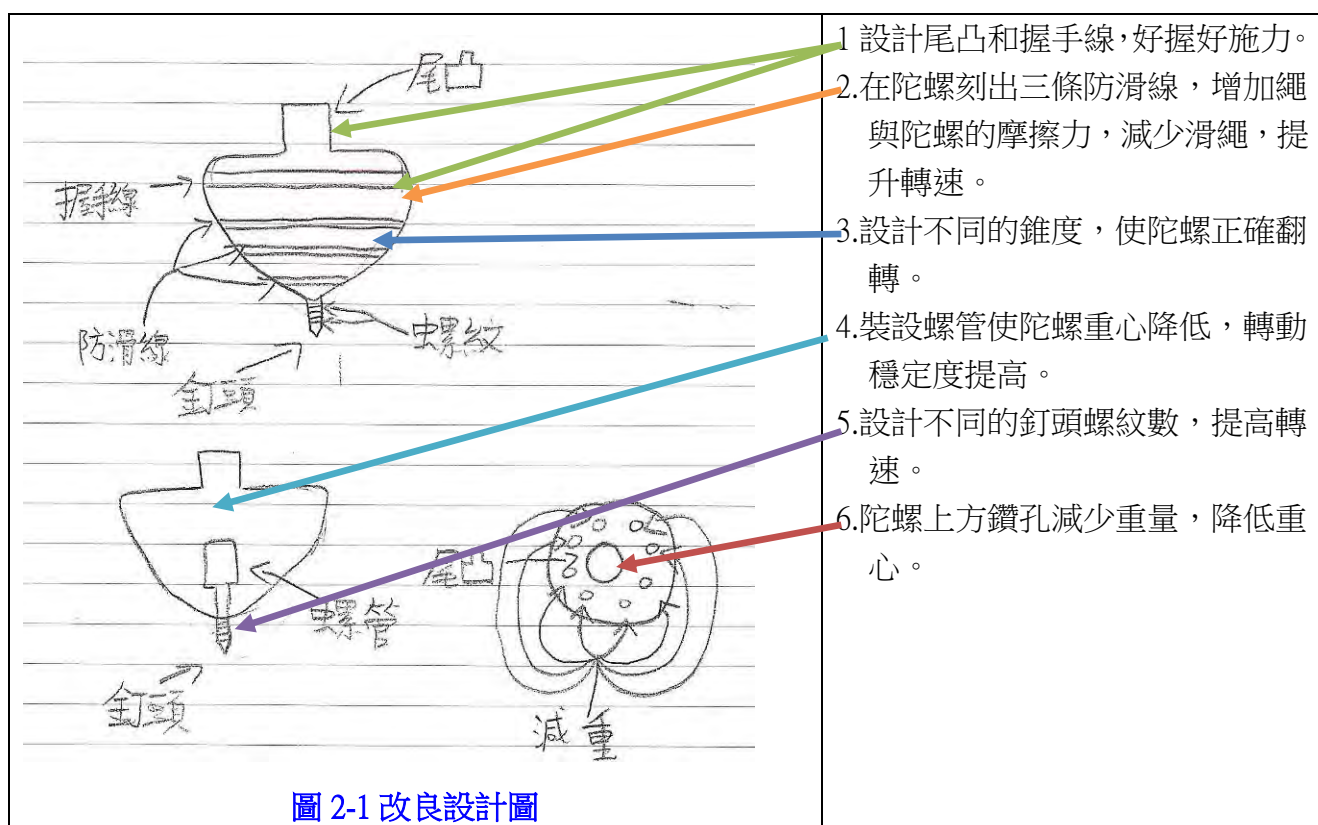
陀螺陀螺擲準比賽時，沒有規定陀螺大小、形狀、形式、重量等，只要投擲在盤子中，在盤面轉動 5 秒，就算得分，依據得分的高低，作為比賽勝敗。依據研究一實驗結果與比賽的規定，一個適合學生投擲的陀螺十分重要，我們想設計屬於自己的陀螺，所以我們進行第二階段的陀螺改良工程，我們也發現傳統陀螺有以下的問題，如下表 2-1。

名詞說明：（一）尾凸：設計在陀螺尾部凸起的施力點。

（二）握手線：設計陀螺中間的橫溝，能正確握住固定位，增加手握時摩擦力。

表 2-1 現有陀螺缺點與改良方法

傳統陀螺缺點	改良方法
1. 陀螺不好握，位置不固定。	1 設計尾凸、握手線：好握好施力，增加轉速。
2. 陀螺纏繞時，陀螺繩容易滑繩。	2. 在陀螺外部刻出三條防滑線：增加摩擦力減少滑繩，提升轉速。
3. 陀螺投擲翻轉不佳，造成失誤。	3. 找出最佳錐度：使陀螺翻轉正確，減少失誤。
4. 重心高，轉動時容易晃動。	4. 加上螺管重量：使陀螺重心降低，提升穩定度。
5. 增加螺釘紋路數，提升轉速。	5. 設計釘頭螺紋數：提高轉速。
6. 依據相關研究進一步的降低重心。	6. 陀螺上方鑽孔：減少重量降低重心，提升穩定度。



- 1 設計尾凸和握手線，好握好施力。
2. 在陀螺刻出三條防滑線，增加繩與陀螺的摩擦力，減少滑繩，提升轉速。
3. 設計不同的錐度，使陀螺正確翻轉。
4. 裝設螺管使陀螺重心降低，轉動穩定度提高。
5. 設計不同的釘頭螺紋數，提高轉速。
6. 陀螺上方鑽孔減少重量，降低重心。

1. 實驗的學生：陀螺擲準中等以上學生 5 位，每位學生投擲 5 次，5 位學生共投擲 25 次，再計算轉速（轉/分）、轉動時間（秒）、平均得分、失誤率。
2. 計算平均得分與失誤率：
 - (1) 投擲目標為 50cm×50 cm，以 10 cm 為一圈共 5 圈。中心為 5 分，最外圈 1 分，其他類推。
 - (2) 平均得分=總投擲得分數÷總投擲次數，（滿分 5 分）。
 - (3) 失誤率=投擲失敗次數÷總投擲次數。

(一) 設計尾凸、握手線好握好施力

找對於陀螺有興趣，且陀螺擲準表現優異的學生、教練、老師大家共同討論後，設計尾凸、握手線、重量（260~280 克）、陀螺直徑（8.5~8.7cm），再請陀螺老師依據我們的建議利用木工車床改良陀螺形狀、大小、直徑、尾凸、握手線等。

1.問題與想法

發現問題：現在的陀螺有些不好握，所以我們依據手的大小與手握位置，改良陀螺的形狀，讓陀螺好握好打？

改良想法：陀螺後端設計尾凸方便手握，陀螺的中間設有握手線（如圖 21）能正確的握住固定位置，並握緊陀螺。

操縱變因：改良前陀螺直徑 9.1 cm。改良後陀螺直徑 8.7 cm。



2.實驗結果

實驗(一)	操縱變因	控制變因	實驗結果			
			轉速	轉動時間(秒)	平均得分	失誤率
改良前後	改良前	投擲距離 320cm	2899	41.89	2.60	0.20
	改良後	陀螺繩直徑 0.5cm 釘頭繞繩往復 8 圈	3113	40.64	2.88	0.12

3.實驗結果分析

- (1) 由實驗(一)發現，轉速：改良後>改良前。轉動時間：改良前>改良後。平均得分：改良後>改良前。失誤率：改良前>改良後。
- (2) 陀螺改良後陀螺尾部設計尾凸方便手握，較容易施力，陀螺中段設計握手線，正確握住固定位置，並增加摩擦力握緊陀螺。
- (3) 改良後轉速與平均得分增加，失誤率減少。但改良後重量減少，角動量較小，轉動時間減少，溫文台(2015)。

(二) 在陀螺上刻出三條深溝防滑線，增加繞繩與陀螺的摩擦力，以減少滑繩

1.問題與想法

發現問題：在繞繩或在投擲陀螺時，會有滑繩情況。

改良想法：在陀螺繞繩位置，刻出三條防滑線（0.2cm），增加摩擦力防止滑繩，增加轉速。

操縱變因：刻出三條深溝式防滑線（繞繩靜摩擦力 1.8kg）、一般防滑線（繞繩靜摩擦力 0.8kg）。（如圖 22）



2.實驗結果

實驗 (二)	操縱變因	控制變因	實驗結果			
			轉速	轉動時間(秒)	平均得分	失誤率
防滑線	一般滑線	投擲距離 320cm	2905	40.40	2.72	0.12
	深溝滑線	陀螺繩直徑 0.5cm 釘頭繞繩往復 8 圈 陀螺(8.6cm) 約 275 克	3208	42.86	3.04	0.08

3.實驗結果分析

- (1) 由實驗（二）發現，轉速：深溝防滑線 > 一般防滑線。轉動時間：深溝防滑線 > 一般防滑線。平均得分：深溝防滑線 > 一般防滑線。失誤率：一般防滑線 > 深溝防滑線。
- (2) 有深溝防滑線在轉速、轉動時間、平均得分、失誤率均優於一般防滑線，原因是深溝防滑線，陀螺繞繩時增加靜摩擦力大（繞繩靜摩擦力 1.8kg），轉速快，轉動穩定度高。

(三) 找出最佳錐度，使陀螺翻轉正確減少失誤

1.問題與想法

發現問題：不同陀螺錐度會影響繞繩，錐度太圓容易滑繩，錐度太平，陀螺投擲容易發生陀螺翻轉不正的現象。

改良想法：設計不同的錐度，哪一種錐度不會滑繩，且陀螺正確翻轉，不會轉正過度或不足。

操縱變因：不同陀螺錐度：尖錐（繞繩靜摩擦力 2.2kg）、半圓錐（繞繩靜摩擦力 1.8kg）、圓錐（繞繩靜摩擦力 0.7kg）。(如圖 23)



2.實驗結果

實驗(三) 操縱變因		控制變因	實驗結果			
			轉速	轉動時間(秒)	平均得分	失誤率
陀螺錐度	尖錐	投擲距離 320cm	3102	42.52	2.84	0.12
	半圓錐	陀螺(8.6cm) 275 克	3076	43.18	3.00	0.12
	圓錐	釘頭繞繩往復 8 圈	2992	42.44	2.72	0.20

3.實驗結果分析

- 由實驗(三)發現，轉速：尖錐 > 半圓錐 > 圓錐。轉動時間，半圓錐 > 尖錐 > 圓錐。
平均得分：半圓錐 > 尖錐 > 圓錐。失誤率：圓錐 > 尖錐 = 半圓錐，差異不大。
- 圓錐陀螺的重心比較低，即使陀螺打歪，也可以慢慢的轉正，但是(繞繩靜摩擦力 0.7kg)較小，繞繩不夠緊，陀螺容易滑繩。尖錐陀螺有時候會發生陀螺翻轉不正情況，影響轉速、轉動時間。
- 半圓錐陀螺（繞繩靜摩擦力 1.8kg）不易滑繩，且重心低，投擲陀螺翻轉比較正確，所以半圓陀螺在轉速、轉動時間、平均得分略佳。

(四) 在陀螺前端加上螺管，使陀螺重心降低，提高陀螺轉動穩定度

1.問題與想法

發現問題：重心低有利於轉動穩定性。楊子賢（2004）、張詠翔（2017）。

改良想法：在陀螺前端加上螺管降低重心，增加陀螺轉動穩定性。

2.改良作法

- 將陀螺的中心挖洞，放入 3 分的螺絲管（25）克(如圖 24)。
- 自製陀螺釘：利用 3 分的白鐵壁虎，只取中心的螺釘，利用砂輪機磨尖，並刻出螺

釘紋路。

(3) 將自製陀螺釘 26.2 克(如圖 24-1)鎖上 3 分螺絲管，完成可替換陀螺釘頭設計。

(4) 利用可替換的螺釘頭與一般螺釘頭，進行投擲實驗比較。



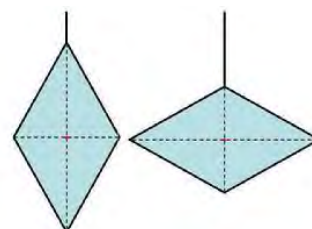
圖 24 螺絲管 25 克

圖 24-1 自製陀螺釘 26.2 克

完成可替換陀螺釘頭設計

3.實驗設計

操縱變因：利用懸掛法測量物體重心，做兩次懸掛，兩次的繩線都通過重心，其交點就是重心。測量結果，一般螺釘由陀螺前端算起(重心高 6.6cm)、螺孔螺釘由陀螺前端算起(重心高 6.0cm)。



懸掛法測量物體重心

4.實驗結果

實驗(四)	操縱變因	控制變因	實驗結果			
			轉速	轉動時間(秒)	平均得分	失誤率
降低重心	一般螺釘	投擲距離 320cm 釘頭繞繩往復 8 圈 陀螺 8.6cm 275 克	3081	42.36	3.00	0.12
	螺孔螺釘		3171	41.56	3.20	0.08

5.實驗結果分析

(1) 實驗(四)發現，轉速：螺孔螺釘 > 一般螺釘。轉動時間：一般螺釘 > 螺孔螺釘，平均得分：螺孔螺釘 > 一般螺釘。失誤率：一般螺釘 > 螺孔螺釘，差異不大。

(2) 在陀螺前端加入 3 分的螺絲管(25)克，螺釘 26.2 克，陀螺的重心降低 0.6cm，陀螺轉動較穩定，轉速快，但因螺管裝設在中心，重量集中在中心，所以轉動時間較短。

(五) 設計不同螺釘紋路數，增加轉速和陀螺轉動穩定度

1.問題與想法

發現問題：不同陀螺釘頭有不同數量的紋路，如果增加陀螺釘頭紋路數是否能增加轉速與轉動時間？

改良想法：釘頭紋路數越多摩擦力越大，施力越大，陀螺轉速越快，轉動穩定度越高。

操縱變因：無(繞繩靜摩擦力 1.8kg)、1 紋(繞繩靜摩擦力 3.1 kg)、2 紋(繞繩靜摩擦力 3.3 kg)、3 紋(繞繩靜摩擦力 4.8 kg)。(如圖 25)



圖 25 不同陀螺釘頭的釘紋

三螺紋陀螺釘頭

投擲實驗

2.實驗結果

實驗 (五)	操縱變因	控制變因	實驗結果			
			轉速	轉動時間(秒)	平均得分	失誤率
螺釘紋	0 螺紋	投擲距離 320cm	3013	40.55	3.00	0.12
路數	1 螺紋	釘頭繞繩往復 8 圈	3131	41.68	3.12	0.12
	2 螺紋	陀螺直徑 8.6cm	3169	41.76	3.00	0.16
	3 螺紋	陀螺重量 275 克	3210	42.48	3.04	0.08

3.實驗結果分析

(1) 由實驗(五)發現，轉速：3 紋 > 2 紋 > 1 紋 > 無。轉動時間：3 紋 > 2 紋 > 1 紋 > 無。

(2) 螺釘的紋路數越多，繞繩靜摩擦力越大，帶動陀螺力量越大，陀螺轉速快轉動時間長。

(六) 設計陀螺上方鑽孔減少上方重量降低重心

1.問題與想法

提升穩定：進一步的降低重心，是否會影響轉速、轉動時間、陀螺擲準穩定度。

改良想法：在陀螺尾部鑽孔，減少陀螺尾部的重量，降低陀螺重心，增加陀螺轉動穩定度。

楊子賢(2004)、張詠翔(2017)。

操縱變因：陀螺上方鑽孔(重心高 5.8cm)，無鑽孔(重心高 6.1cm)。(如圖 26)

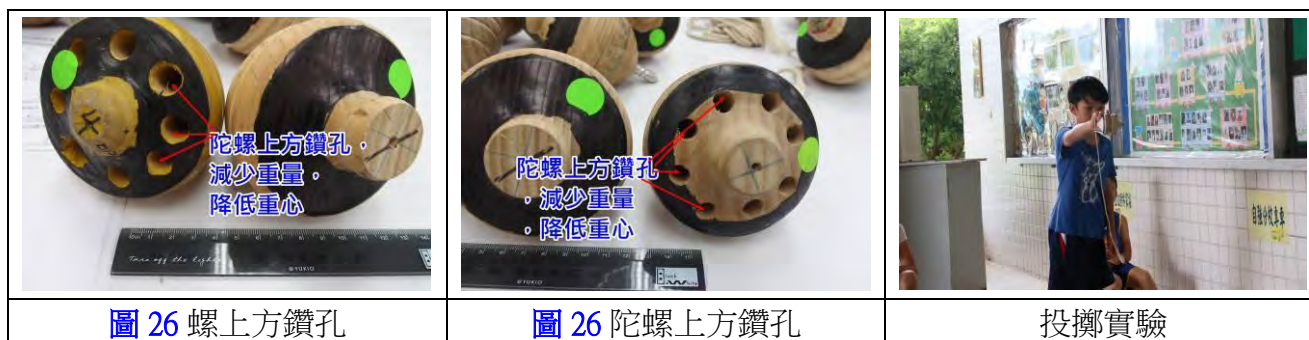


圖 26 螺上方鑽孔

圖 26 陀螺上方鑽孔

投擲實驗

2.實驗結果

實驗(六)	操縱變因	控制變因	實驗結果			
			轉速	轉動時間(秒)	平均得分	失誤率
陀螺上方 鑽孔	無鑽孔	投擲距離 320cm	3161	41.61	3.16	0.08
	有鑽孔	陀螺直徑 8.6cm 275 克 釘頭繞繩往復 8 圈	3245	40.87	3.24	0.08

3.實驗結果分析

- (1) 由實驗(六)發現，轉速：有鑽孔 > 無鑽孔。轉動時間：無鑽孔 > 有鑽孔。平均得分：有鑽孔 = 無鑽孔。
- (2) 有鑽孔因減少陀螺尾部重量 15 克，重心下降 0.3cm，轉速與轉動穩定度提高，即使是打歪了，還是會慢慢的轉正，但因重量減少，角動量變小，陀螺轉動時間減少，溫文台(2015)。

三、自製陀螺與市售陀螺的比較

收集投擲陀螺，市面上大部分都是直徑 9.5cm 的一般陀螺，在大溪找到蕭可鉅老師陀螺擲準百發百中，所使用的是屬於表演陀螺，發現他的陀螺和我們使用的陀螺不同，我們各買 2 個回學校做研究。

(一) 實驗設計

研究問題：自製、學校、一般、表演陀螺(如圖 31)比較，哪一種比適合陀螺擲準？

操縱變因：一般陀螺(直徑 9.5cm，重量 332 克)。表演陀螺(直徑 9.5cm，重量 339 克)。
學校陀螺(直徑 9.1cm，重量 305 克)。自製陀螺(直徑 8.6cm，重量 275 克)。

控制變因：陀螺繩直徑為 0.5cm、釘頭繞繩往復 8 圈、投擲距離 320cm。

實驗學生：投擲學生 5 位，每位學生每一種陀螺投擲 5 次，共投擲 25 次。

平均得分：總投擲得分數 ÷ 總投擲次數。(滿分 5 分)。



圖 31 自製與學校、市售比較

圖 31 自製與市售陀螺

投擲實驗

(二) 實驗結果

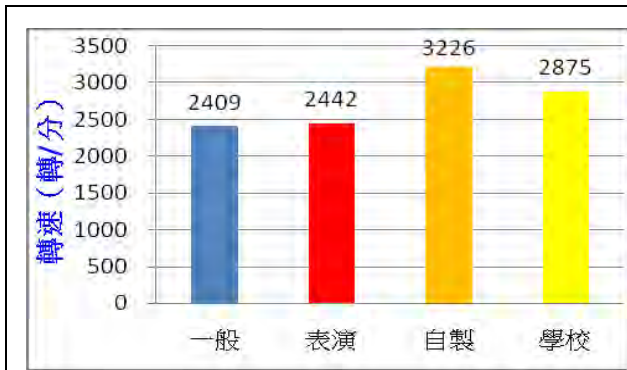


圖 3-1-1 不同陀螺轉速統計圖

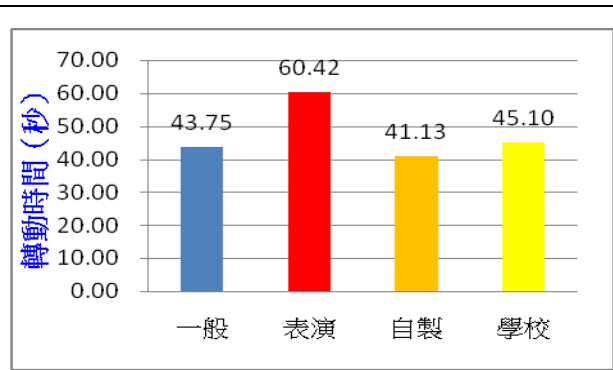


圖 3-1-2 不同陀螺轉動時間統計圖



圖 3-1-3 不同陀螺平均分統計圖

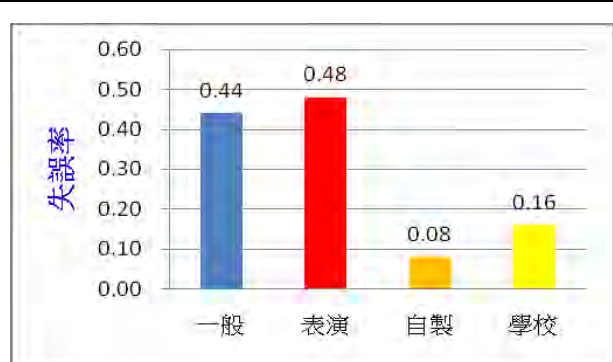


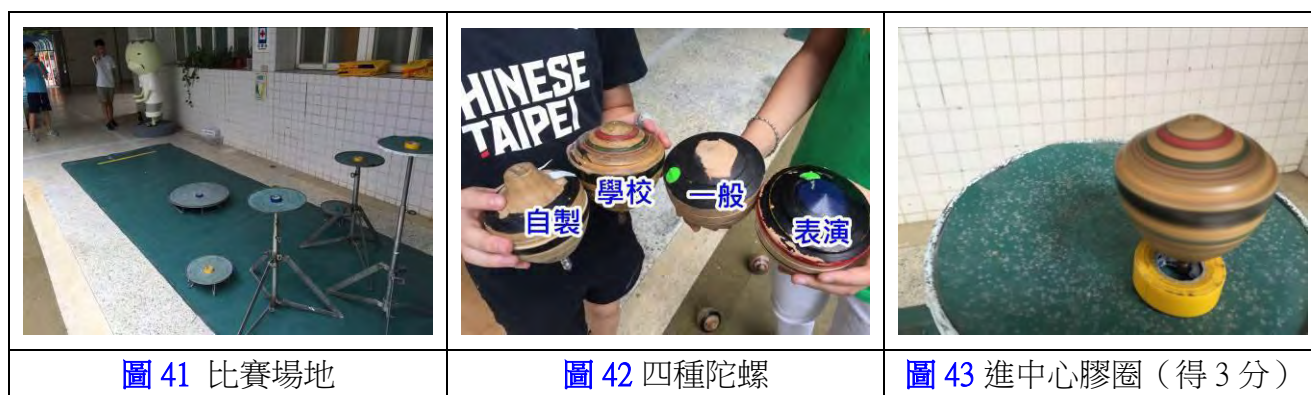
圖 3-1-4 不同陀螺失誤率統計圖

(三) 實驗結果分析

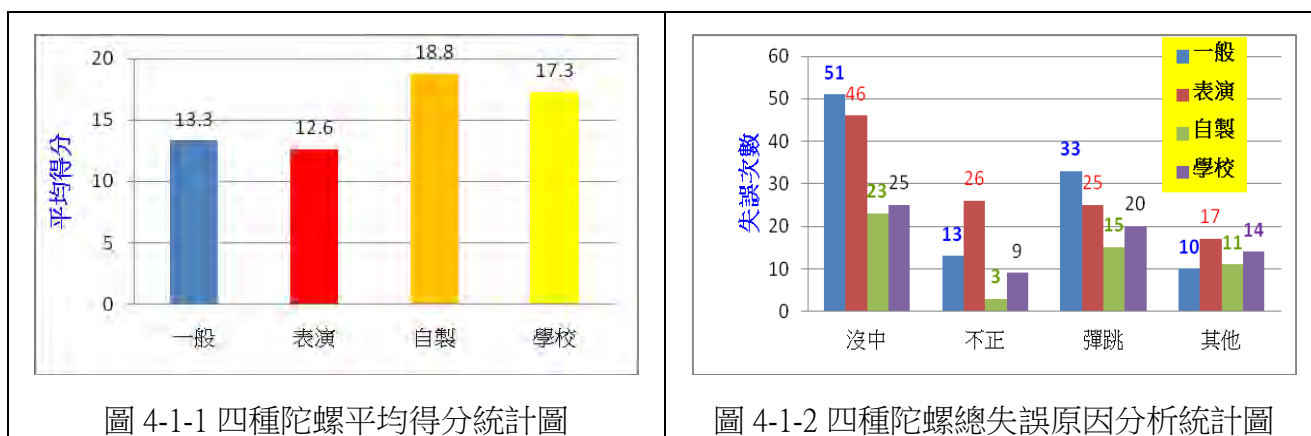
- 1.由圖 3-1-1、3-1-2、3-1-3、3-1-4 發現，轉速：自製 > 學校 > 表演 > 一般。轉動時間：表演 > 學校 > 一般 > 自製。平均分：自製 > 學校 > 一般 > 表演。失誤率：表演 > 一般 > 學校 > 自製。
- 2.自製陀螺轉速比一般陀螺快(817 轉)，平均分高 1.36，失誤率減少 0.36。表演與一般與陀螺重量較重，施力較大，轉動動能較大，轉動時間較長為優點，蔡尚芳 (2001)。
- 3.自製陀螺重量 (275 克) 重量適中，經過設計後，容易握緊，有繞繩防滑溝，使陀螺與繩子的摩擦力增加，且陀螺降低重心，陀螺轉動穩定，所以投擲失誤率較少。
- 4.表演陀螺和一般陀螺失誤較高的原因，可能是陀螺直徑比較大 (9.5cm) 陀螺重量比較重 (330 克) 不易握好，另外釘頭圓型不容易固定在盤面上，造成過多的失誤。

四、模擬比賽比較不同陀螺在競賽場的投擲準度與得分優劣

(一)比賽設計：依據陀螺比賽的賽制，比賽時有 6 個盤面，投擲距離分別為 320cm(高 20cm)、350cm(高 75cm)、400 cm(高 100cm) (如圖 41)。每一個盤面投擲 1 次一輪共投擲 6 次，比賽投擲 2 輪，總共投擲 12 次。打上盤面(直徑 30 公分)轉 5 秒以上得 2 分；打進中心膠圈(直徑 5 公分)(如圖 43)得 3 分，總分 36 分，以總分數計算成績。實驗學生分別使用一般、表演、自製、學校共 4 種陀螺(如圖 42)做模擬投擲比賽。參與實驗共計 10 位學生，投擲程度優等 5 位，中等 5 位，共 10 位學生，每一位學生每個陀螺打 2 回(四輪)。



(二) 實驗結果



失誤原因分析說明 (1) 沒中：沒有打中盤面。(2) 不正：陀螺翻轉不正。(3) 彈跳：打中盤面後彈跳，掉出盤面外。(4) 其他：其他失誤原因。

(三) 實驗結果分析

1.由圖 4-1-1 發現，平均得分：自製(18.8) > 學校(17.3) > 一般(13.3) > 表演(12.6)。自製陀螺比學校得分陀螺多 1.5 分，比表演陀螺多 6.2 分，在正式陀螺擲準(高手對決)比賽分勝負都在 1~3 分之間，自製的陀螺有顯著增加得分效果。表演陀螺、一般陀螺擲

與自製陀螺差 5 分以上，對於大部分的小學生而言表演與一般陀螺不適合陀螺擲準。

2.由圖 4-1-2 發現，失誤：表演 > 一般 > 學校 > 自製，以表演陀螺最多，自製陀螺最少。失誤中以陀螺沒中最多，一般陀螺(51 次)，表演陀螺(46 次)，可能是陀螺不好握，不好施力，另外投擲技巧不夠精熟。一般陀螺釘頭較粗，陀螺打在盤面上不容易固定，容易發生失誤。

五、新手學習推廣陀螺民俗體育活動

(一) 實驗設計

我們找不會打陀螺的同學 8 位，實施陀螺教學 2 小時，學習 2 小時後，再用 4 種陀螺一般、表演、學校、自製陀螺，每人每一個陀螺投擲 5 次，檢驗學習效果，投擲陀螺只要能穩定轉動就算投擲成功，並紀錄陀螺轉速、投擲成功率，看哪一種陀螺最適合初學者。



(二) 實驗結果

實驗 (5-1)	操縱變因	控制變因	實驗結果	
			轉速 (轉/分)	投擲成功率
新手學習	一般陀螺		2127	0.6
	表演陀螺	陀螺繩徑 0.5cm	2293	0.55
	自製陀螺	陀螺繩長 400cm	2651	0.85
	學校陀螺	釘頭繞繩往復 8 圈	2476	0.70

(三) 實驗結果分析

1.由實驗 5-1 發現，轉速：自製陀螺 > 學校陀螺 > 表演陀螺 > 一般陀螺。投擲成功率：自製陀螺 > 學校陀螺 > 一般陀螺 > 表演陀螺。實施陀螺教學 2 小時後，同學學會陀螺基礎投擲，只能打在地面穩定轉動程度，但是要做陀螺擲準還要很長學習時間。

2.新手學習，自製陀螺投擲成功率 0.85，比學校陀螺高 0.15，比一般陀螺的高 0.25，比表演陀螺高 0.30，於初學者比較容易入手，容易學習。

陸、討論

一、討論以力學分析影響傳統陀螺的轉速、轉動時間、陀螺擲準因素。

(一) 陀螺繩的繞繩

1. 陀螺繞繩圈數越多，施力越大，轉速越快、轉動時間越長。
2. 陀螺釘頭的繞繩圈數，圈數越多，靜摩擦力越大，轉速、轉動時間越長。
3. 在釘頭繞繩 2 圈時靜摩擦力太小，陀螺固著力較小，容易直接飛出。
4. 陀螺繞繩方式以往復式最佳，靜摩擦力大，繞繩平整，施力大。

(二) 陀螺釘頭

1. 釘頭大小，細釘頭 0.8cm 釘頭細又尖，容易固定在盤面上，粗釘頭（1.5cm）不易固定在盤面，容易發生彈跳。
2. 釘頭的紋路數越多，靜摩擦力越大，陀螺施力越大，轉速越快轉動時間越長。
3. 釘頭的長度越短，重心越低，轉動時不容易晃動，轉速快轉動時間長。

(三) 陀螺本體

1. 不同陀螺直徑的轉速：直徑 8.0cm 陀螺繩圈數最多，轉速最快。轉動時間以直徑 9.2cm 最長。平均得分以 8.5cm 得分最高。直徑 8.5cm 最適合我們手掌的大小，準度高失誤少。
2. 不同尾部形狀的陀螺：以尾部小凸型的陀螺好握平衡度最佳，轉動的穩定度最好。
3. 陀螺重量：越輕轉速越快，越重轉動時間越長。

(四) 距離與高度

投擲距離 400cm（距離最遠），施力最大，在陀螺上的陀螺繞繩圈數最多，轉速最快。投擲高度越高，轉速越慢，轉動時間越短。

(五) 手握與站姿

1. 手握方式以前三後二或前二後三，握得比較緊，在轉速、轉動時間、平均得分較佳。
2. 站姿個人的習慣而定，對轉速、轉動時間影響小。

二、討論改良傳統陀螺的轉速、轉動時間、失誤率

(一) 討論設計尾凸、握手線，好握、好施力：經過改良的陀螺有尾凸方便手握，陀螺

的後段設有握手線，增加手握的摩擦力，並握住的正確位置，使施力大小每次相同，並握緊陀螺。改良前後的轉速、平均得分有明顯增加，失誤率減少。

- (二) 在陀螺上刻出三條深溝防滑溝：增加陀螺繩與陀螺的摩擦力，減少滑繩，施力增加，陀螺轉速較快，相對轉動穩定度高，得分高。
- (三) 設計不同的陀螺錐度，使陀螺翻轉正確：尖錐陀螺錐度比較尖，轉速快，其缺點在投擲陀螺時，陀螺有時會陀螺翻轉不足，造成失誤。圓錐陀螺的重心比較低，陀螺打歪時還可以慢慢轉正，但其缺點是陀螺與繩的摩擦力變小，容易滑繩。半圓錐度適中，較適合手握，具有不易滑繩，重心低的優點。
- (四) 加上螺管釘頭使陀螺重心降低：轉動穩定度增加，在轉速、平均得分優於一般的陀螺釘，主要是因為一般陀螺釘頭重 18 克，螺孔陀螺釘頭，螺管加螺釘頭重量約 51.4 克，裝在陀螺前方的中心點，讓整顆陀螺重心降低，陀螺穩定性提高。
- (五) 設計不同釘頭螺紋數提高轉速：陀螺釘的釘頭紋數越多摩擦力越大，對轉速、轉動時間、得分有提升的效果。
- (六) 陀螺上方鑽孔，減少重量，降低重心：陀螺上方鑽孔，減少陀螺尾部的重量。減少 15 克，讓重心降低，陀螺轉速與轉動穩定度有提升的效果，楊子賢（2004）。

三、討論自製陀螺與學校、表演、市售陀螺的比較

- (一) 自製陀螺與市售陀螺轉速比較：轉速，自製 > 學校 > 表演 > 一般，自製陀螺轉速比一般陀螺快(817 轉)。但轉動時間則以表演陀螺，重量最重，釘頭又有鋼珠減少摩擦力，所以轉動時間最長。
- (二) 自製陀螺與其他陀螺平均得分的比較：自製 > 學校 > 一般 > 表演，自製陀螺得分較高，表演、一般陀螺的得分較低。一般陀螺的釘頭較大 (1.5cm) 較平適合在一般地面投擲，不適合擲準競賽。
- (三) 自製陀螺增加繞繩摩擦力、降低重心，以增加轉速及轉動穩定度。釘頭細又尖容易固定在盤面，失誤少。表演陀螺與一般陀螺失誤多，可能原因陀螺太大、太重不適合小學生使用，另外可能學生無法短時間內適應表演陀螺和一般陀螺在所致。

四種陀螺優勢比較表

因素 陀螺	轉速	轉動時間	得分	失誤率	場地限制	優勢
一般	2409	43.75	1.84	0.44	小	較不受場地限制
表演	2442	60.42	1.52	0.48	需要鋪墊子	轉動時間
自製	3226	41.13	3.20	0.08	需要鋪墊子	轉速、得分、失誤率
學校	2875	45.10	2.92	0.16	需要鋪墊子	

四、討論模擬比賽成果

在相同學生投擲的情況下，自製陀螺比學校陀螺高 1.5 分，比一般陀螺較高 6.2 分，在正式的陀螺擲準比賽差異都很小(2 分以內)，只要失誤一次投擲，大概都是輸比較多。自製陀螺在轉速、轉動穩定、投擲準度優於其他陀螺，適合陀螺擲準比賽。

五、討論新手學習，推廣陀螺民俗體育活動

自製陀螺以力學設計，增加摩擦力，降低重心，正確錐度使陀螺翻轉正確，減少失誤。專為國小 5、6 年級學生設計的擲準陀螺，適合學生手握。新手學習，自製陀螺投擲成功率 0.85，比表演陀螺高 0.30，對於一般初學者而言比較容易學習。

柒、結論

一、以力學分析影響傳統陀螺的轉速、轉動時間、準度因素。

陀螺擲準，除了個人的練習之外，影響因素有繞繩方法、釘頭影響、陀螺本體、高度與距離、手握方式都會影響轉速、轉動時間與陀螺擲準。我們進一步的分析，影響陀螺轉速、轉動時間、陀螺投擲準度主要因素有 (1) 摩擦力，減少釘頭與盤面的動摩擦力，邱楹煖(2006)，增加繞繩的靜摩擦力。(2) 重心，降低重心，轉動越平穩，張詠翔(2017)。(3) 陀螺翻轉，打陀螺時手握陀螺為水平方向，打到陀螺盤時會翻轉成垂直方向，陀螺翻轉方向不正確會影響轉速、轉動時間、投擲準度。

二、改良傳統陀螺的轉速、轉動時間、失誤率

(一) 設計尾凸讓無名與指小指好握好施力，設計有握手線，讓中指握對正確的位置，並增加摩擦力，改良後轉速、平均得分有明顯的增加。

- (二) 在陀螺外表面刻出三條防滑溝，增加陀螺繩與陀螺的靜摩擦力，增加施力，減少滑線，相對的轉速快、轉動時間長、容易投擲。
 - (三) 半圓錐陀螺的錐度適中，比較適合投擲手握，繞繩比較不易滑繩，**重心比較低的優點**。
 - (四) 可換式釘頭 51.4 克裝在陀螺前方的中心點上，讓整顆陀螺的重心向下，**重心降低**，陀螺轉動穩定度提高。
 - (五) 陀螺的釘紋是必需的，釘紋越多越深，可**增加陀螺繩對於螺釘的靜摩擦力**，摩擦力越大，轉速越快、轉動時間越長、投擲穩定度越高。
 - (六) 陀螺底部鑽孔，**減少重量，降低重心**，有助於陀螺投擲的穩定度。
- 自製陀螺經過我們不斷的研究與改良，製造新式的陀螺，轉速更快、穩定度更佳。

三、自製陀螺與學校、市售陀螺比較

自製陀螺在轉速比一般陀螺快(817 轉)，平均得分高 1.36 分，失誤率減少 0.36，在這三方面表現最佳。自製陀螺經過設計後，容易緊握，有繞線防滑溝陀螺與繩子的增加摩擦力，自製陀螺降低重心，轉速較快，轉動更穩定。

四、模擬比賽的成績

模擬比賽結果，**自製陀螺比學校陀螺高 1.5 分，比表演陀螺高 6.2 分**，經過改良後的自製陀螺的容易投擲，優於其他陀螺，適合陀螺投擲比賽。

五、新手學習，推廣陀螺民俗體育活動

新手練習 2 小時後，**投擲自製陀螺成功率 0.85，比表演陀螺高 0.30**，自製陀螺適合 5、6 年級生手握，經過力學設計，好握且容易投擲，好學習難度較低，自製陀螺適合初學者使用，在推廣陀螺體育活動，一定有幫助。

六、心得與展望

- (一) 我們學習陀螺擲準時間已經 3 年，陀螺擲準不易學習，到現在還是不能**百發百中**，所以我們研究新陀螺，為了就是要降低學習難度，**降低陀螺擲準難度**，讓學生能夠在最短時間學好陀螺擲準，有利於推廣陀螺民俗體育活動。
- (二) 現在學校學生所使用的陀螺，大部分使用改良後的陀螺，依據我們實際的觀察確實有進步，學生對學習陀螺比較有興趣。**今年陀螺投擲比賽，獲得最佳成績。**

(三) 傳統陀螺都是以原木製作，不環保，製作不容易，成本較高，如果可以利用 3D 列印方式製作環保材質的陀螺，是我們下一階段要努力的目標。

捌、參考資料

- 一、邱其杉、黃永旺（2015）。桃園縣大溪鎮陀螺運動發展之探討。臺灣體育學術研究卷期:58 期，頁 1-12。
- 二、陳義勳（2010）。轉不停陀螺的奧秘。物理教育學刊，11 卷 2 期，頁 86-89。
- 三、蔡尚芳（2001）。由牛頓力學看對稱陀螺的運動。科學教育月刊 241 期，頁 35-44。
- 四、詹韻鈴、歐宗明、蔡宗信（2015）。陀螺競賽辦法考察-全國各級學校民俗體育競賽為例。臺南大學體育學報，卷期:10 期，頁 21-37。
- 五、詹博恩、林郁軒、洪瑞陽、尤智德（2002）。爆轉！最強的戰鬥陀螺！科展42屆。
- 八、林昱甫、趙祐德、楊子賢（2004）。Ready set go！轉，轉，轉。全國科展 44 屆。
- 六、呂昊人、邱楹媛（2006）。不約而同-對稱陀螺與非對稱陀螺。全國科展 46 屆。
- 七、林妤珊、余昕螢、張詠翔（2017）。旋舞者-陀螺旋轉軌跡之探討。全國科展57屆。
- 八、吳聲聖、孫大智、溫文台（2015）。給陀螺一點點的改變把那旋轉變成永遠。全國科展 55 屆。
- 九、新北市米倉國小陀螺專題網站，取自2018年12月12日。
<http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2008/mtes502/home/home.htm>
- 十、楊舒喬（2018）。繩奇摩力。全國科展58屆。

【評語】 080114

1. 研究響陀螺因素，研究結果發現影響陀螺多種因素，進行改良。
2. 研究新陀螺，降低學習難度，降低陀螺擲準難度，推廣陀螺民俗體育活動。日常生活中常見玩具，利用科學的探究方法，控制變因。
3. 以童玩為主題進行研究，有創意。能使用相關元件進行量測及分析。需要留意引用相關公式。
4. 研究問題明確，步驟與分析方法合宜。

摘要

本研究以力學分析影響陀螺擲準因素，並依據研究結果進行改良，製作適合小學五、六年級學生投擲的陀螺，並與其他陀螺比較。研究結果發現影響陀螺轉速、轉動時間、陀螺擲準因素有摩擦力、重心、繞繩、螺釘、重量、大小、形狀、距離高度。進行改良，設計尾凸和握手線，好握好施力。陀螺刻出三條防滑線增加靜摩擦力1.0kg。調整陀螺錐度讓陀螺翻轉正確。中心加螺管降低重心0.6cm，陀螺底部鑽孔降低重心0.3cm，轉動更穩定。改良後，自製陀螺比一般陀螺轉速快(817轉)平均得分高1.36分，失誤率減少0.36。模擬擲準比賽，自製陀螺比學校陀螺高1.5分，比表演陀螺高6.2分。新手學習2小時，自製陀螺投擲成功率0.85，比一般陀螺高0.25，自製陀螺提高學習效果有利推廣陀螺體育活動。

壹、研究動機

花了二年時間努力的練習定點擲準，有時候還是有失誤。有可能是陀螺可能太重、太輕、太大、太小，形狀不良。我們想以力學觀點來設計一個屬於我們自己的陀螺，讓我們能有效的學習陀螺定點擲準，好學又打的準，讓我們能夠「百發百中」。

貳、研究目的

- 一、力學分析傳統陀螺擲準形式與打法優缺點。
- 二、以力學改良傳統陀螺的轉速、轉動時間、準度、失誤率。
- 三、自製陀螺與市售陀螺比較推廣陀螺民俗體育活動

參、文獻探討

有關於傳統木陀螺相關的文獻，屬於歷史與活動的記載，幾乎沒對於傳統木陀螺物理實驗的相關研究。想以現有陀螺為基礎，改良設計適合我們的陀螺，讓學生能在最短時間，老師指導20小時（每週一小時約20週）就能學會初步陀螺定點擲準。

肆、研究設備與器材

- 一、器材：木盤（50cmx50cm）、棉繩0.4cm、收集各種陀螺、自製各種形式的陀螺40個、栓木（9cmx9cmx240cm）、白鐵陀螺釘0.9cm（20支）、3分白鐵壁虎30支、3分螺絲接管30個、塑膠墊（2mx5m）。
- 二、設備：木工車床、光電測轉速器、相機canon70D
- 三、測量方法1:光學測量法

伍、研究方法與結果

一、以力學分析傳統陀螺擲準形式與打法優缺點

（一）繞繩方式對陀螺轉速與轉動時間的影響

實驗1-1陀螺繞繩圈數

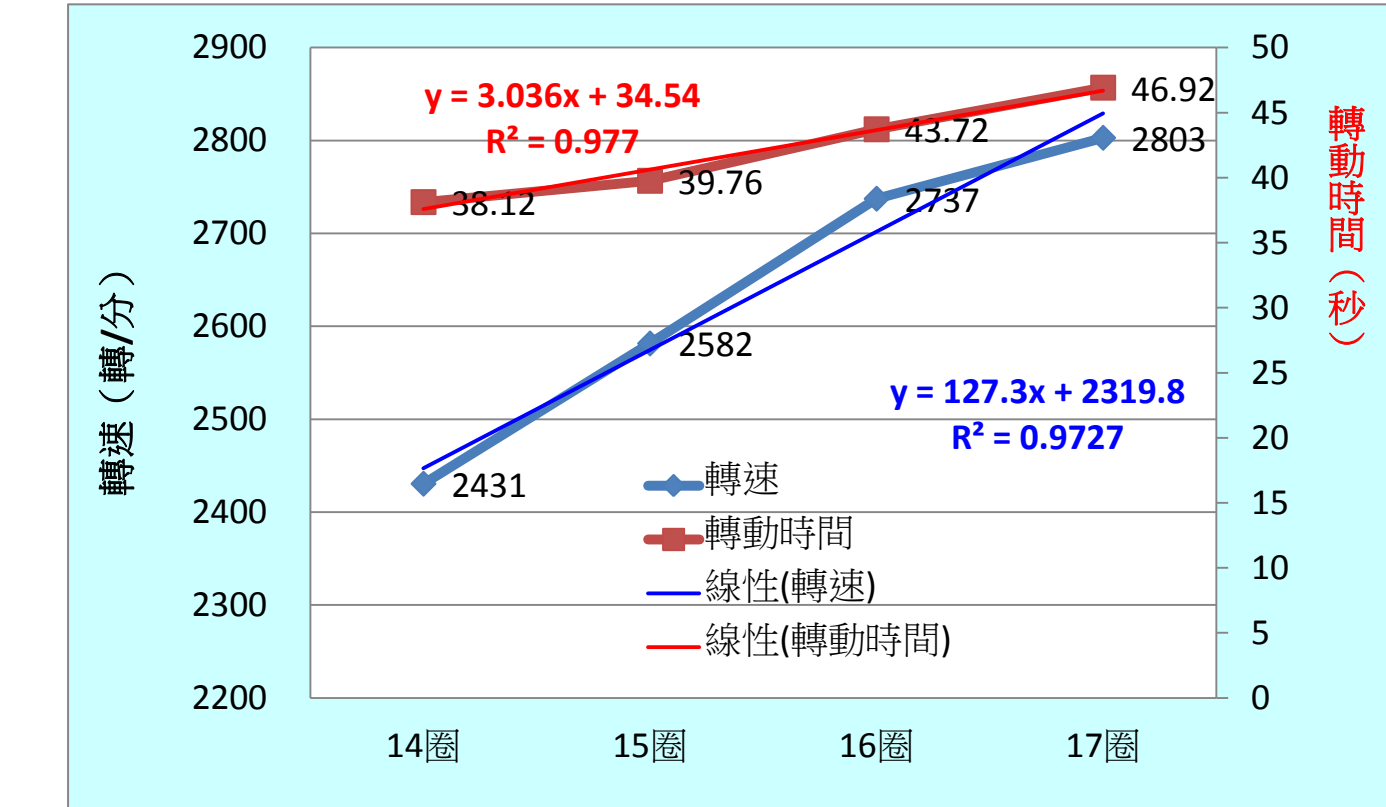


圖1-1繩繞圈數對轉速與轉動時間影響

由圖1-1發現：繞繩圈數越多時，施力增加，所以轉速與轉動時間增加。

實驗1-2陀螺釘頭繞繩圈數

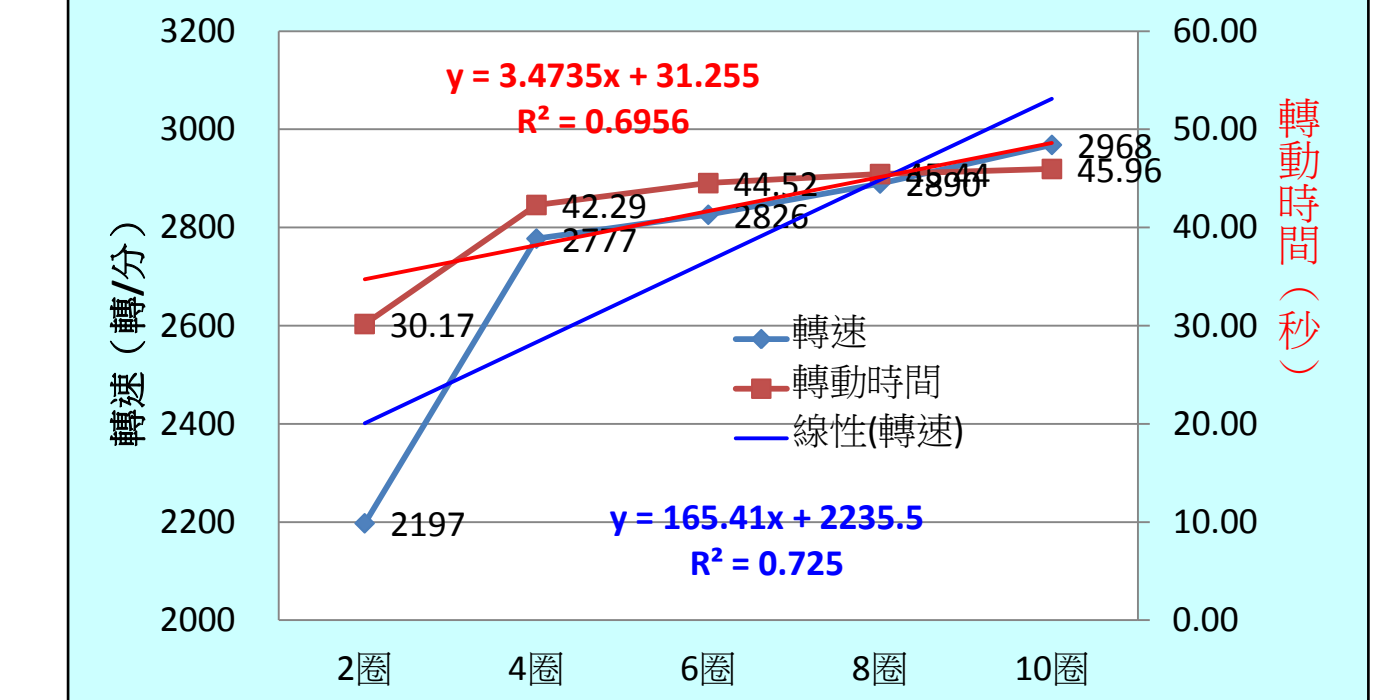


圖1-2釘頭繞繩圈數對轉速與轉動時間的影響

由圖1-2發現：往復式繞繩越多，施力圈數越多，靜摩擦力大，帶動陀螺的施力越大，所以陀螺轉速快，轉動時間較長。



實驗1-3釘頭繞繩方式

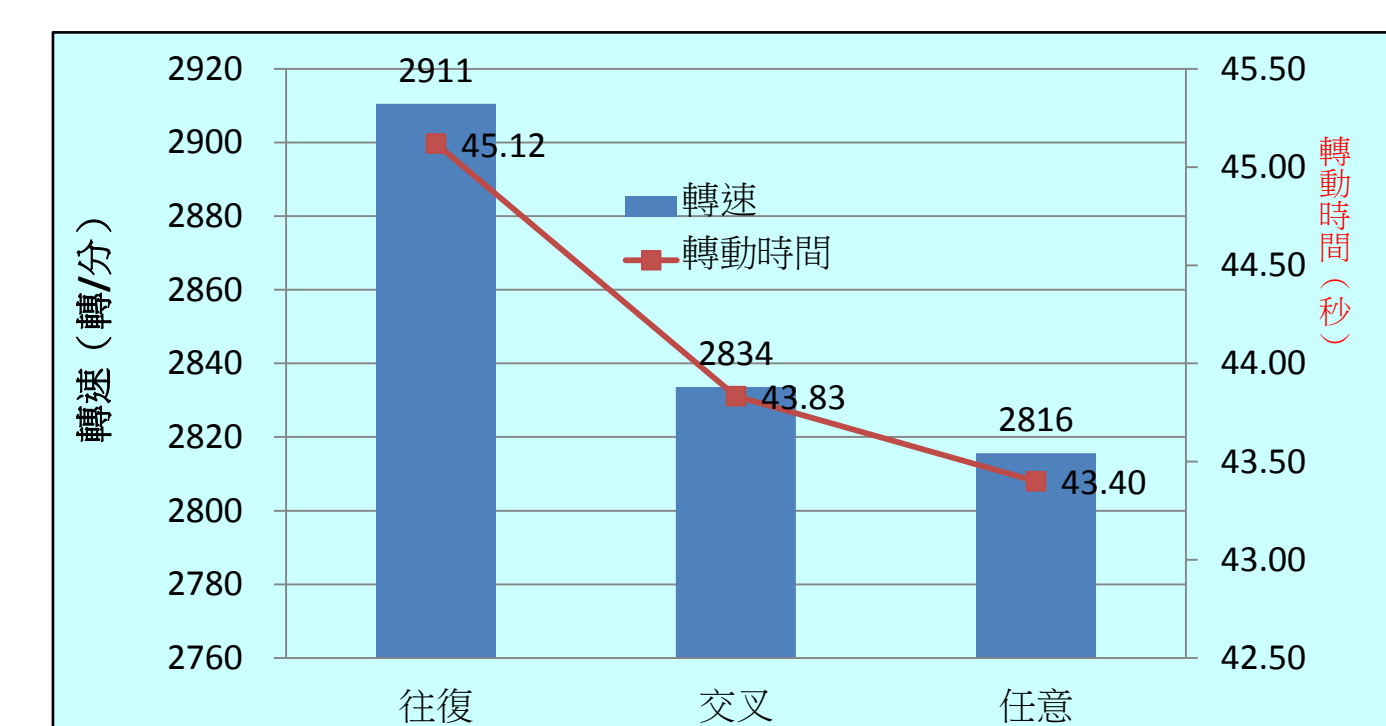


圖1-3陀螺釘頭不同繞繩方式對轉速與轉動時間的影響



（二）陀螺釘頭對轉速、轉動時間、得分的影響

實驗2-1 釘頭直徑

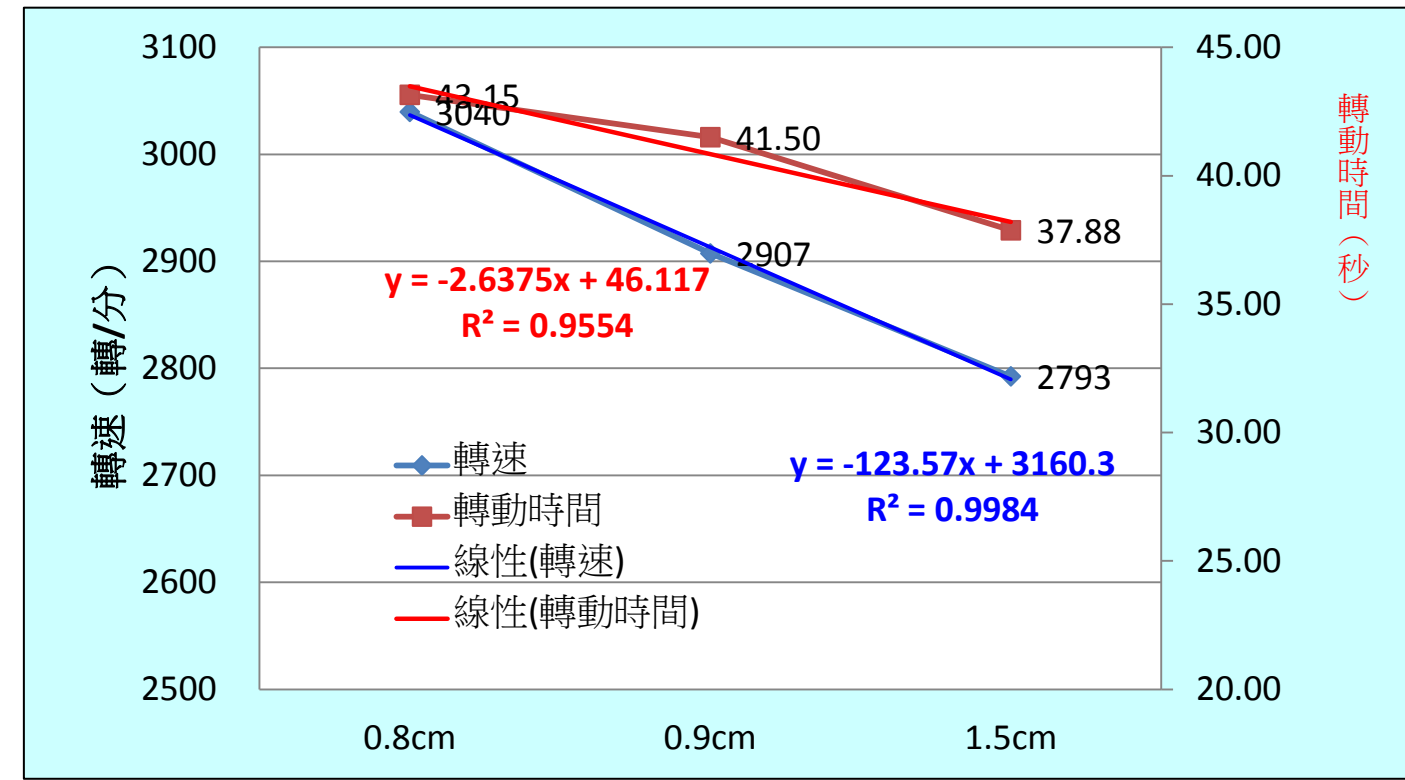


圖2-1 釘頭直徑對轉速、轉動時間的影響

由圖2-1發現：細尖釘頭摩擦力比較小，所以轉速比較快。粗釘頭摩擦力較大，轉動時間較短。

實驗2-2 釘頭紋路數

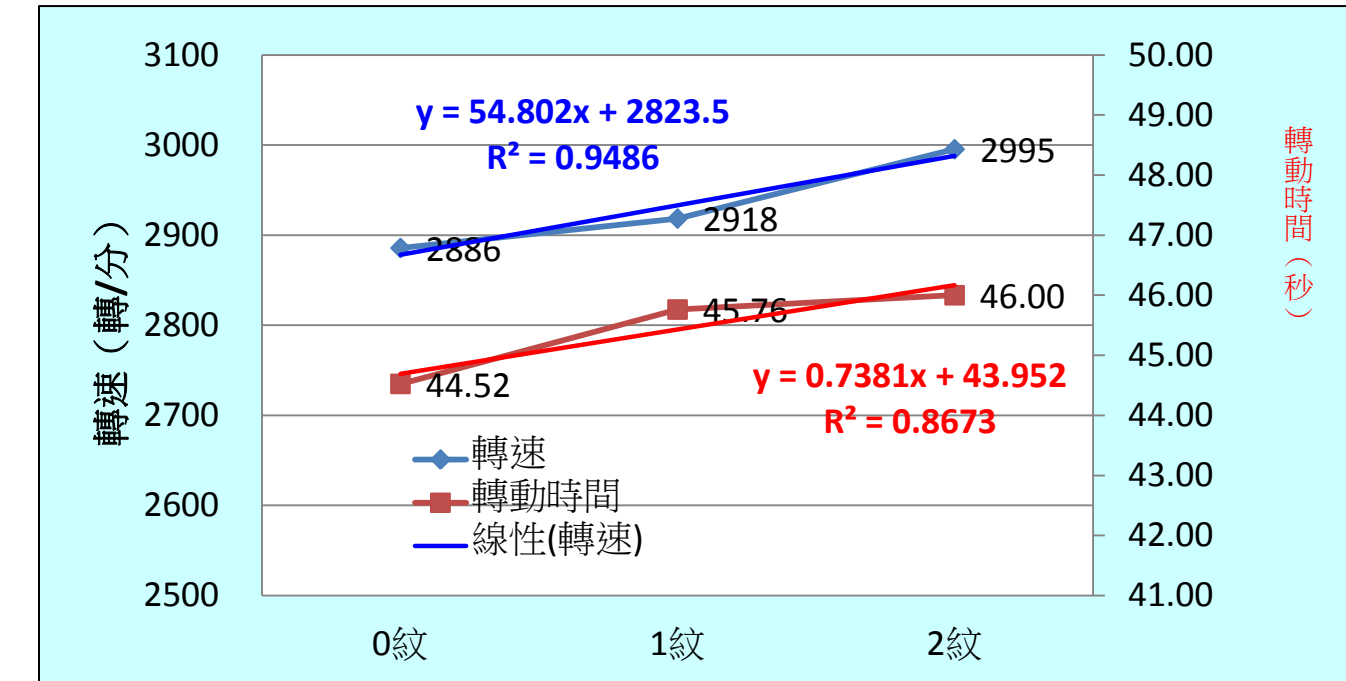


圖2-2 釘頭紋路數對轉速、轉動時間的影響

實驗2-2發現：當釘頭紋路數越多，繞繩靜摩擦力越大，對陀螺轉速、轉動時間、平均得分有提升效果。

實驗2-3 釘頭長短

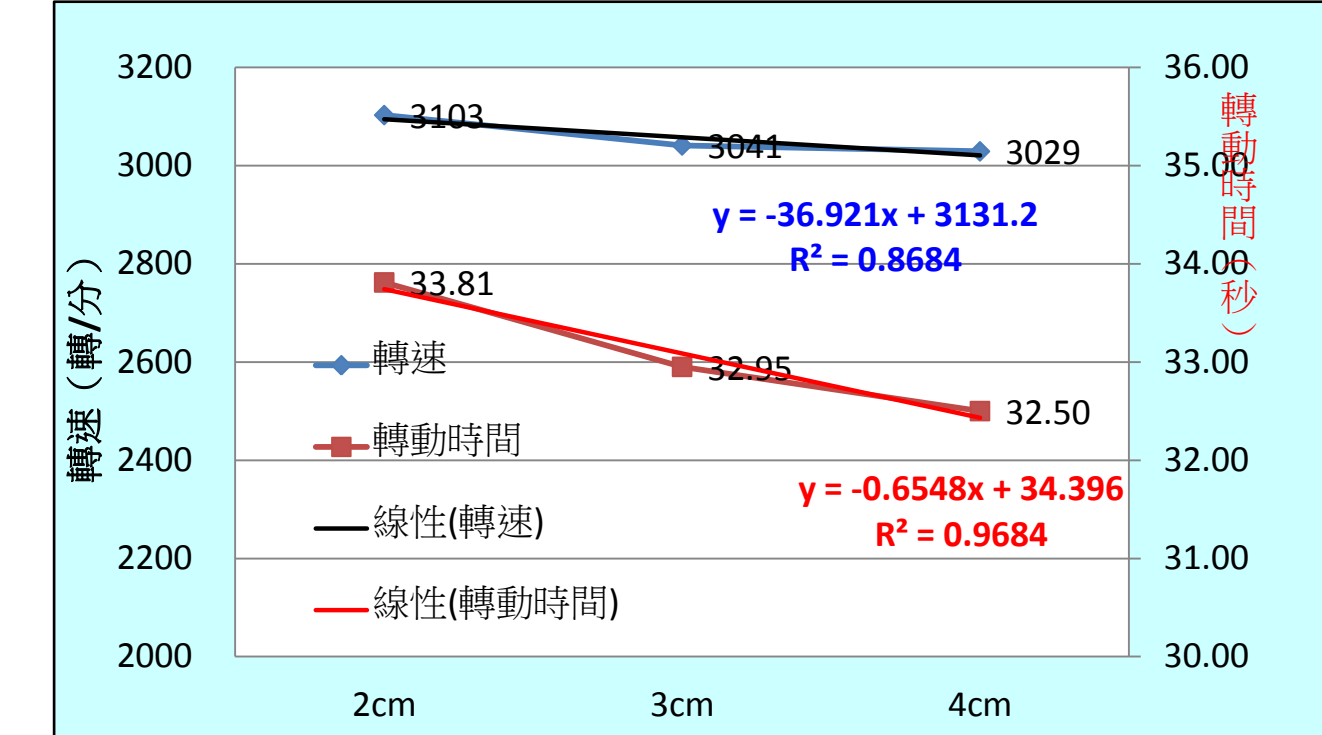


圖2-3 釘頭長短對轉速、轉動時間的影響

由圖2-3發現：當陀螺釘頭越長，的重心越高，轉動時間較短。釘頭越短，重心越低，轉動比較穩定。



（三）陀螺對轉速、轉動時間、平均得分的影響

實驗3-1 陀螺直徑

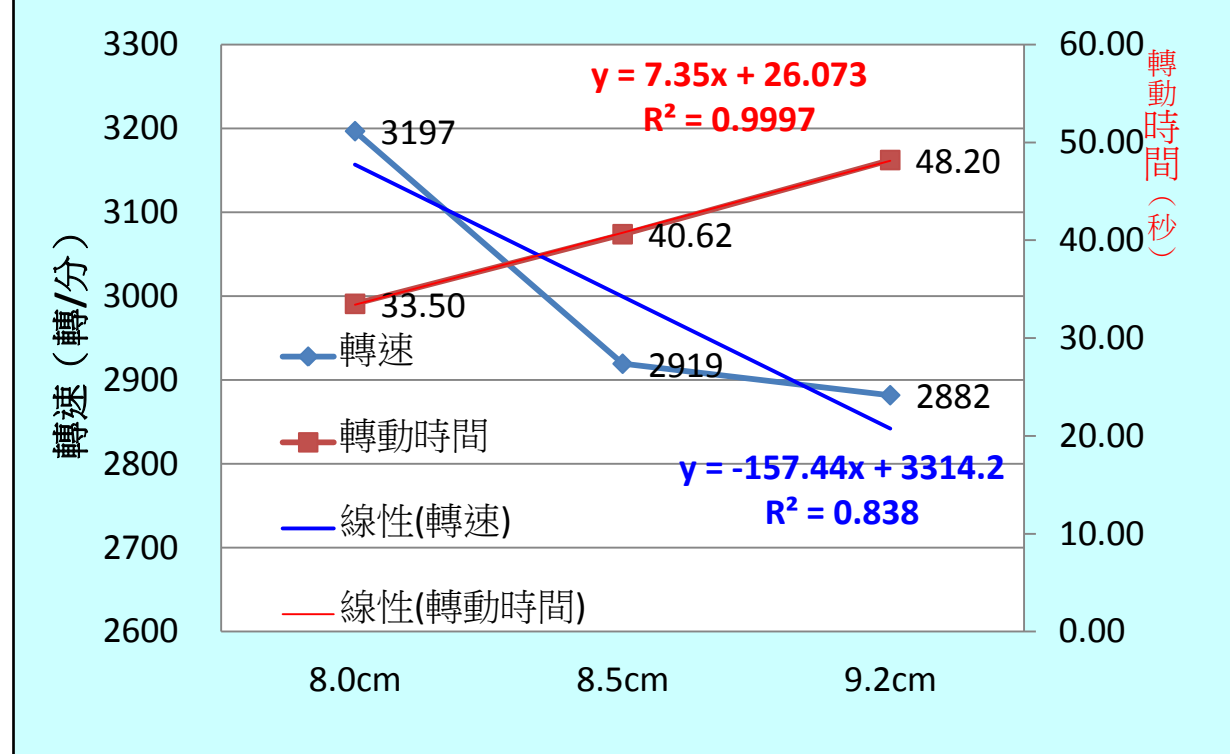


圖3-1 陀螺直徑對轉速、轉動時間的影響

由圖3-1發現：直徑8.0cm陀螺的圈數越多，轉速越快。直徑9.2cm陀螺的重量較重，轉動慣量較大，施力要越大，角動量大轉動時間最長。

實驗3-2 陀螺尾部形狀

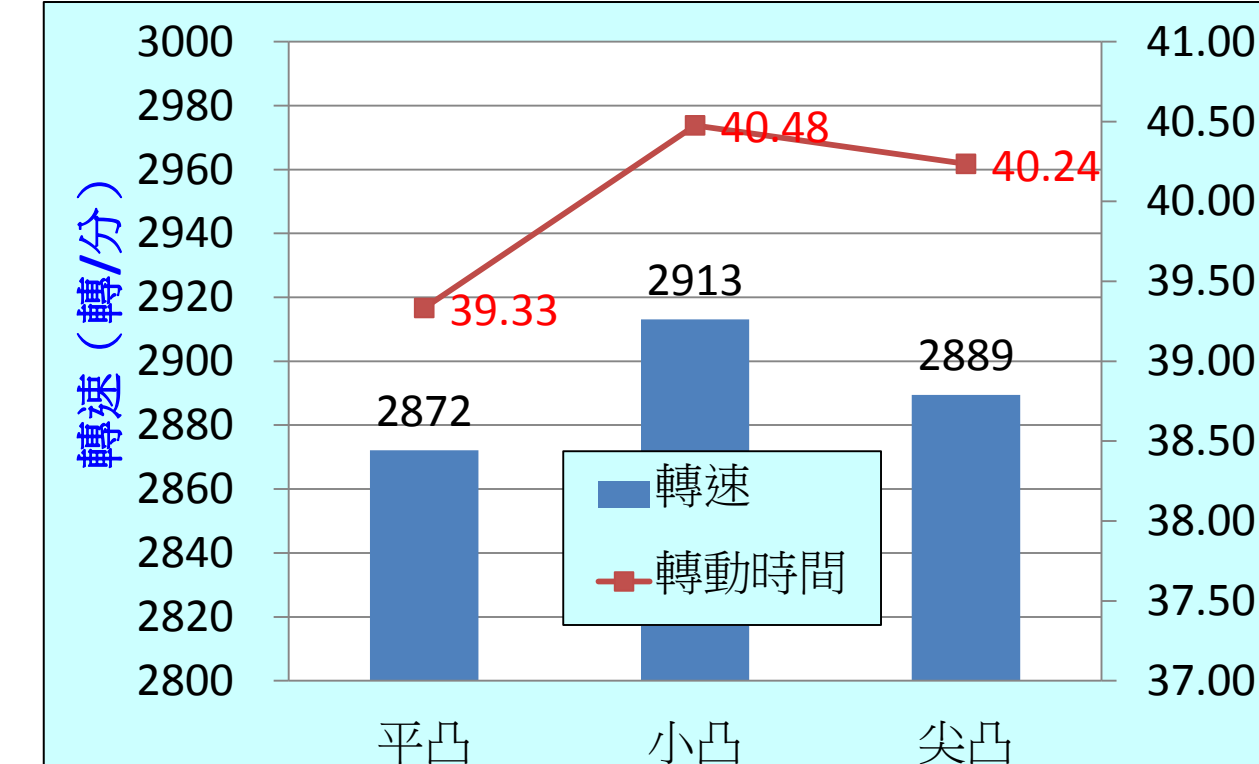


圖3-2 陀螺尾部形狀對轉速、轉動時間的影響

由圖3-2發現：小凸陀螺在轉動時較穩定，尖凸陀螺因為重心較高，容易產生晃動，投擲的準度比較差，平底陀螺不好握。

實驗3-3 陀螺重量

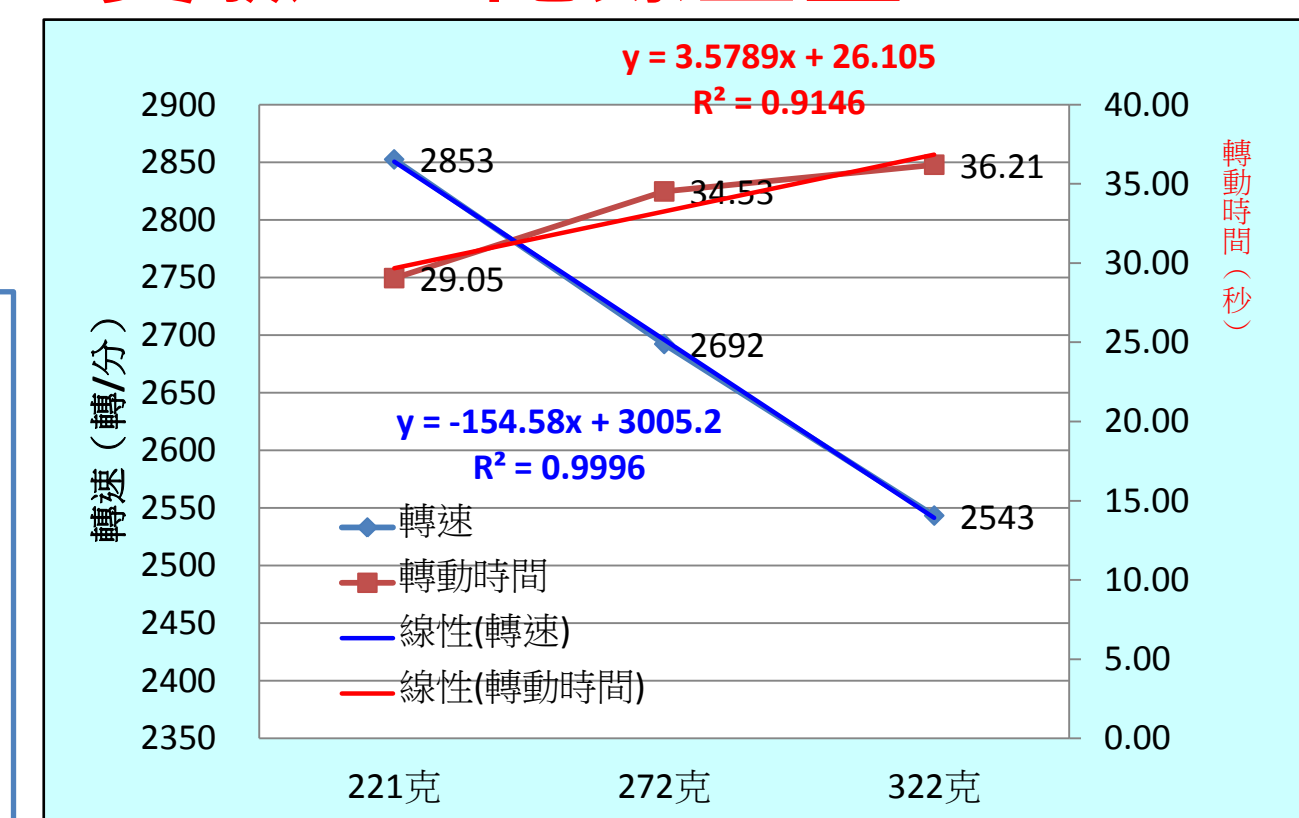


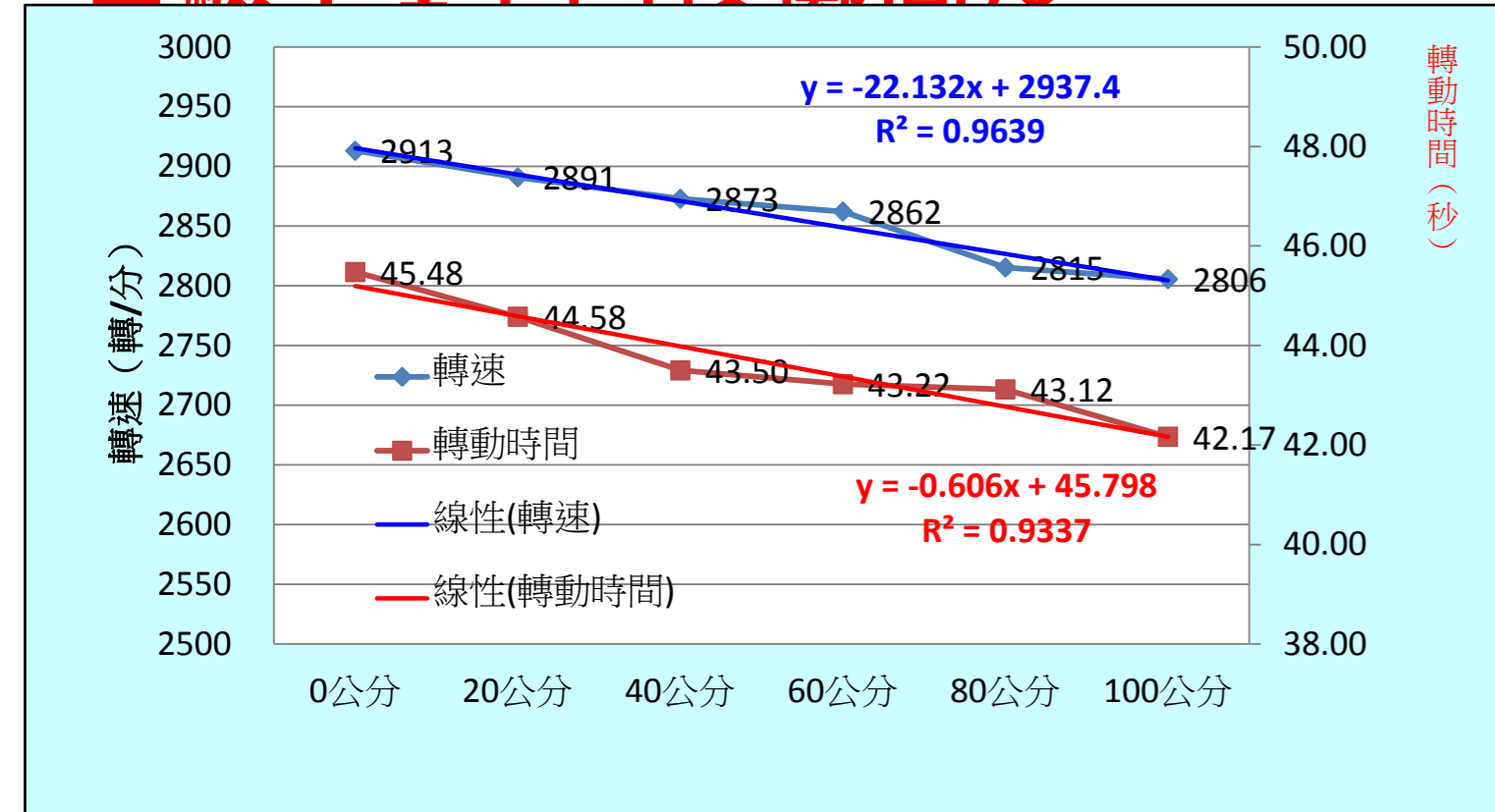
圖3-3 陀螺重量對轉速、轉動時間的影響

由圖3-3發現：陀螺重量越重，轉動動能越大，轉動時間越長。重量越小轉動動能越小，轉動時間越短。



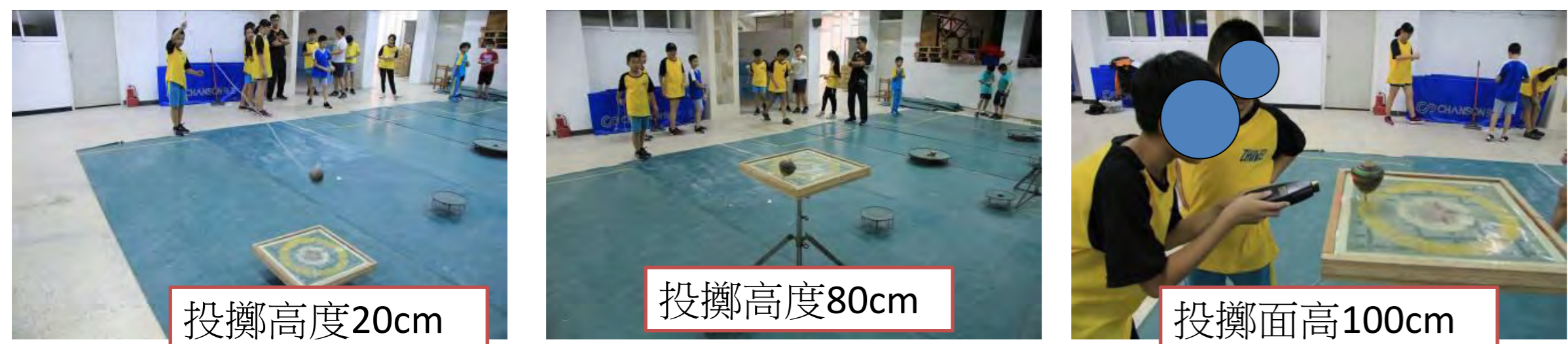
(四) 研究高度與距離對轉速轉動時間平均得分的影響

實驗4-1不同投擲高度

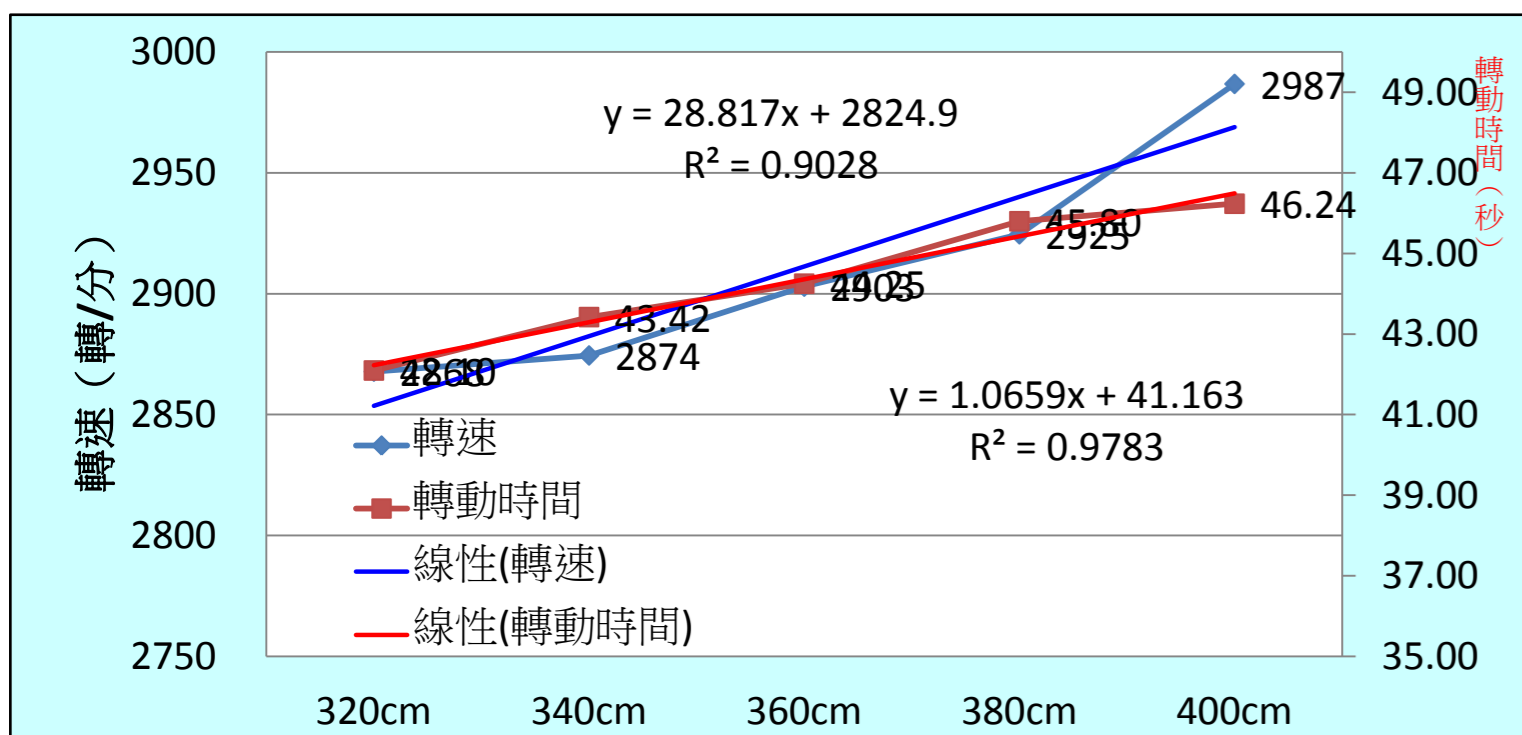


由圖4-1發現：投擲高度越高、手擺動角度越高、投擲陀螺放手點越高，投擲力量越不易控制。投擲高度越高，轉速越慢，轉動時間越短。

圖4-1不同投擲高度對轉速、轉動時間的影響



實驗4-2不同投擲距離



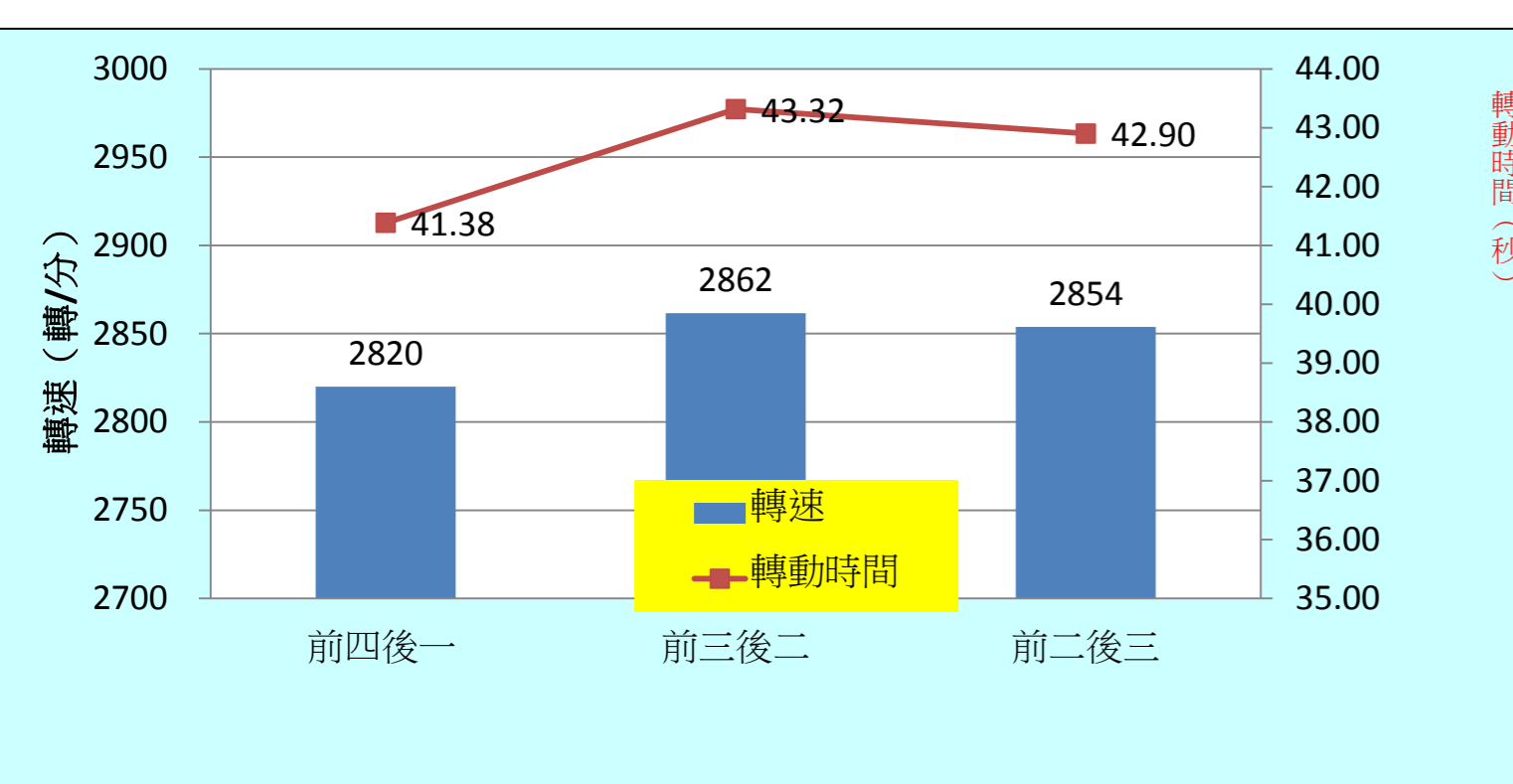
實驗4-2發現：投擲距離越遠，轉速越快，轉動時間越長。投擲距離越遠，準度越差，得分越低。

圖4-2不同投擲距離對轉速、轉動時間的影響



(五) 人為因素對轉速、轉動時間、得分的影響

實驗5-1手握方式

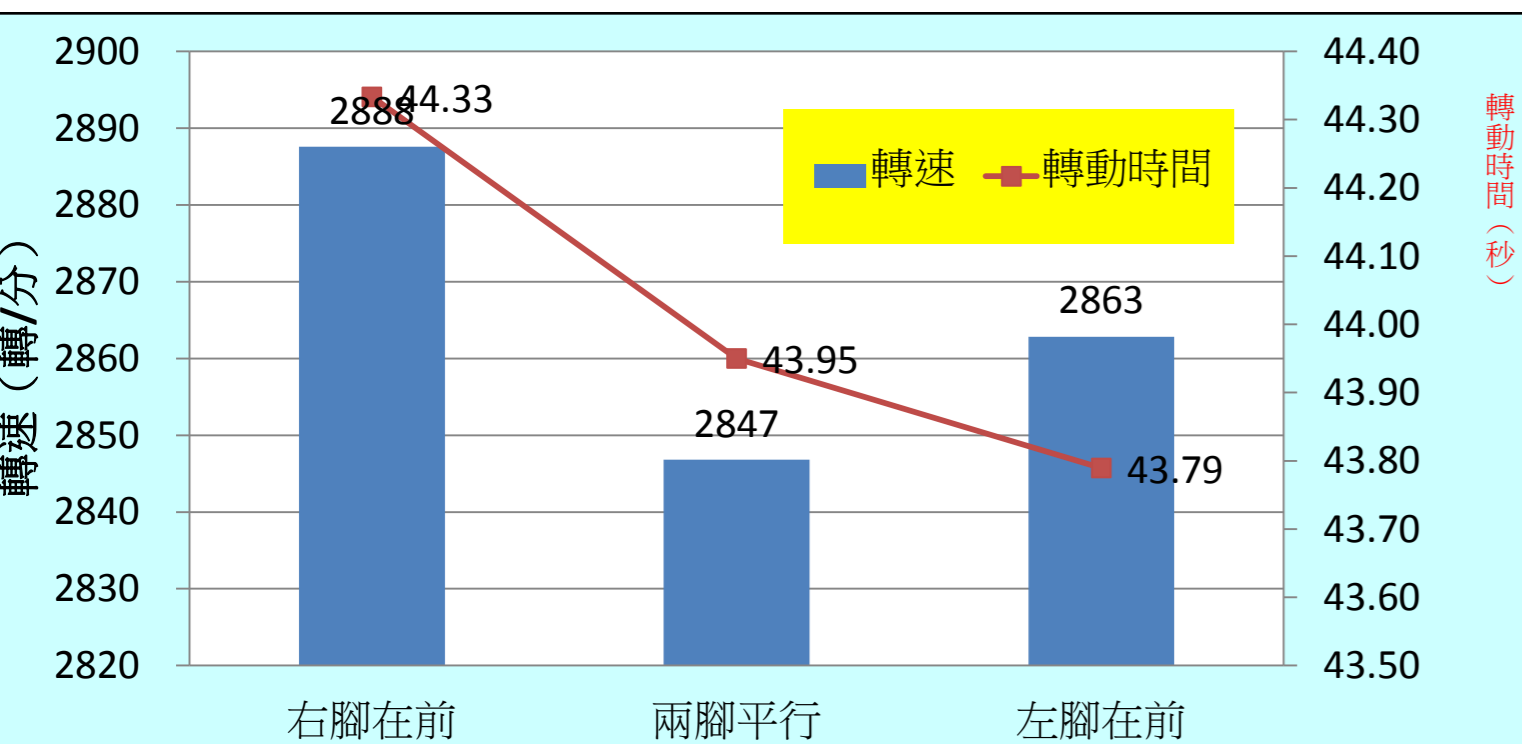


實驗5-1發現：手握方式以前三後二或前二後三在轉速、轉動時間較佳。

圖5-1手握方式不同對轉速、轉動時間的影響

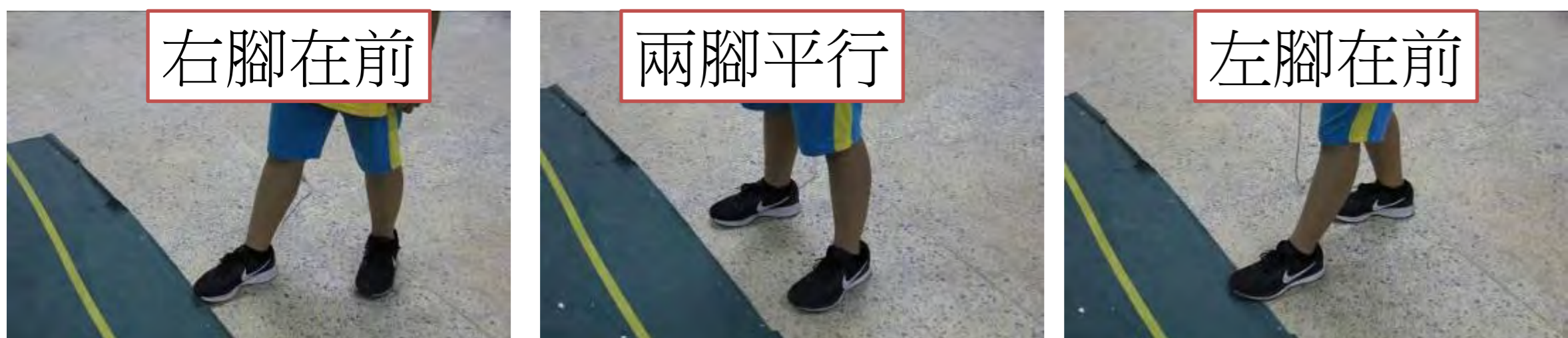


實驗5-2不同站姿

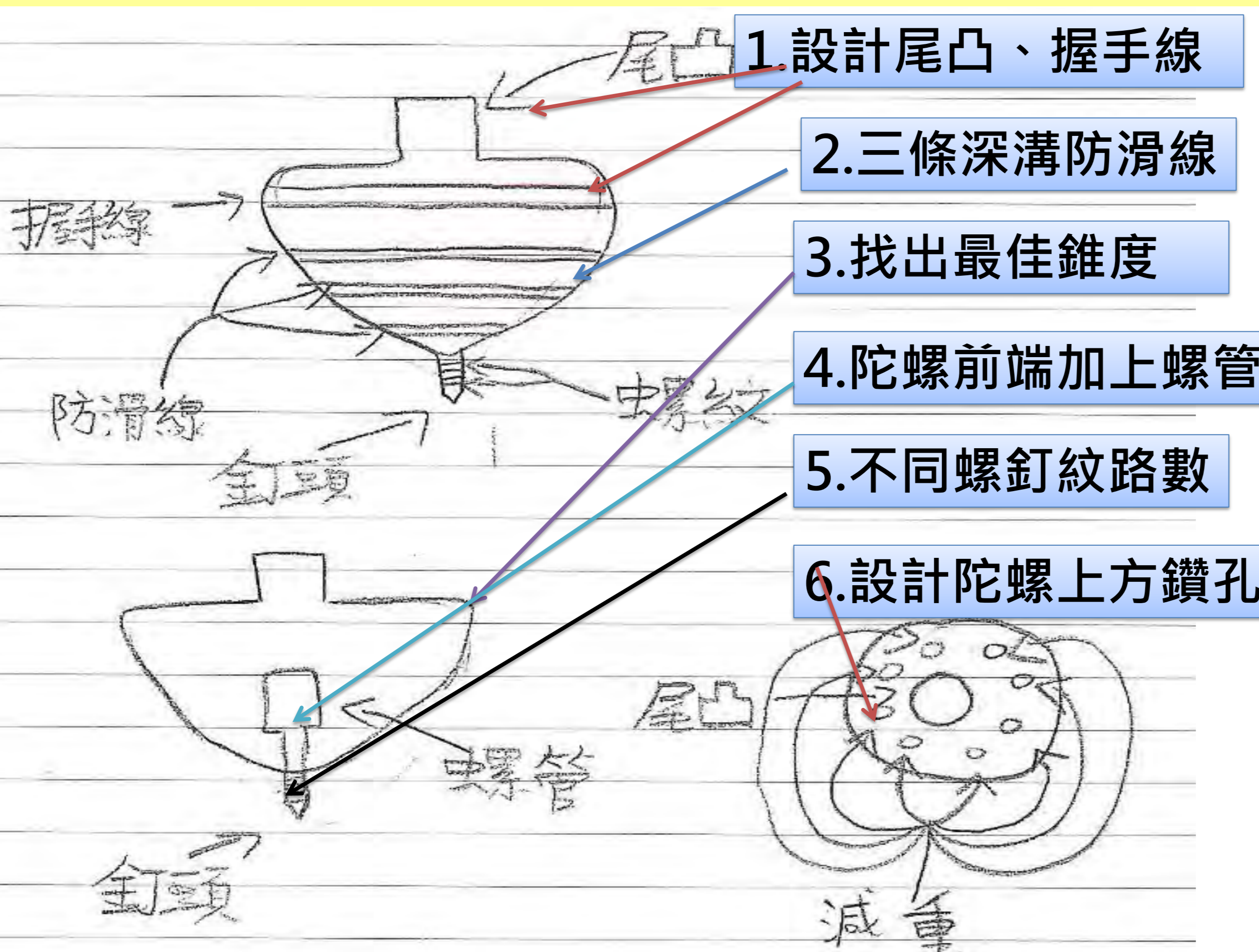


實驗5-2發現：因為投擲的距離相同，施力差異不大，對於轉速與轉動時間的影響有限。

圖5-2不同站姿對轉速、轉動時間的影響



二、力學改良傳統陀螺轉速、轉動時間、準度、失誤率



(一) 設計靠尾凸、設計有握、好握、好施力

1.設計尾凸、握手線好握好施力



2.實驗結果

實驗 (一)	操縱變因	實驗結果			
		轉速 (轉/分)	轉動時間 (秒)	平均得分	失誤率
改良前後	改良前	2899	41.89	2.60	0.20
	改良後	3113	40.64	2.88	0.12

3.實驗結果分析

改良後轉速與平均得分增加，失誤率減少。但改良後重量減少，角動量較小，轉動時間減少。

(二) 在陀螺上刻出三條深溝防滑線

1.刻出三條深溝防滑線



2.實驗結果

實驗 (二)	操縱變因	實驗結果			
		轉速 (轉/分)	轉動時間 (秒)	平均得分	失誤率
防滑線	一般滑線	2905	40.40	2.72	0.12
	深溝滑線	3208	42.86	3.04	0.08

3.實驗結果分析

有深溝防滑線在轉速、轉動時間、平均得分、失誤率均優於一般防滑線，原因是深溝防滑線，陀螺繞繩時增加靜摩擦力大（繞繩靜摩擦力1.8kg），轉速快，轉動穩定度高。

(三) 找出最佳錐度，使陀螺翻轉正確減少失誤

1.找出最佳錐度



2.實驗結果

實驗 (三)	操縱變因	實驗結果			
		轉速 (轉/分)	轉動時間 (秒)	平均得分	失誤率
陀螺錐度	尖錐	3102	42.52	2.84	0.12
	半圓錐	3076	43.18	3.00	0.12
	圓錐	2992	42.44	2.72	0.20

3.實驗結果分析

半圓錐陀螺（繞繩靜摩擦力1.8kg）不易滑繩，且重心低，投擲陀螺翻轉比較正確，半圓陀螺在轉速、轉動時間、平均得分最佳。

(四) 在陀螺前端加上螺管，使陀螺重心降低

1.陀螺前端加上螺管



2.實驗結果

實驗 (四)	操縱變因	實驗結果			
		轉速 (轉/分)	轉動時間 (秒)	平均得分	失誤率
降低重心	一般螺釘	3081	42.36	3.00	0.12
	螺孔螺釘	3171	41.56	3.20	0.08

3.實驗結果分析

在陀螺前端加入3分的螺絲管 (25) 克，螺釘 26.2克，陀螺的重心降低0.6cm，陀螺轉動較穩定，轉速快，但因螺管裝設在中心，重量集中在中心，所以轉動時間較短。

(五) 設計不同螺釘紋路數，增加轉速和陀螺轉動穩定度

1.不同螺釘紋路數



2.實驗結果

實驗 (五)	操縱變因	實驗結果			
		轉速(轉/分)	轉動時間(秒)	平均得分	失誤率
螺釘紋路數	0螺紋	3013	40.55	3.00	0.12
	1螺紋	3131	41.68	3.12	0.12
	2螺紋	3169	41.76	3.00	0.16
	3螺紋	3210	42.48	3.04	0.08

3.實驗結果分析

螺釘的紋路數越多，繞繩靜摩擦力越大，帶動陀螺力量越大，陀螺轉速快轉動時間長。

(六) 設計陀螺上方鑽孔減少上方重量降低重心

1.陀螺上方鑽孔



2.實驗結果

實驗 (六)	操縱變因	實驗結果			
		轉速(轉/分)	轉動時間(秒)	平均得分	失誤率
陀螺上方鑽孔	無鑽孔	3161	41.61	3.16	0.08
	有鑽孔	3245	40.87	3.24	0.08

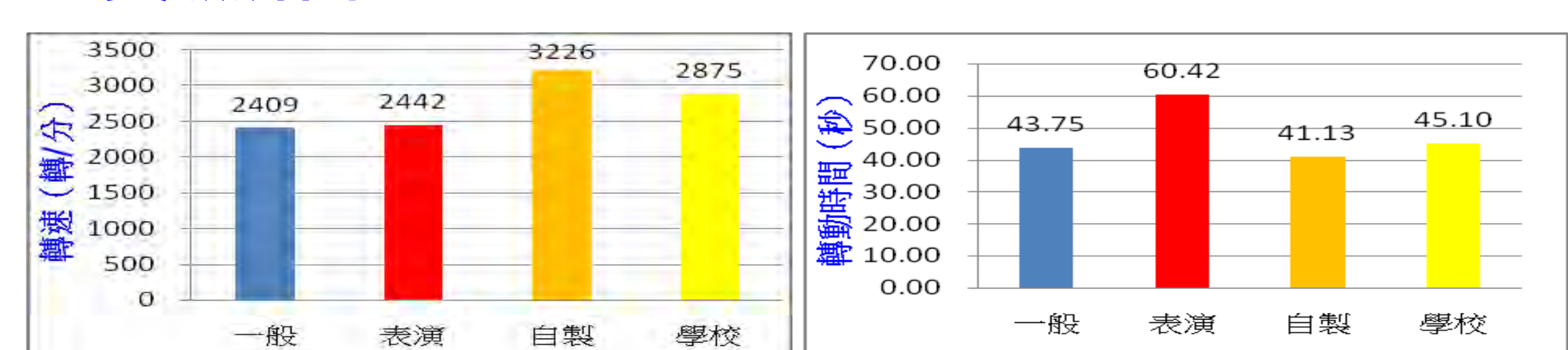
3.實驗結果分析

有鑽孔因減少陀螺尾部重量15克，重心下降0.3cm，轉速與轉動穩定度提高，即使是打歪了，還是會慢慢的轉正。

三、自製陀螺與市售陀螺的比較



1.實驗結果



2.實驗結果分析

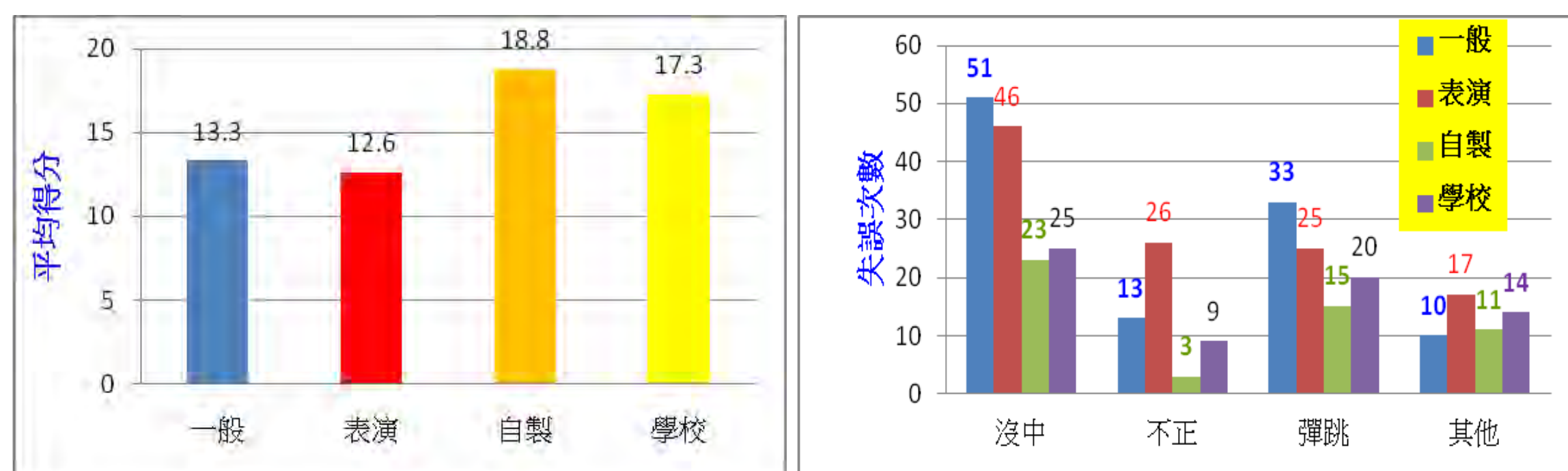
自製陀螺轉速比一般陀螺快(817轉)，平均得分高1.36，失誤率減少0.36。表演與一般與陀螺重量較重，施力較大，轉動動能較大，轉動時間較長為優點。

四、模擬比賽比較不同陀螺在競賽場的投擲準度



比賽場地 四種陀螺 進中心膠圈 (得3分)

1.實驗結果



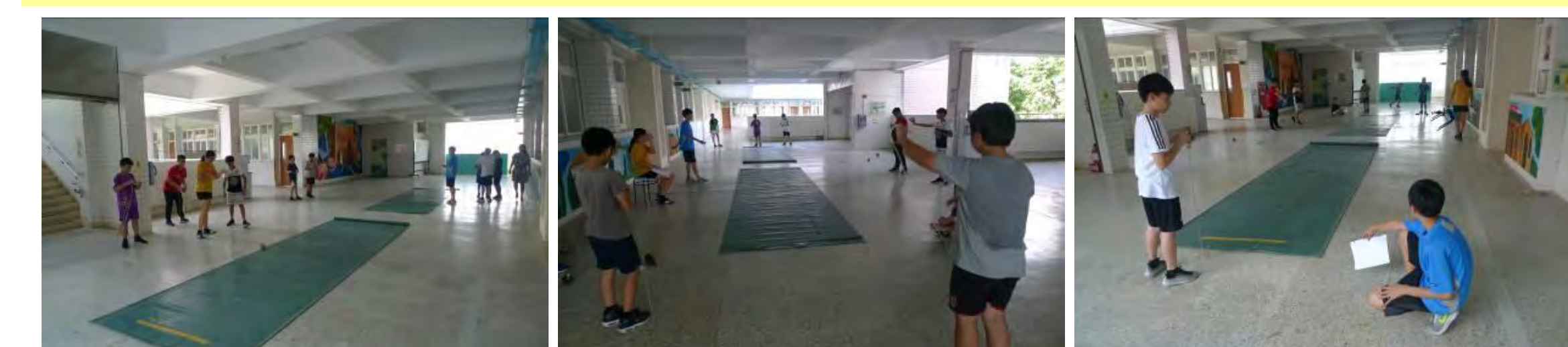
圖四-1 四種陀螺平均得分統計

圖四-2 四種陀螺總失誤原因分析統計

2.實驗結果分析

自製陀螺比學校得分陀螺多1.5分，比表演陀螺多6.2分，在正式陀螺擲準比賽分勝負都在1~3分之間，自製的陀螺有顯著增加得分效果。表演陀螺、一般陀螺與自製陀螺差5分以上，對於大部分的小學生而言表演與一般陀螺不適合陀螺擲準。

五、新手學習推廣陀螺民俗體育活動



1.實驗結果

實驗 (5--1)	操縱變因	實驗結果	
		轉速 (轉/分)	投擲成功率
新手學習	一般陀螺	2127	0.60
	表演陀螺	2293	0.55
	自製陀螺	2651	0.85
	學校陀螺	2476	0.70

2.實驗結果分析

自製陀螺投擲成功率0.85，比學校陀螺高0.15，比一般陀螺的高0.25，比表演陀螺高0.30，於初學者比較容易入手，容易學習。

陸、結論

- 影響陀螺轉速、轉動時間、陀螺投擲準度主要因素有 (1) 摩擦力 (2) 重心 (3) 陀螺翻轉。
- 改良傳統陀螺的轉速、轉動時間、失誤率
 - 尾凸、握手線，轉速、平均得分增加。
 - 刻出三條防滑溝，轉速快、轉動時間長、容易投擲。
 - 半圓錐陀螺的錐度，繞繩比較不易滑繩，重心比較低的優點，最佳錐度。
 - 可換式釘頭陀螺的重心向下，重心降低，陀螺轉動穩定度提高。
 - 釘紋越多越深，轉速快、轉動時間長、投擲穩定度越高。
 - 陀螺尾部鑽孔，減少重量，降低重心，有助於陀螺投擲的穩定度。

三、自製陀螺與學校、市售陀螺比較

自製陀螺在轉速比一般陀螺快(817轉)，平均得分率高0.27，失誤率減少0.36。

四、模擬比賽的成績

自製陀螺比學校陀螺高1.5分，比表演陀螺高6.2分，適合陀螺投擲比賽。

五、新手學習，推廣陀螺民俗體育活動

新手練習，投擲自製陀螺成功率0.85，比表演陀螺高0.30，自製陀螺適合初學者使用

柒、參考資料

- 邱其杉、黃永旺 (2015)。桃園縣大溪鎮陀螺運動發展之探討。臺灣體育學術研究卷期:58期，頁1-12。
- 陳義勳 (2010)。轉不停陀螺的奧秘。物理教育學刊，11卷2期，頁86-89。
- 蔡尚芳 (2001)。由牛頓力學看對稱陀螺的運動。科學教育月刊241期，頁35-44。
- 詹韻鈴、歐宗明、蔡宗信 (2015)。陀螺競賽辦法考察-全國各級學校民俗體育競賽為例。臺南大學體育學報，卷期:10期，頁21-37。
- 詹博恩、林郁軒、洪瑞陽、尤智德 (2002)。爆轉！最強的戰鬥陀螺！科展42屆。
- 林昱甫、趙祐德、楊子賢 (2004)。Ready set go！轉，轉，轉。全國科展44屆。
- 呂吳人、邱楹媛 (2006)。不約而同-對稱陀螺與非對稱陀螺。全國科展46屆。
- 林好珊、余昕瑩、張詠翔 (2017)。旋舞者-陀螺旋轉軌跡之探討。全國科展57屆。
- 吳聲聖、孫大智、溫文台 (2015)。給陀螺一點點的改變把那旋轉變成永遠。全國科展55屆。
- 新北市米倉國小陀螺專題網站，取自2018年12月12日。
<http://library.taiwanschoolnet.org/cyberfair2008/mtes502/home/home.htm>
- 楊舒喬 (2018)。繩奇摩力。全國科展58屆。