

四個以人體生理反應為主題的科學探究活動

文／蔡任圃

前言

為了培養具科學素養的國民，科學教育已從知識累積與精熟練習，轉變成以邏輯思辨、解決問題與自學創造等能力作為培訓的目標。科學教育也開始著重實作與探究的訓練，期望在設定的情境下，利用所學的知識、技能，運用於科學現象的探究與建構理論模型，以應用於解決實際的生活或學術問題，同時薰陶學子對科學的熱情。但因科學探究的課程不易開發，實驗器材的準備也常消耗過多人力、物力，課程的設計與執行也需花費許多時間構思與累積經驗，使得許多科學教師遇到種種阻礙。尤其是跨科的科學探究模組，無論是開發或是執行，都讓許多教師望之卻步。有沒有課前準備工作簡單、方便，卻能深入探究的科學實驗課程呢？

筆者累積多年的課程開發成果，目前已開發約 20 個科學探究模組，其中大多數為跨科模組（表 1）。筆者已將部分課程模組撰寫成書（蔡任圃，2022）或是刊登於其他刊物（蔡任圃等人，2019；馬瑪宣等人，2021；蔡任圃，2020），作為師生的教材。本文挑選其中四個課程模組，簡介其操作方式與探究主題，這些模組具有「器材簡易、準備方便，但能由簡而難、按部就班地建構科學探究的能力」之性質。

表 1. 科學探究模組簡介（較完整的介紹請見：<https://reurl.cc/WqemMe>）

探究實作模組	應用學科知識	跨科
心動時刻 影響人體心跳週期的因子	呼吸與姿勢對心跳率的調節 潛水反射	生物 建模
水往低處流 以流體的相關性質解釋各種血管的特性與血壓調節機制	連續方程式 柏努利原理 帕穗定律	生物 物理
英雄氣長 你能憋氣多久？	呼吸週期的調節機制 亨利定律 道耳頓分壓定律	生物 化學
看遠看近 人體眼睛光學性質的調控與晶體彈性的量化	透鏡的種類 眼鏡度數 視力的定義 人眼調節光路徑 謝瑞爾氏現象	生物 物理

探究實作模組	應用學科知識	跨科
汽水真有氣 影響碳酸溶液釋出二氧化碳速率的因子	亨利定律 平衡常數 勒沙特列原理 催化劑 成核作用 味蕾構造	生物 化學 物理
氧碳調 動物或植物組織之代謝率與呼吸商的測量	二氧化碳吸收劑 呼吸作用 代謝率 呼吸商	生物 化學
助你抗氧化 觸酶活性測定效應	觸酶	生物 化學
蔬果也要抗氧化 蔬果觸酶的活性測定	氧化還原電位 觸酶 化學動力學 反應級數	生物 化學
聽骨格說故事 骨骼的秘密與骨骼標本製作	骨骼形態與功能 槓桿原理	生物 物理
積水程式可成事 流量累積模擬運算 應用於生態系能量塔的討論	能量塔 流量累積模擬運算	建模 生物
慢燃還是快燒 以燃燒傳遞速度模擬髓鞘在神經傳導中的角色	動作電位 電阻與電容 跳躍傳導	生物 物理
照得住 植株體形與陽光角度 對葉片受光量的效應	四季成因 光的角度與能量接收 植物的葉型與葉序 追日行為 向光性	生物 地科
彈指之間 影響手指敲擊頻率的因子	Q10 (溫度係數) 激活後增強現象	生物 化學
我要活下去 等位基因頻率的遺傳漂變效應模擬	中性演化理論 哈溫定律 遺傳漂變	建模 生物
到底有多樣	物種多樣性	建模

探究實作模組	應用學科知識	跨科
物種多樣性的指標	吉尼-辛普生指數 香儂多樣性指數	生物
反正有幾次 多基因遺傳的數學建模	二項式分布 常態分佈 白努利試驗 多基因遺傳 哈溫定律	建模 生物
眨眨眼 受器訊息對眼瞼反射的效應	眼瞼反射與反射弧 的相關性質	生物建模
水流面面觀 如何利用流量測量截面積	連續方程式 柏努利原理 帕穗定律	物理建模
舉手投足 姿勢會影響血流嗎？	動脈與靜脈的性質 重力對流體的效應	生物 物理
忽前忽後 閨蜜的月經週期會同步嗎？	月經週期 費洛蒙	生物 數學
有沒有油？ 脂質的測定方法	折射定律	生物 物理

【心動時刻】課程模組簡介

一、實驗器材：碼表或其他可計時的工具、紀錄紙、筆

二、探究目的：探討各種變因對人體心跳率的效應

三、實驗操作與量化方式

利用「把脈」的方式，每 10 秒測量一次心跳率（單位：次/10 秒），共紀錄 7 次（共 70 秒）（表 2）。一般操作時以坐姿、休息狀態進行。其中第 3 與第 4 個紀錄期間（第 30 至 50 秒）加入探討的變因，以比較該變因的效應與隨後的恢復情形。

表 2. 測量心跳率時，所探討之變因的作用時間。

編號	1	2	3	4	5	6	7
時間	0-10 秒	11-20 秒	21-30 秒	31-40 秒	41-50 秒	51-60 秒	61-70 秒
變因期間	正常（對照組）		變因作用		正常（對照組）		

四、可探討的操縱變因

- (一) 停止呼吸（憋氣）：可再分為正常憋氣、大口吸氣後憋氣或用力吐氣後憋氣。以圖 1 的實驗數據為例，坐姿與躺姿時心跳率具有差異，且大口吸氣後憋氣會降低心跳率。
- (二) 潛水反射（diving reflex）：臉部接觸水後引發抑制心跳與呼吸的反射。受試者以躺姿，在因子作用期間將沾濕的紙抹布或毛巾覆蓋在臉上。以圖 2 的實驗數據為例，人體確實具有潛水反射，脸部接觸潮濕的紙巾時，心跳率會下降。
- (三) 光活動行為（photokinesis）：光線強度的變化會影響動物行為或生理反應之強弱的現象，可作為訓練學生設計實驗的主題。
- (四) 其他可用於訓練學生設計實驗的各種變因，例如：預期心理、身體姿勢等。

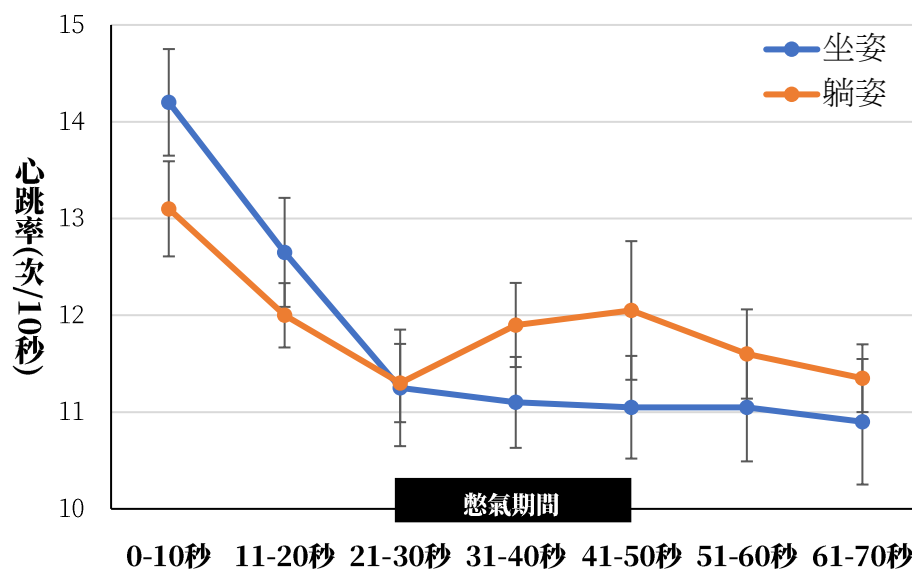


圖 1. 坐姿與躺姿時，大口吸氣後憋氣對心跳率效應。

平均 ± 標準誤，取樣數為 20 人

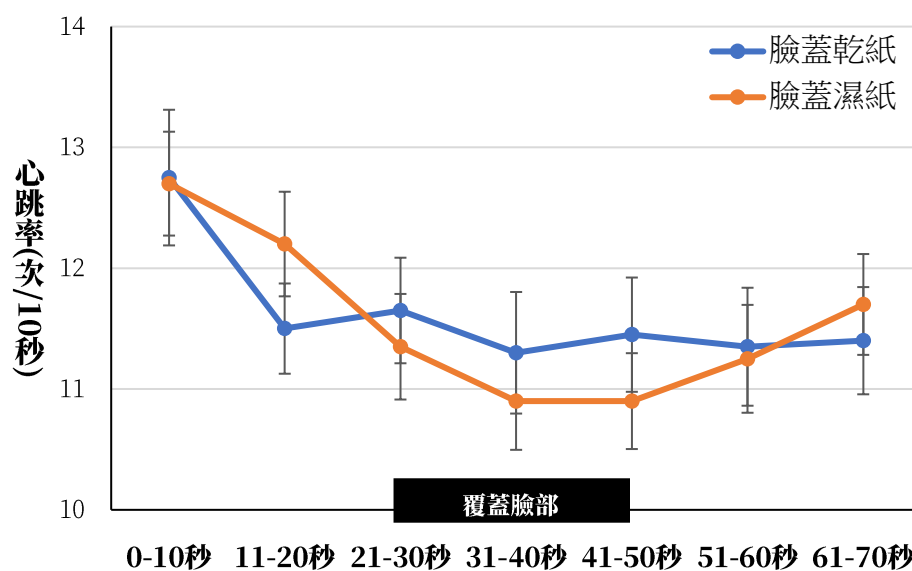


圖 2. 躺姿時，臉部覆蓋乾燥或潮濕的廚房紙巾的對心跳率效應。

平均 ± 標準誤，取樣數為 20 人

【英雄氣長】課程模組簡介

一、實驗器材：碼表或其他可計時的工具、紀錄紙、筆

二、探究目的：探討各種變因對人體最長憋氣時間的效應

三、實驗操作與量化方式

利用碼表測量人體自開始憋氣至無法憋住而被迫呼吸的「最長憋氣時間」，每次紀錄後需做適當的休息，若出現身體不適的現象應立刻停止實驗並妥善休息。

四、可探討的操縱變因

(一) 肺內的氣體體積：可比較正常憋氣、大口吸氣後憋氣或用力吐氣後憋氣，三種情形下的憋氣時間長度。以圖 3 的實驗數據為例，大口吸氣後憋氣可增加憋氣時間，而用力吐氣後憋氣會減少憋氣時間。

(二) 血液中二氧化碳含量：可透過以塑膠袋包覆口鼻的套袋呼吸方式，將呼出的二氧化碳再次吸回肺內，以增加血液中二氧化碳或碳酸氫根的濃度；可藉由過度換氣（快速的深呼吸），增加二氧化碳的排出速率，以減少血液中二氧化碳或碳酸氫根的濃度。以上操作（套袋呼吸或過度換氣）以實行 1 分鐘為原則，隨後開始憋氣並記錄憋氣的時間。以圖 4 的實驗數據為例，套袋呼吸後會減少憋氣時間，而過度換氣後可增加憋氣時間。

(三) 分段呼氣的效應：憋氣後分段呼氣，是否可增加憋氣的時間？此議題可作為訓練學生設計實驗的主題。

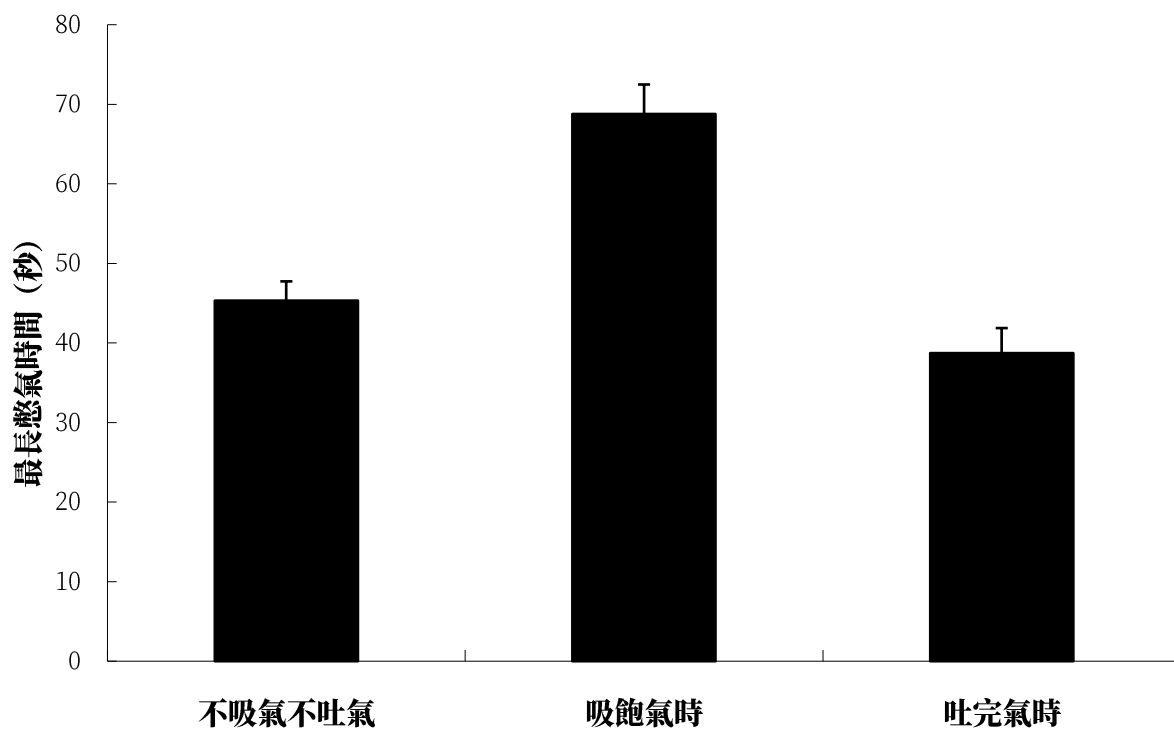


圖 3. 正常憋氣、大口吸氣後憋氣或用力吐氣後憋氣的憋氣時間長度。

■ 平均 ± 標準誤，取樣數為 25 人

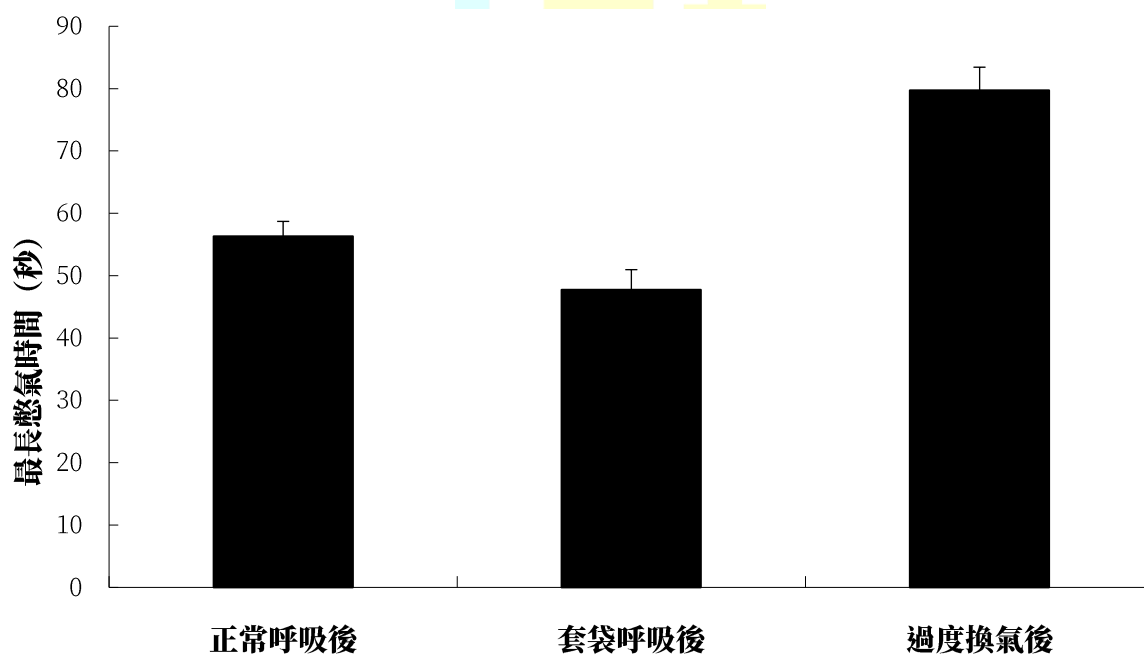


圖 4. 正常憋氣、套袋呼吸或過度換氣後的憋氣時間長度。

■ 平均 ± 標準誤，取樣數為 30 人

【彈指之間】課程模組簡介

一、實驗器材：碼表或其他可計時的工具、紀錄紙、筆、水盆、溫度計、冰塊、水（冷水與熱水）

二、探究目的：探討各種變因對人體手指運動頻率的效應

三、實驗操作與量化方式

利用碼表計時，計算單位時間內以食指敲擊拇指的敲擊次數，或是食指與中指輪流敲擊拇指的敲擊次數。每次操作後須讓手部充分休息。

四、可探討的操縱變因

（一）慣用手與非慣用手：分別記錄左手與右手的食指敲擊拇指之敲擊頻率，比較慣用手與非慣用手是否具以差異。以圖 5 的實驗數據為例，左手或右手的單指敲擊頻率差不多。

（二）兩指輪流敲擊的頻率是否為單指敲擊的 2 倍：分別測量食指敲擊拇指的敲擊頻率，與食指與中指輪流敲擊拇指的敲擊次數，比較兩者的比值。以圖 5 的實驗數據為例，雙指敲擊的頻率並未高達單指敲擊頻率的 2 倍。

（三）溫度對手指運動的效應：以水盆分別裝入室溫水、低溫水（比室溫低 10°C ）與高溫水（比室溫高 10°C ），將手部的浸入水中 1 分鐘，之後計算在水中食指敲擊拇指之敲擊頻率，以比較手部在不同溫度時的指頭運動速度。以圖 6 的實驗數據為例，在適當的溫度範圍內，溫度越高，手指運動的速度會越快。

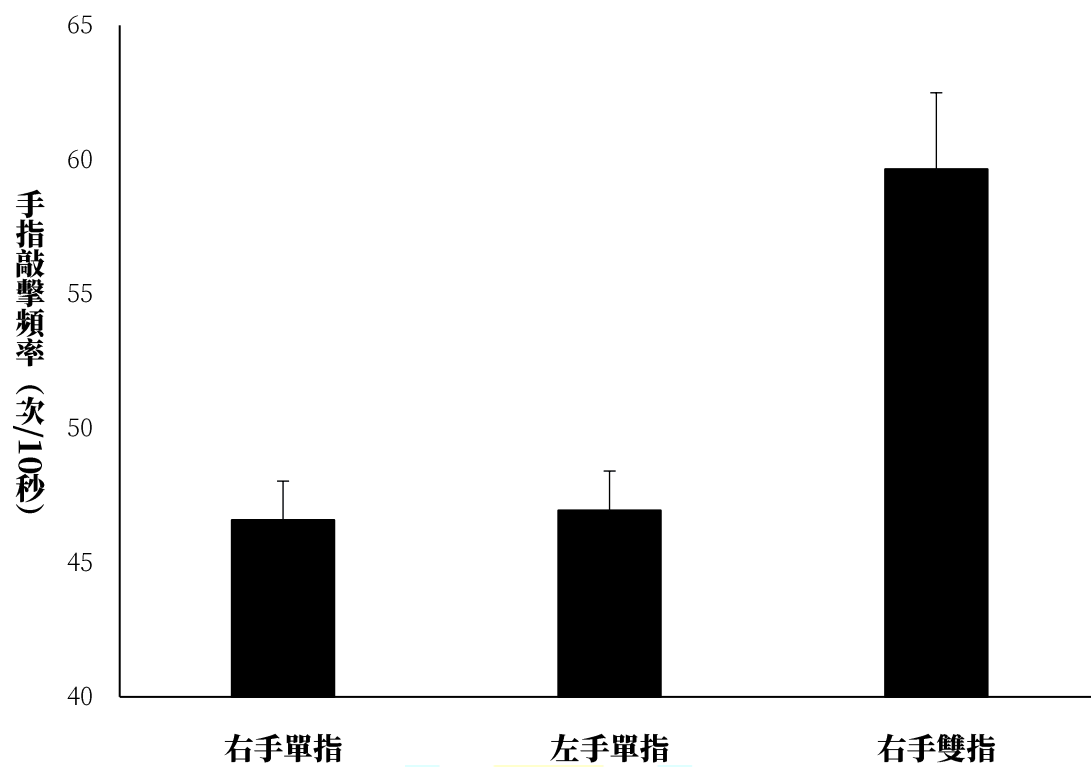


圖 5. 右手單指、左手單指與右手雙指的手指敲擊頻率。

■ 平均 ± 標準誤，取樣數為 34 人

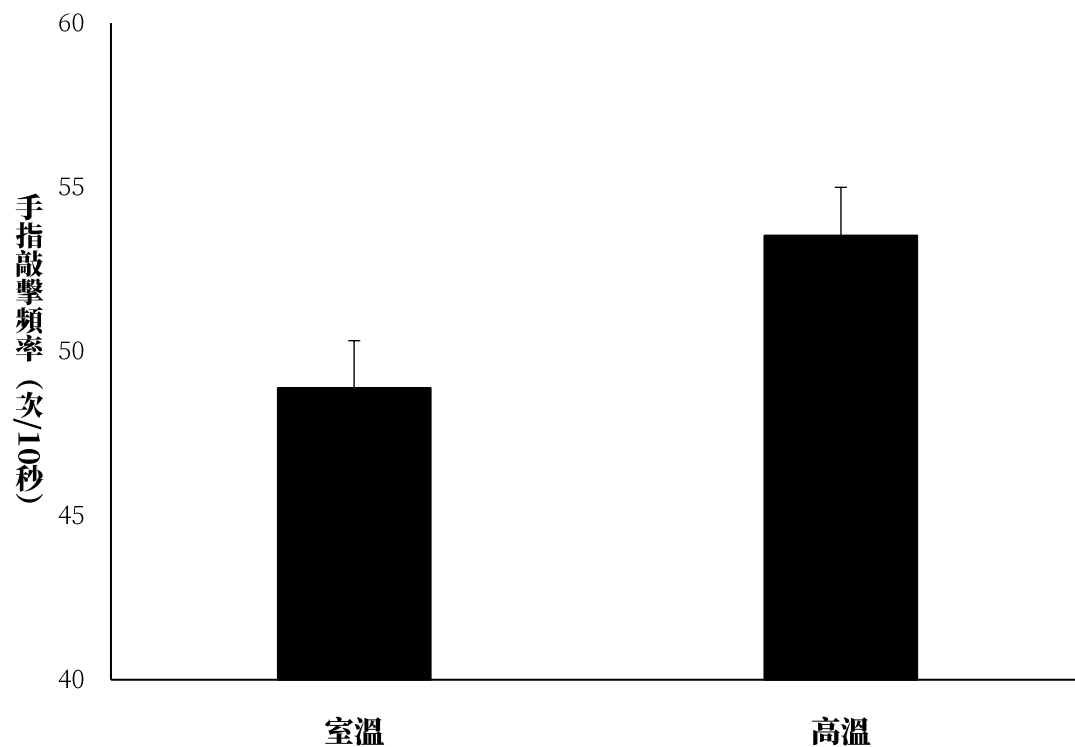


圖 6. 室溫 (25°C) 與高溫 (35°C) 下，右手單指敲擊頻率。

■ 平均 ± 標準誤，取樣數為 34 人

肆、【眨眨眼】課程模組簡介

一、實驗器材：碼表或其他可計時的工具、紀錄紙、筆、蛙鏡、生理實驗水、風扇（電風扇或手搖扇皆可）

二、探究目的：探討各種變因對人體維持不眨眼之時間的效應

三、實驗操作與量化方式

利用碼表計時，計算睜開眼睛後最長可忍住多久不閉上眼瞼（眨眼）的時間。

四、可探討的操縱變因

- (一) 睜開眼睛的數量：比較只睜開右眼、只睜開左眼與兩眼皆睜開的情形下，持續睜眼的最長時間。以圖 7 的實驗數據為例，三種情形間的差異不大（未達統計上的顯著差異）。
- (二) 眼睛睜開的程度：比較兩眼皆正常睜開與兩眼半開半閉的情形下，持續睜眼的最長時間。以圖 8 的實驗數據為例，兩眼半開半閉的情形可增加持續睜眼的最長時間。
- (三) 眼睛表面的水分蒸散程度：比較對眼睛扇風、戴上蛙鏡（減少眼睛的水分蒸散）、眼睛滴入一滴生理食鹽水等情形下之持續睜眼的最長時間。

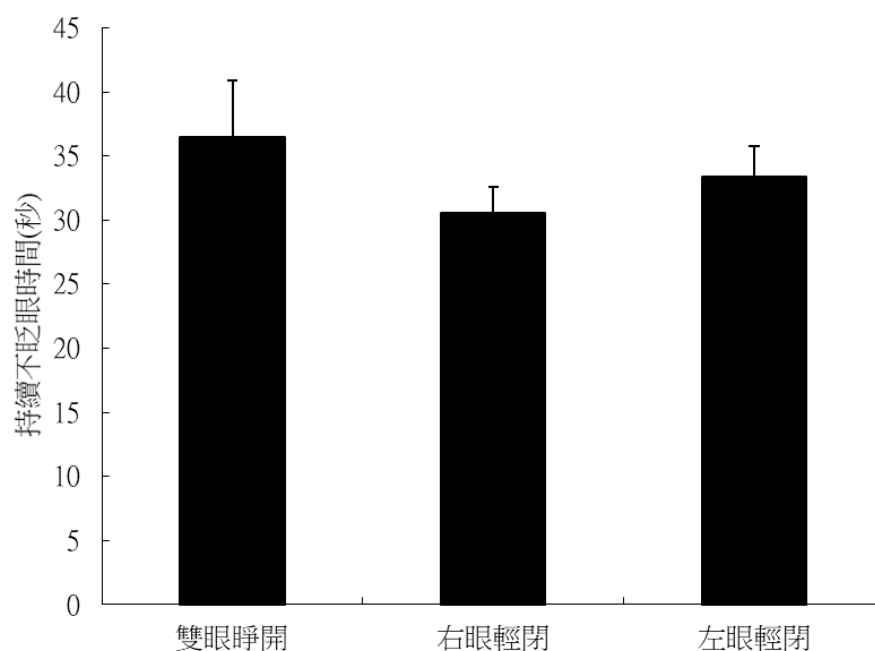


圖 7. 雙眼睜開、僅睜開左眼（右眼輕閉）與僅睜開右眼（左眼輕閉），持續睜眼的最長時間。

■ 平均 ± 標準誤，取樣數為 141 人

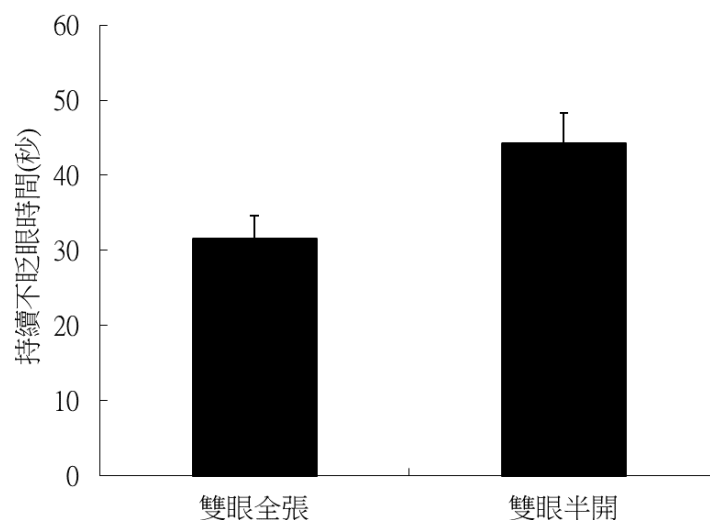


圖 8. 雙眼全張與雙眼半開之持續睜眼的最長時間。

■ 平均 ± 標準誤，取樣數為 113 人

結語

本文雖提供科學探究課程的議題與素材，但仍需教學者針對學生屬性、教學目的等條件，進行課程設計，並隨學生學習的狀態適時修正教學方式或內容，以「讓學生深刻的經歷科學探究過程」為目標，而不是做出符合理論的實驗結果。實驗的數據與研究的結論本身並不重要，學生的學習才是課程的目的。科學探究課程需要學生在探究過程中經過多次討論、試誤與發表，才能在學習的歷程中驅動能力增長，是一種著重「學習歷程」的教學活動 (process-based learning)。同樣的，科學探究課程的精進，也是需要透過老師經過多次討論、試誤與交流的，筆者曾多次在教師研習或工作坊分享科學探究模組 (圖 9)，才有機會吸收不同教師的試教經驗回饋，讓課程模組不斷修正、精進。換句話說，科學探究課程的發展本身就是一個探究歷程，教師須先有探究能力，才可能教學生探究能力。



圖 9.
在教師工作坊分享【心動時刻】課程模組的活動操作照片，圖中為探討姿勢變化對心跳率的效應。

蔡任圃

臺北市第一女子高級中學生物科教師

captain.okw@gmail.com

筆者曾於 2022 年，以「可線上進行的三個科學探究活動—眨眨眼、英雄氣長與彈指之間」一文，參加臺北市第 23 屆中小學及幼兒園教育專業創新及行動研究 課程教學及評量類，獲得佳作。

參考資料

- [1] 馬瑪宣、許哲瑜、蔡任圃，2021。生物探究與實作。龍騰文化。
- [2] 蔡任圃，2020。高中生物多元選修教材-進擊的實驗課。南一書局。
- [3] 蔡任圃，2022。動手做科學探究：輕鬆運用生活中的材料，培養提問、設計實驗、邏輯思辨與表達能力。紅樹林出版社。
- [4] 蔡任圃、郭明憲、鄭志鵬。2019。高中自然科探究與實作Ⅱ。翰林出版。