

中華民國第 65 屆中小學科學展覽會

作品說明書

高級中等學校組 行為與社會科學科

第三名

052705

探討語音與圖片學習呈現策略對學生學習成效
與認知歷程之影響—以腦波儀量測為依據

學校名稱： 國立屏科實驗高級中等學校

作者： 高一 劉奕邑 高一 楊于萱	指導老師： 簡聿成 陳佳琪
---------------------------------	-----------------------------

關鍵詞： 多媒體學習策略、EEG 腦波、生成學習

摘要

本研究探討不同多媒體學習呈現方式與策略操作對學生學習成效與認知歷程的影響，並結合腦波量測進行實證分析。研究分兩階段進行：第一階段設計三種影片類型（語音＋圖像＋文字、語音＋圖像、語音＋文字），比較學習表現之差異；第二階段以成效最佳的「語音＋圖像」組為基礎延伸三種策略（單次觀看、重複觀看、觀看後口述）進行比較。結果顯示「語音＋圖像」組在學習成效、專注度與放鬆度表現最佳，符合雙通道與冗餘原則；「觀看後口述」策略在測驗成績與語意整合指標上具優勢，展現生成學習與深層加工潛力。

本研究結合理論與腦波數據，提供多媒體教材設計與教學策略實證建議，展現腦波輔助學習診斷可行性，呼應永續發展目標「優質教育」核心精神。

壹、研究動機

一、數位學習普及下的多媒體教材設計挑戰

隨著數位學習資源迅速普及，教學影片、電子書、互動教材等多媒體工具成為高中生常見的學習方式，特別應用於遠距課程、補救教學與素養評量準備等場域。這類教材多採語音、圖像與文字並用的形式，旨在提升學習趣味與理解效率。然而，「多通道同時輸入」是否能有效促進學習，或反而因認知負荷過重而影響專注，對高中生而言仍是待釐清的問題。

二、理論依據：冗餘與記憶系統負載

Mayer 的多媒體學習理論指出，學習者透過視覺（圖像）與語言（語音或文字）兩通道處理資訊，且各通道容量有限。若設計不當，例如同時呈現語音、圖像與文字，易造成「冗餘效應」，干擾理解。Baddeley 的工作記憶模型則指出，音韻迴路與視覺描繪板分工不同，若資源分配不當，將使中央執行系統超載，進而影響學習效果。

三、實證研究的需求與方法補強

儘管上述理論已被廣泛引用，實際應用於高中數位學習情境時，卻少有結合生理數據的實證研究。過去研究多仰賴問卷或成績推論學習狀態，受主觀與環境因素影響較大，難以即時掌握學生的專注與壓力變化。因此，本研究結合腦波儀即時記錄 Attention（專

注度)與 Meditation (放鬆度)，並搭配學習測驗，補足傳統方法的侷限，以更準確掌握教材組合對認知歷程的影響。

四、延伸研究：從輸入到生成的認知加工驗證

學習不只是接收資訊，更包含理解、統整與重建。近年研究發現，重複輸入（如重看）與生成活動（如口頭講述）有助於啟動深層認知加工，強化理解與記憶。因此，本研究以「語音＋圖像」的 B 組為基礎，延伸設計三種策略變化：B-1 單次觀看、B-2 重複觀看、B-3 觀看後口述。

延伸實驗（階段二）同樣以本地高中生為對象，教材內容選用寓言文本，設計貼近實際教學情境，兼顧操作性與語文素養。期望本研究能回饋第一線教學與教材設計，提供具實證依據的優化建議，並作為推動數據驅動教學與個別化學習設計的參考。

貳、文獻探討

一、多媒體學習理論與認知負荷

(一) Mayer多媒體學習理論概述

Mayer 的多媒體學習理論 (Cognitive Theory of Multimedia Learning, CTML) 指出，人類透過「雙通道處理」學習：視覺通道處理圖像，語言通道處理語音或文字。然而，兩通道的處理容量有限，若同時輸入過多訊息，易導致「認知過載」，影響理解與記憶效果。有效學習需透過主動的訊息選擇、組織與整合 (Active Processing)，以建構長期記憶。Mayer 提出 12 項設計原則，其中與本研究關聯最密切的四項：

1. 冗餘原則：語音、圖像與文字若同時呈現，可能造成注意分散與干擾。
2. 信號原則：透過動畫或圖像提示引導注意，強化理解焦點
3. 一致性原則：移除與學習無關的視聽元素，有助降低外在干擾
4. 鄰近原則：語音與圖像、文字與圖片應在空間與時間上靠近，避免增加眼球移動與認知負擔。

(二) Sweller認知負荷理論概述

Sweller 的認知負荷理論指出，教材設計會影響三種類型的負荷，分別是：本體負荷（由內容本身決定）、外在負荷（由教材呈現方式引起）、與相關負荷（學習者投入的思考加工）。

本研究在控制內容一致的前提下，透過操作外在呈現方式，探討冗餘、信號與一致性原則對學習歷程與腦波反應的影響。

表 01：Mayer 多媒體設計原則×研究影片設計對照表（作者自行整理）

Mayer多媒體設計原則	原則說明	本研究影片設計應用
冗餘原則 RedundancyPrinciple	避免語音＋圖像＋文字同時出現，以免干擾學習	A組故意違反此原則，設計「語音＋圖像＋文字」作為對照
多媒體原則 MultimediaPrinciple	語音＋圖像比單一形式更能增進理解	B組設計以「語音＋圖像」為核心對照，符合此原則
信號原則 SignalingPrinciple	透過強調動畫、圖示或符號來引導注意力	影片中重要片段搭配文字強調與轉場提示
一致性原則 CoherencePrinciple	避免不必要的背景音效、插圖或裝飾性干擾	所有三組影片排除背景音與無關圖案
時間鄰近原則 TemporalContiguity	圖片與語音應同步呈現，避免延遲	語音與圖像同步播放，無分段播放
空間鄰近原則 SpatialContiguity	相關文字與圖片應相鄰，減少視覺跳躍	文字與圖像在畫面中相對靠近，無分離排版

二、工作記憶模型與多感官處理限制

（一）Baddeley工作記憶模型概述

Baddeley（1974）提出工作記憶模型，將短期記憶分為三個子系統：中央執行系統（負責注意力與資源分配）、音韻迴路（處理語言）、視覺空間描繪板（處理圖像與空間資訊）；2000年再增補「情節緩衝器」，強化對多感官整合與長期記憶形成的解釋力Cowan（2005）與 Alloway（2010）指出，工作記憶容量與語文理解、學習成效高度相關。若教材同時輸入過多資訊而資源分配不當，易導致注意力分散、理解錯亂等問題。

本研究即以此模型為理論依據，探討不同資訊組合是否超出中央執行系統負荷，並透過腦波指標驗證各組的專注與壓力差異。

（二）Baddeley模型驗證預測

本研究應用 Baddeley 模型於四種教材設計中，預測各組在認知負荷與腦波反應上的差異如下：

1. A組（語音＋圖像＋文字）：三通道同時輸入，音韻迴路與視覺描繪板同時啟動，增加中央執行系統負荷，可能導致專注下降、學習成效不穩。
2. B組（語音＋圖像）：語言與視覺通道分工處理，負荷適中，專注與理解表現穩定，為推薦的多媒體學習設計。
3. C組（語音＋文字）：語音與文字皆屬語言通道，資訊重疊易干擾理解；缺乏圖像支援，使理解與記憶負擔加重，預期學習表現較低。

4. D組（語音-only）：僅啟用語言通道，雖理論負荷最低，但因缺乏視覺刺激與結構提示，易造成注意力流失與理解困難。D組僅作為極簡補充對照組，無統計分析。

三、腦波量測技術與學習歷程分析

傳統評量如問卷、觀察紀錄難以即時掌握學生在學習過程中的內在狀態。隨著神經教育學（Neuroeducation）發展，非侵入性的腦波儀（EEG）成為觀察學習歷程中專注、壓力與放鬆變化的重要工具。不同腦波頻段與認知狀態關聯如下：

表 02：腦波頻段與認知學習狀態說明（作者自行整理）

腦波頻段	認知關聯／學習狀態說明
Low Alpha	放鬆但仍有警覺，常出現在靜坐或初始注意集中狀態
High Alpha	放空、較深層放鬆，進入類似「走神」、「視覺內省」狀態
Low Beta	穩定專注與學習狀態，屬於目標導向任務的基本波段
High Beta	認知壓力上升、認知過載、焦慮或壓力性任務
Low Gamma	基本語意加工、詞彙理解整合
High Gamma	多模態整合、跨區域神經溝通、創造力與抽象思維活動

本研究根據相關理論與實證基礎，使用 MindSensor 輕量型腦波儀，在學生觀看不同教材影片時同步記錄專注度（Attention）與放鬆度（Meditation），並搭配後測成績進行分析。此方法可彌補問卷與觀察對即時學習歷程掌握的不足，並驗證教材設計對工作記憶負荷的影響，進一步實證多媒體學習理論與工作記憶模型在真實學習情境中的適用性。

不同腦波活動對應於特定大腦區域與認知歷程：額葉與 Beta 相關，反映專注與執行功能；Alpha 出現在頂葉與枕葉，對應放鬆狀態；Theta 與顳葉、邊緣系統有關，與記憶與情緒處理相關；Gamma 則常見於額頂整合區與語言區，反映語意理解與訊息整合。

Kao 與 Shih（2020）以高中生為對象的研究發現，觀看動畫影片能提升 Alpha 與低頻 Beta 波活動，代表進入穩定專注狀態；而觀看靜態教材則出現 High Beta 波上升，顯示認知負荷較高。此結果呼應本研究對 B 組（語音＋圖像）效益的預測，亦為教材設計與腦波反應之間的連結提供佐證。

四、生成學習與教學相長的認知效益

根據 Fiorella 與 Mayer（2015）的生成學習理論（Generative Learning Theory），當學習者主動將所學轉化為語言、圖像或教學輸出，有助於強化理解並促進長期記憶。Vygotsky（1978）也提出「教學即學習」觀點，指出在對同儕講述內容的過程中，能激發更高層次

的語意組織與思維運作。本研究於階段二設計 B-3 組為「觀看後即時口述」任務，驗證生成性活動對專注力與理解的神經與行為效益。

(一) 生成學習 (Generative Learning) 理論

生成學習強調「主動產出」的過程，例如講述、繪圖或教導他人，能促進學習者進行以下三個歷程：選擇（選出關鍵訊息）→ 組織（統整成有意義的結構）→ 整合（與先備知識結合）。此歷程不只是複誦，而是透過重組與再表達來深化理解。像「學後講述給同儕」這類輸出導向任務，正是一種典型的生成活動。

(二) 講述效應 (Learning by Explaining)

教育心理學研究亦指出，「學後無提示講述」是一種有效的深層加工策略。根據 Chi et al. (1994) 與 Roediger & Karpicke (2006)，這種自發講述可強化語意組織、促進知識連結與理解遷移，並有助於記憶鞏固。

因此本研究的 B-3 組設計結合生成學習與講述效應，透過無聲影片提示 + 學生主動講述，觀察其專注力、腦波活動與學習表現，補足過往研究對深層加工歷程的探討不足。

五、重複輸入策略與認知鞏固的實證基礎

多數學習者無法僅靠一次觀看或閱讀便完全理解教材，因此「重複輸入」成為常見的學習策略。理論上，反覆觀看有助逐步釐清概念、修正理解偏誤，並促進訊息內化。

Roediger 與 Butler (2011) 指出，「間隔重複」與「再學習」能有效強化長期記憶，因為每次再現都在既有知識基礎上重新連結與整合。神經研究亦發現，重複學習能降低首次處理時額葉與顳葉的負荷，並提升 Alpha 與 Low Beta 活動，顯示進入更熟悉且穩定的專注狀態 (Kang et al., 2009)。

因此，本研究新增 B-2 組（觀看兩次）設計，以探討重複輸入對學習成效的影響，並與 B-1（單次觀看）及 B-3（觀看後口述）進行比較。

六、深層加工與生成學習之理論依據

不同學習策略對成效與腦波的影響，除多媒體與工作記憶理論外，亦與處理深度與策略型態密切相關。階段二所設計的三種策略（B-1、B-2、B-3）分別對應不同的認知參與層次，理論說明如下：

(一) 深層加工理論 (Levels of Processing Theory)

Craik 與 Lockhart (1972) 提出，記憶效果取決於訊息處理的深度：

1. 淺層加工：僅處理表面特徵（如重複、抄寫），記憶保存時間短淺層加工僅處理外部特徵（如重複、視覺辨識），記憶保存時間短。
2. 深層加工：涉及語意理解、知識聯結與應用，能促進長期記憶。
3. 生成任務如講述、舉例、統整等，皆為深層加工的具體實踐。

B-3 組的「觀看後口述」即屬此類，透過語言輸出觸發更深層的語意處理歷程。

(二) 神經認知對應：Gamma波與語意整合

高頻腦波（如 High Gamma）與語意統整、抽象思考與多模態融合相關。本研究中，B-3 組在 High Gamma 表現最明顯，顯示深層加工歷程的神經對應。

(三) 策略層級比較與研究意涵

綜合理論與實驗設計，三組策略可依任務特徵與參與深度區分層級。下表（略）統整各組的任務形式、認知處理層次、腦波表現與深層加工潛力，作為本研究對學習策略認知效益之初步詮釋與未來應用基礎。

表 03：（階段二）學習策略認知效益與後續應用依據（作者自行整理）

策略組別	策略類型	任務形式	處理層次	對應腦波	深層加工潛力
B-1	輸入型	單次觀看	淺層	Low Gamma	低
B-2	輸入型	重複觀看	中等	Low Gamma	中
B-3	輸出型	觀看後口述	深層	High Gamma	高

七、本研究設計、理論與預測對應概覽

(一) 階段一：設計及理論分析

為強化研究設計的學理依據與實證可行性，本研究依據 Mayer 的多媒體學習理論與 Baddeley 的工作記憶模型，設計四種教材呈現方式，並預測其對學習歷程與腦波反應的影響如下：

1. A組「語音＋圖像＋文字」：違反冗餘原則，語言與視覺通道資訊重疊，增加中央執行系統負荷，預期出現 Alpha 下降、High Beta 上升，反映專注降低與壓力提升。
2. B組「語音＋圖像」：符合雙通道設計與多媒體原則，認知負荷適中，預期 Alpha 上升、Low Beta 正常，為推薦的最適教材設計。
3. C組「語音＋文字」：僅啟用語言通道，資訊處理偏單一，理解與記憶負擔增加，預期 Alpha 與 Beta 穩定，但學習效率低於 B 組。

4. D組「語音-only」：未啟用視覺通道，理論上認知負荷最低，但可能因缺乏視覺刺激造成專注力下降、學習參與度降低。

本研究結合腦波儀即時量測 專注度（Attention）與放鬆度（Meditation），並搭配後測成績，比較各組學習成效與認知歷程差異。藉此補足傳統學習評量工具的不足，建立教材設計與腦神經反應之間的關聯模型，進一步提出具體教學與設計建議。

（二）階段二：設計及理論分析

為深入探討學習策略對學習歷程的影響，第二階段新增多項腦波頻段指標，除原有的 Attention、Low Alpha、Low Beta 外，增列 Low Gamma（語意理解）與 High Gamma（整合與深層認知）。各頻段對應不同的認知歷程：

1. Low Beta：反映邏輯思考與穩定任務執行。
2. Gamma 波：與語意整合與深層加工密切相關，特別在「觀看後講述」等生成性學習中，預期 High Gamma 明顯上升，代表學習者進行主動的訊息轉化與內化。

本階段設計三組學習策略（B-1、B-2、B-3），理論依據與腦波反應預測如下表：

表 04：（階段二）各組對學習歷程與腦波反應的可能影響（作者自行整理）

組別	B-1（單次）	B-2組（重複）	B-3組（口述）
對應理論	雙通道理論	重複學習、分散學習理論	生成學習理論
學習成效	中等	高（鞏固記憶、熟悉化）	高或更高（理個體差異大）
腦波反應	Attention ↑、Alpha穩定	Attention ↑、Alpha更穩	Low Beta ↑、Low Gamma ↑、High Gamma ↑、High Beta ↓

參、研究目的

一、階段一之研究目的及問題假設

（一）階段一：研究目的

在數位學習快速普及的背景下，教材呈現形式愈趨多元，其設計對學生學習成效與認知歷程的影響日益受到重視。為釐清不同多媒體資訊組合的學習效益，本研究以 Mayer 的多媒體學習理論 與 Baddeley 的工作記憶模型 為基礎，設計四種影片類型（A：語音＋圖像＋文字、B：語音＋圖像、C：語音＋文字、D：語音-only），探討其對高中生學習成效、專注度與認知負荷之影響，並以科學方法進行實證分析，期為教材設計提供理論依據與實務建議。

本研究設計四種資訊組合的影片作為教學材料，其認知負荷及效果預測分別為：

表 05：（階段一）影片資訊呈現方式之負荷與學習效果推估整理（作者自行整理）

組別	資訊組合	認知負荷預測	預期效果
A組	語音+圖像+文字	高	干擾學習、資訊超載
B組	語音+圖像	適中	最佳組合、穩定
C組	語音+文字	中等偏低	理解有限
D組	語音-only	最低	資訊吸收不足

實驗過程中，透過 MindSensor 輕量型腦波儀即時紀錄學生在學習過程中的專注度（Attention）與放鬆度（Meditation），並搭配後測選擇題成績，評估不同資訊呈現方式對學習歷程與腦神經反應的影響。（D組極簡對照組僅供補充觀察，未納入統計主體）

（二）階段一：研究問題

本研究期望回答以下三個核心問題：

1. 不同的多媒體學習方式是否對學生的學習成效產生顯著影響？
2. 同時呈現語音、圖像與文字是否會造成認知負荷過高，影響理解效果？
3. 哪一種呈現方式最能提升學生專注度並促進學習成效？

（三）階段一：研究假設與理論對應整合

本研究根據 Mayer 多媒體學習理論（冗餘原則、多媒體原則、信號原則、雙通道理論）與 Baddeley 工作記憶模型，提出三大方向假設，預測不同多媒體教材呈現方式對學習成效、認知負荷與專注度將產生顯著差異。下表為研究假設與對應理論的統整：

表 06：（階段一）假設對應理論彙整（作者自行整理）

假設項目	預測比較	對應理論或原則
學習成效	1(1) B 組 > A 組	Mayer 冗餘原則
	1(2) B 組 > C 組	Mayer 多媒體原則
認知負荷	2(1) A 組 > 其他組	Mayer 冗餘原則、Baddeley 工作記憶模型
	2(2) C 組 > B 組	Mayer 調節方式原則
專 注 度	3(1) B 組 > A 組	Mayer 冗餘原則、Mayer 信號原則
	3(2) B 組 > C 組	Mayer 雙重通道理論

透過腦波儀記錄專注度（Attention）與放鬆度（Meditation）等即時指標，並搭配學習成績，本研究將驗證上述假設是否成立，進一步釐清教材設計對學習歷程的實際影響，並作為教學與教材優化的依據。

二、階段二之研究目的及問題假設

（一）階段二：研究目的

階段一結果顯示，「語音＋圖像」組（B組）在學習成效與腦波表現上整體最佳，符合多媒體學習理論中「雙通道處理」與「冗餘排除」原則。為進一步探討不同學習策略層級對學習歷程的影響，階段二設計延伸實驗。

本延伸研究以B組為基礎，參考生成學習理論（Generative Learning）、教學相長（Teaching as Learning）與重複學習（Repeated Input）理論等理論設計三種學習策略。分別對照理論整理如下：

表 07：（階段二）影片資訊呈現方式之負荷與學習效果推估整理（作者自行整理）

組別	策略類型	對應理論	預期學習效果
B-1	單次觀看	階段一訊息處理、短期記憶活化	記憶啟動、理解基線
B-2	連續觀看兩次	重複學習理論、再聚焦與強化	專注穩定、壓力下降
B-3	觀看一次後口述重點	生成學習、教學相長、語意整合	深層加工、記憶強化

本研究結合腦波儀記錄（Attention、Meditation）與後測成績，分析三種策略對認知投入、加工深度與學習表現的影響，探索策略層級對數位學習歷程的貢獻。

（二）階段二：研究問題

為驗證策略層級是否影響學生學習歷程，本研究從以下面向提出三項核心問題：

1. 在相同教材內容下，不同學習策略是否會對學習成效產生顯著影響？
2. 重複觀看是否有助於提升專注與理解？
3. 口述輸出是否能深化學習歷程，提升長期記憶與語意整合能力？

（三）階段二：研究假設與理論對應整合

延續階段一研究結果，第二階段聚焦於成效最佳的 B 組（語音＋圖像）基礎上，設計三種不同學習策略：B-1：單次觀看、B-2：重複觀看、B-3：觀看後口述。

根據生成學習理論（Fiorella & Mayer, 2015）、深層加工理論（ Craik & Lockhart, 1972）、學習後講述效應研究，提出以下假設，預測不同策略學習成效與腦波表現。

表 08：（階段二）影片資訊呈現方式之負荷與學習效果推估整理（作者自行整理）

假設項目	學習成效假設	認知加工假設
預測比較	H1： B-3 > B-2 > B-1	H2： B-3 Gamma（語意整合）與 Low Bet（邏輯處理）皆高
對應理論	生成學習理論、 深層加工理論	生成學習理論、深層加工理論、 學習後講述效應
腦波波型	High Gamma ↑	Gamma ↑、Low Beta ↑

本研究透過腦波數據與後測成績分析，驗證策略層級對學習歷程的影響，並探討生成性任務是否能有效促進專注、整合與理解。

肆、研究方法

本研究共分兩階段進行，結合腦波儀（MindSensor）即時生理數據與學習成效測驗結果，探討多媒體教材呈現方式與學習策略操作對認知歷程與學習成效的影響。

一、研究設計總覽

階段一以「資訊呈現方式」為自變項，比較不同多媒體組合對學習成效與腦波反應的影響。階段二則延伸階段一表現最佳的 B 組（語音＋圖像），操作不同學習策略層級（B-1、B-2、B-3）進行比較分析：

（一）階段一：多媒體呈現方式比較

實驗自變項為四種教材影片組合，依據 Mayer 的冗餘原則、雙通道理論與 Baddeley 的工作記憶模型，探討資訊負荷與學習歷程之關聯。測量工具為腦波儀紀錄之 Attention（專注度）、Meditation（放鬆度），並搭配後測學習成績分析。

表 09：（階段一）多媒體組別設計邏輯與理論依據對照表（作者自行整理）

組別	呈現方式	對應理論
A組	語音＋圖像＋文字	冗餘原則、過載理論
B組	語音＋圖像	多媒體原則、雙通道理論
C組	語音＋文字	缺乏圖像支援、負荷不均
D組	語音-only	單通道對照組（未納入統計假設與檢定分析）

（二）階段二：學習策略操作比較（延伸B組）

根據階段一結果，B組表現最佳，故本階段以相同教材、語音與長度為基礎，操作三種策略作為自變項，探討策略層級對學習成效與腦波反應的影響。搭配生成學習理論、教學相長理論與重複學習理論進行理論驗證。

表 10：（階段二）影片資訊呈現方式之負荷與學習效果推估整理（作者自行整理）

組別	策略類型	操作方式	對應理論
B-1	單次觀看	觀看一次→測驗	基準組，低認知負荷
B-2	重複觀看	觀看一次→再看一次→測驗	重複學習效應
B-3	觀看後口述	觀看一次→口述重點→測驗	生成學習、教學相長

※全程配戴腦波儀，記錄 Attention、Meditation、Beta、Gamma 波型變化。

※每組皆使用相同文章與影片內容，測驗題數統一為 20 題選擇題

二、研究對象與樣本規劃

本研究受試對象為本校高一學生，具備相似的學科背景與數位學習經驗，研究共分為兩階段進行，皆採隨機分組、單一任務操作，避免跨組干擾：

(一) 階段一：樣本規劃（A/B/C組）

階段一共邀請30位學生參與，依隨機分配原則平均分成三組：A 組（語音+圖像+文字）10 人、B 組（語音+圖像）10 人及 C 組（語音+文字）10 人。

每位受試者皆配戴 MindSensor 腦波儀記錄 Attention(專注度)與 Meditation(放鬆度)，並完成 10 題選擇題測驗作為學習成效指標。

(二) 階段二：樣本規劃（B-1/B-2/B-3組）

階段二研究同樣邀請30位學生，並平均分配至三組。B-1 組（單次觀看）10 人、B-2 組（重複觀看）10 人、B-3 組（觀看後口述）10 人。受試者全程配戴腦波儀，紀錄 Attention、Meditation、Beta、Gamma 等波型；後測為 20 題選擇題。

三、實驗設計

本研究採兩階段變項操作設計，分別探討「多媒體呈現方式」與「學習策略層級」對學習歷程與腦波反應之影響。

(一) 實驗組別與變項對照一覽表

表 11：實驗組別與變項對照一覽表（作者自行整理）

階段	自變項	組別與操作方式	依變項（資料收集）	控制變項
階段一	多媒體呈現方式	A（語音+圖像+文字） B（語音+圖像） C（語音+文字）	10題測驗分數、 Attention、 Meditation 指數	教材內容、影片長度、語速、配音、測驗題目等皆一致
階段二	學習策略操作層級	B-1（單次觀看） B-2（重複觀看） B-3（觀看後口述）	20題測驗分數、 Attention、 High Beta、Gamma	同上： 內容、語速、測驗條件一致

(二) 教材設計與影片規格

1. 階段一：教材設計與影片規格

- (1) 主題來源：契訶夫小說〈變色龍〉，由研究者改寫並簡化為現代中文
- (2) 教材版本：製作三種影片（語音+圖像+文字／語音+圖像／語音+文字）
- (3) 製作規格：皆長約 4 分 11 秒，語音由雅婷 TTS 配音，語速、語調一致
- (4) 設計理論依據：Mayer 的冗餘原則、雙通道理論與信號原則

A. 影片A組 | 畫面同時呈現背景圖像與完整字幕（移動式），為冗餘資訊高組



B. 影片B組 | 僅提供圖像與語音，不含文字，符合雙通道模型



C. 影片C組 | 僅提供聲音與（移動式）文字，無圖像支援，屬單通道語言輸入組

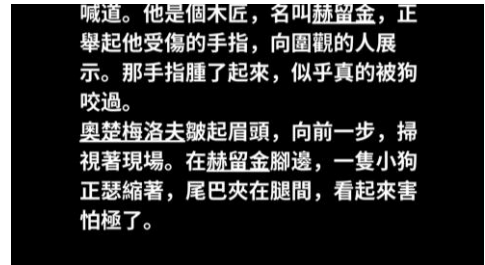
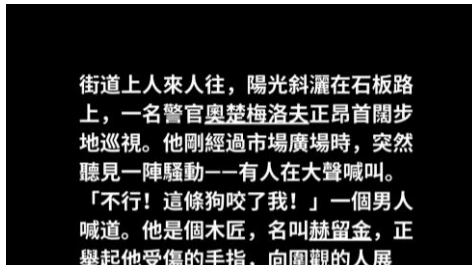


圖 01：（階段一）影片畫面範例（作者自行運用 AI 繪製）

2. 階段二：教材設計與影片規格

- (1) 主題來源：〈台美法律制度比較〉，依據高中生素養設計
- (2) 教材版本：三組觀看影片皆為同一部內容，操作策略不同（輸入 vs. 輸出）
- (3) 製作規格：影片長 3 分 2 秒，語音由雅婷 TTS 配音
- (4) 設計理論依據：以生成學習、重複學習與教學相長理論為依據設計策略操作

下圖為影片畫面示意截圖（學習策略 B-1/B-2/B-3 共用同一版本）：



台灣法律制度介紹（獨立單頁）



美國法律制度介紹（獨立單頁）



台灣法律制度介紹（同一頁）



美國法律制度介紹（同一頁）

圖 02：（階段二）影片畫面範例（作者自行運用 AI 繪製）

3. 研究設計概要比較表（階段一vs階段二）

為清楚呈現本研究兩階段在實驗組別、教材主題、操作變項與設計焦點上的差異與延續性，特設下列表格進行對照。此比較有助突顯研究在「訊息呈現方式」與「學習策略層級」兩大變項的實驗邏輯，以及在影片內容與控制條件上的一致性，強化本研究操作設計的科學性與有效性。

表 12：學習策略與「呈現內容」及「變化重點」的分析比較（作者自行整理）

階段	組別	呈現內容	操作變相	不變項
階段一	A/B/C	簡易： 文學寓言故事《變色龍》	呈現方式 不同	影片長度一致 語音內容一致
階段二	B-1/B-2/B-3	素養導向： 台美法律制度的比較	策略操作 不同	影片內容完全相同

(三)測驗與問卷設計

為評估受試學生在不同實驗條件下的學習成效，本研究設計配合教材內容之選擇題測驗作為行為面評量工具。兩階段測驗題數與內容結構略有不同，皆經教師審閱調整以符合各教材之難易度與學習目標。皆無主觀問卷，且所有題目皆具標準答案，由 Google 表單統一作答並自動計分。

1. 階段一：選擇題測驗

- (1) 題數及配分：共 10 題單選題，總分 100 分
- (2) 題型結構：基本理解題 5 題、細節辨識與語意推論題 5 題，每題 10 分
- (3) 測驗題目範例：

腦波實驗測驗

* 表示必填問題

1.故事的主要場景在哪裡發生? * 10 分

☐ A) 法院前廣場

☐ B) 市場廣場

☐ C) 火車站

☐ D) 公園小徑

6.赫留金這個角色在故事中的象徵意義是什麼? * 10 分

☐ A) 被壓迫的小人物

☐ B) 濫用權力的人

☐ C) 社會上的有錢階層

☐ D) 公平正義的代表

圖 03：（階段一）測驗題目範例（作者自行整理）

2. 階段二：選擇題測驗

- (1) 題數及配分：共 20 題單選題，總分 100 分
- (2) 題型結構：基本理解 10 題，每題 2 分／延伸思考 10 題，每題 8 分
- (3) 測驗題目範例：

腦波實驗（第二階段—台美法律比較）	
* 表示必填問題	
1. 台灣的法律制度屬於哪一法系？ *	2 分
<input type="radio"/> A. 普通法系	
<input type="radio"/> B. 民法系	
<input type="radio"/> C. 大陸法系	
<input type="radio"/> D. 習慣法系	
12. 台灣的「職權主義」代表什麼意思？ *	8 分
<input type="radio"/> A. 法官主動調查與提問	
<input type="radio"/> B. 法官不參與審判	
<input type="radio"/> C. 被告自行判決	
<input type="radio"/> D. 民眾可參與調查	
10. 美國法官容易受到什麼影響？ *	8 分
<input type="radio"/> A. 法條限制	
<input type="radio"/> B. 民意與政治立場	
<input type="radio"/> C. 外國法院壓力	
<input type="radio"/> D. 警察意見	
19. 普通法系的特點之一是？ *	2 分
<input type="radio"/> A. 法律只靠道德	
<input type="radio"/> B. 只可用在刑法	
<input type="radio"/> C. 所有案件參考歐盟	
<input type="radio"/> D. 判例可以創造法律效果	

圖 04：（階段二）測驗題目範例（作者自行整理）

(四) 研究流程與操作步驟

本研究採兩階段實驗設計，分別針對「多媒體呈現方式」與「學習策略層級」進行系統性探究，結合即時腦波記錄與後測測驗進行跨組比較與統計分析

1. 研究流程概述

(1) 階段一：初步研究

本階段參考 Mayer 多媒體學習理論 與 Baddeley 工作記憶模型，設計三種教材組合（A組：語音＋圖像＋文字、B組：語音＋圖像、C組：語音＋文字），進行影片學習與腦波同步紀錄，探討資訊呈現方式對學習成效與專注度的影響。

媒體學習方式普及，
哪種呈現方式對學習最有效？

自變項：學習方式
依變項：學習成效、專注度

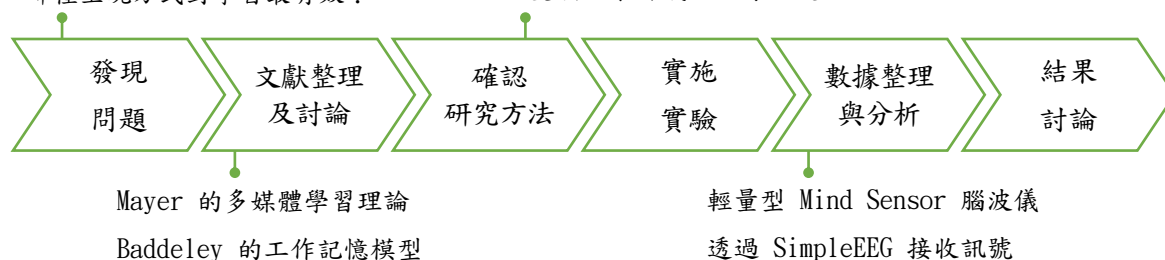


圖 05：（階段一）初步研究流程圖（作者自行繪製）

(2) 階段二：延伸研究

根據階段一成效最佳的 B 組（語音＋圖像）為統一教材，進一步規劃三種學習策略變項：B-1（單次觀看）、B-2（重複觀看）、B-3（觀看後口述），透過擴增腦波頻段指標與成效測驗，分析策略層級對認知加工與學習表現的影響。

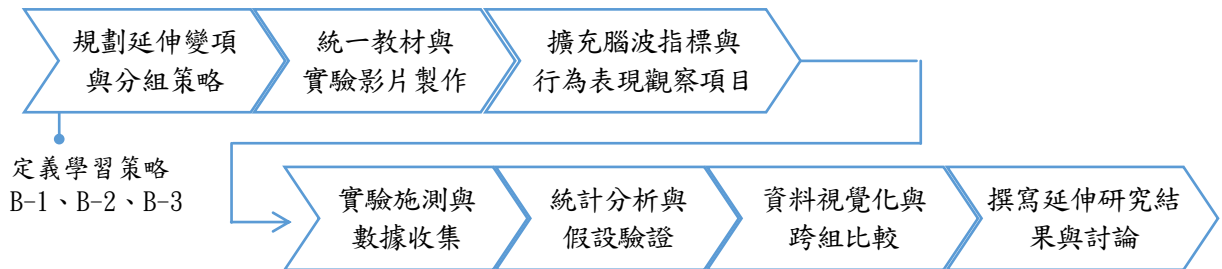
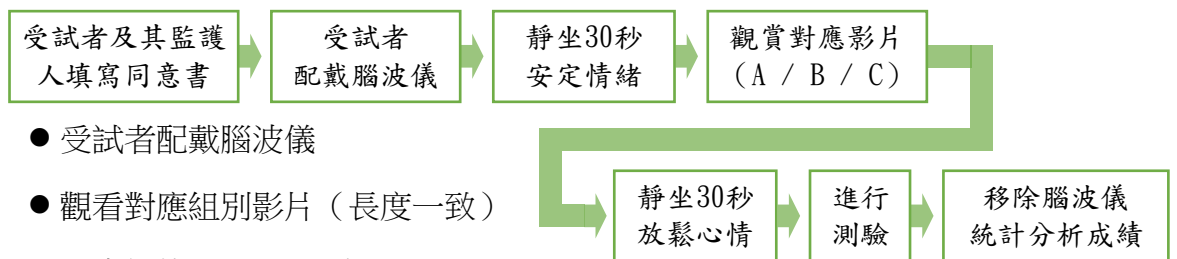


圖 06：（階段二）延伸研究流程圖（作者自行繪製）

2. 受試者參與與操作流程

所有受試者與家長在實驗前皆填寫研究同意書並閱讀《資料保密與退出權利保障說明》，保障研究倫理與自主權。操作流程如下：

(1) 階段一：操作步驟（A/B/C組）



- 受試者配戴腦波儀
- 觀看對應組別影片（長度一致）
- 同步紀錄 Attention 與 Meditation
- 完成 10 題單選題測驗，評估學習成效

圖 07：（階段一）初步操作步驟圖（作者自行繪製）

(2) 階段二：操作步驟（B-1/B-2/B-3組）

統一使用「台美法律制度比較」影片內容，分組操作如下：

- B-1：觀看一次→單選測驗20題
- B-2：觀看一次→再看一次（共2次）→單選測驗 20 題
- B-3：觀看一次→思考 10 秒→搭配無聲影片口述重點 2 分鐘→單選測驗 20 題

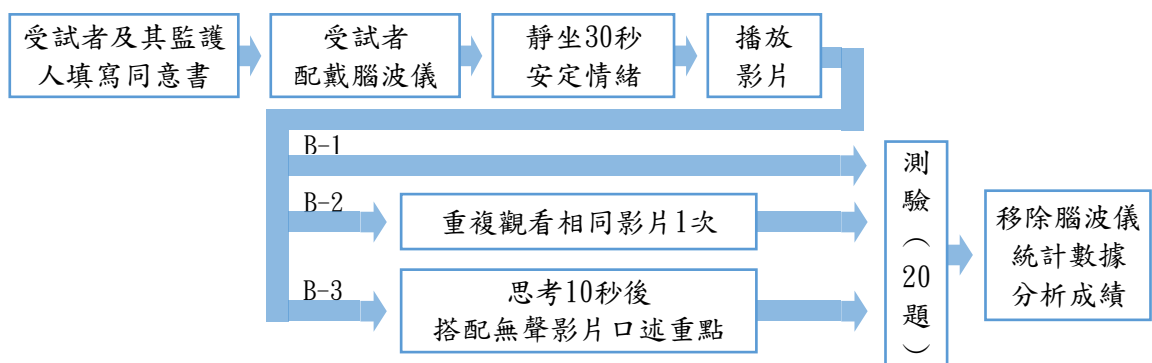


圖 08：（階段二）延伸操作步驟圖（作者自行繪製）

(五) 腦波數據收集與處理

兩階段皆使用 MindSensor 輕量型腦波儀，搭配 SimpleEEG APP記錄Attention、Meditation、HighBeta、LowAlpha、LowBeta、LowGamma、HighGamma等腦波指標。

所有數據匯出為 Excel，計算平均百分比並轉換為 Z分數 進行組間比較。受試者操作條件皆一致（影片長度、語速、配音、測驗題目），確保實驗內在效度。

四、評量工具與資料分析方法

本研究結合行為表現與生理反應兩類資料來源，透過選擇題測驗與即時腦波數據，分析不同教材呈現方式與學習策略對學習歷程之影響。資料後續以統計方法驗證組間差異，建立理論與實證兼具的研究結果。

(一) 研究對象與分組說明

本研究共招募30位本校高一學生，具備基本理解與作答能力，並未參與教材設計，以避免先備知識干擾。

階段一中，受試者依隨機原則分為A（語音＋圖像＋文字）、B（語音＋圖像）、C（語音＋文字）三組，各組人數均為10人。

階段二延伸以B組為教材基礎，規劃三種策略操作：B-1（觀看一次）、B-2（觀看兩次）、B-3（觀看後口述），各組亦為10人。部分樣本來自階段一，其餘為新加入者，並以隨機分配方式進行，以兼顧延續性與樣本多樣性。

(二) 資料處理與統計分析方法

1. 行為表現

- (1) 階段一 10 題單選題測驗，總分 100 分
- (2) 階段二 20 題單選題測驗，涵蓋基礎理解與延伸應用，依題型設定不同配分。

2. 生理反應（腦波儀）蒐集指標

- (1) Attention（專注度）
- (2) Low Beta（邏輯處理）
- (3) High Beta（壓力指標）
- (4) Meditation（放鬆度）
- (5) Low Gamma（語意理解）
- (6) High Gamma（整合深層加工）

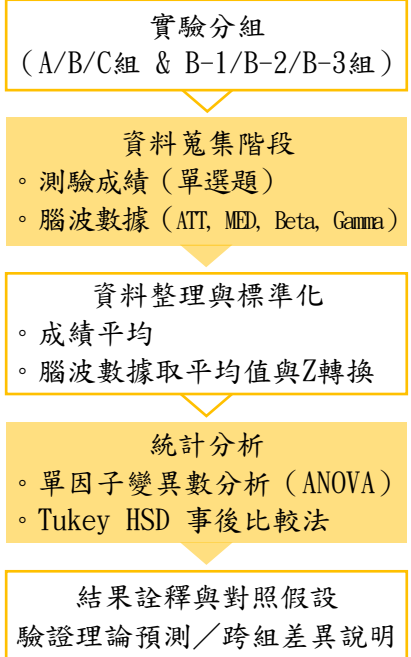


圖 09：資料分析流程圖
(作者自行繪製)

3. 資料處理與分析方法

所有數據以單因子變異數分析 (One-Way ANOVA) 檢驗組間差異，若達顯著水準 ($\alpha = .05$)，則進一步進行 Tukey HSD 事後比較。腦波資料經 Z 分數標準化處理，降低個體差異干擾，提升統計解釋力，後續所有統計分析皆使用 SPSS 軟體進行，顯著水準設為 $\alpha = .05$ 。

(三) 評量工具設計說明

1. 行為面測驗工具

所有題目皆依教材內容設計，並經教師審閱及小規模預試修正後定稿。作答方式為 Google 表單，由系統自動計分

(1) 階段一題型結構：基本理解 5 題每題 10 分、語意辨識 5 題每題 10 分

(2) 階段二題型結構：內容理解與法律邏輯比較 10 題每題 2 分、延伸應用與思辨 10 題，每題 8 分。

2. 生理面腦波資料蒐集

本研究使用 MindSensor 輕量型腦波儀，並搭配 SimpleEEG 軟體即時記錄。階段二擴增觀察指標，納入 Low Beta、Low Gamma 與 High Gamma 等反映不同認知層次的腦波頻段。生理數據搭配測驗成績進行交叉分析，補足傳統測驗與問卷對即時認知歷程掌握之不足。

表 13：資料對應與分析項目總覽（作者自行整理）

資料來源	分析指標	對應認知歷程或學習面向	分析方法*	對應研究假設
測驗成績 腦波數據	平均得分	學習成效整體表現	ANOVA +Tukey HSD	H1
	Attention (專注)	認知投入程度、外部刺激 專注表現	ANOVA +Tukey HSD	H2
	HighGamma (語意整合)	跨模態統整、生成學習加工 (含HighGamma)	ANOVA	H2

※腦波資料於統計分析前，皆先Z分數標準化 (Z-score normalization) 處理，提升分析準確性與可比性

五、研究設備及數據蒐集說明

本研究使用 MindSensor 輕量型腦波儀，為單點額葉無線裝置，透過藍牙連線至分析

系統，擷取頻率為每秒 512Hz，可即時記錄多項腦波頻段指標，包括 Attention（專注度）、Meditation（放鬆度）、以及 Delta、Theta、Alpha、Low/High Beta、Low/High Gamma。

所有受試者在光線穩定、環境安靜的空間中進行學習任務，並配戴耳罩式耳機、與螢幕保持約 40 公分距離。實驗過程中畫面播放與腦波波型同步錄影，影片播放完畢即結束數據蒐集。後續數據經 Z 分數標準化處理後，進行統計與圖形分析，以確保資料具信效度並可用於跨組比較。所使用的 MindSensor 腦波儀搭配專屬應用程式 SimpleEEG APP，記錄資料包括：受試者基本資訊登錄、Attention 與 Meditation 即時波動圖、各頻段波型比例統計圖及綜合平均指標與波型變異性數值報表。

伍、研究結果

一、階段一：三種學習方式各組閱讀型態之測驗分數及腦波數據

本實驗皆於同一教室、相同中午時段進行。受試者入場後立即配戴腦波儀，至觀看影片並完成測驗問卷後方可卸下，以確保在一致條件下收集資料。

本階段分析以三種資訊呈現方式分組：A組（語音＋圖像＋文字）、B組（語音＋圖像）、C組（語音＋文字），以利後續對照分析各組在測驗成績與腦波表現上的差異。

表 14：（階段一）測驗分數及腦波數據統整說明（作者自行整理）

編 號	測驗 分數	專注 平均	壓力 平均	放鬆 平均	疲勞 平均	編 號	測驗 分數	專注 平均	壓力 平均	放鬆 平均	疲勞 平均	編 號	測驗 分數	專注 平均	壓力 平均	放鬆 平均	疲勞 平均
A1	70	55	54	46	13	B1	80	57	31	64	17	C1	70	52	46	64	11
A2	80	45	47	53	8	B2	90	69	47	54	16	C2	80	57	48	54	4
A3	70	41	58	62	9	B3	80	73	56	52	8	C3	80	49	45	52	18
A4	70	51	45	55	7	B4	70	53	46	55	13	C4	70	64	42	55	6
A5	70	56	51	59	9	B5	90	63	49	58	10	C5	70	47	49	58	10
A6	80	53	58	42	10	B6	100	70	43	51	7	C6	80	45	51	51	11
A7	60	58	50	59	9	B7	80	60	45	59	9	C7	90	45	49	59	14
A8	70	64	49	51	10	B8	100	65	41	51	7	C8	90	59	49	61	15
A9	80	58	50	60	9	B9	90	60	37	51	10	C9	60	51	52	61	10
A10	80	51	51	49	13	B10	80	70	48	58	12	C10	90	51	46	58	16
<u>平均</u>	<u>73</u>	<u>53.2</u>	<u>51.3</u>	<u>53.6</u>	<u>9.7</u>	<u>平均</u>	<u>86</u>	<u>64</u>	<u>44.3</u>	<u>60.8</u>	<u>10.9</u>	<u>平均</u>	<u>78</u>	<u>52</u>	<u>47.7</u>	<u>55.3</u>	<u>11.5</u>

二、階段一：探討多媒體學習方式對各指標的影響

(一) 不同多媒體學習方式對「學習成效」的影響

本研究先彙整三組（A、B、C）學生的測驗平均分數，結果顯示 B 組（語音＋圖像）成績最高，A 組（語音＋圖像＋文字）最低，C 組（語音＋文字）

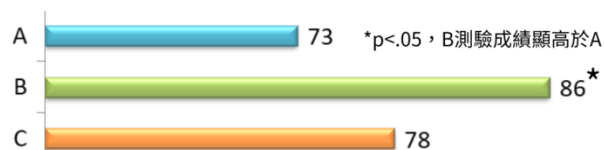


圖10：（階段一）不同學習方式對「測驗分數」的影響（作者自行繪製）

介於兩者之間。以平均數初步觀察，B 組學習成效優於其他兩組。

表 15：（階段一）「測驗成績」群組統計量分析結果（作者自行整理）

群組統計量					
	學習方式	個數	平均值	標準差	標準誤平均值
學習成效	A	10	73.00	6.749	2.134
	B	10	86.00	9.661	3.055
	C	10	78.00	10.328	3.266

表 16：（階段一）「測驗成績」變異數分析結果（作者自行整理）

變異數分析					
測驗分數					
	平方和	df	均方	F	顯著性
組間	860.000	2	430.000	5.253	.012*
組內	2210.000	27	81.852		
總計	3070.000	29			

表 17：（階段一）「測驗成績」TukeyHSD 分析結果（作者自行整理）

	(I) 版本	(J) 版本	平均值差異 (I-J)	標準誤	顯著性	95%信賴區間	
						下界	上界
Tukey HSD	A	B	-13.000	4.046	.009	-23.03	-2.97
		C	-5.000	4.046	.443	-15.03	5.03
	B	A	13.000	4.046	.009	2.97	23.03
		C	8.000	4.046	.137	-2.03	18.03
	C	A	5.000	4.046	.443	-5.03	15.03
		B	-8.000	4.046	.137	-18.03	2.03

1. 變異數分析（ANOVA）

分析結果顯示，三組學習方式在測驗成績上具有顯著差異（ $p = 0.012 < 0.05$ ），表示教材呈現方式會影響學習成效。

2. 事後比較

- (1) B 組（語音＋圖像）成績顯著優於 A 組（語音＋圖像＋文字）（ $p = 0.009 < 0.05$ ）。
- (2) B 組與 C 組、A 組與 C 組之間雖有平均差異，但未達統計顯著水準。

3. 討論

- (1) A 組同時提供語音、圖像與文字，反而造成成績下降，與 Mayer 冗餘原則一致，顯示過多感官輸入可能增加認知負荷，影響學習效果。
- (2) B 組與 C 組雖有平均差距（約 8 分），但未達顯著，整體趨勢仍支持 Mayer 的

多媒體原則，即語音與圖像的組合有助學習。

4. 小結

本結果支持冗餘原則與多媒體原則。適度整合語音與圖像的雙通道學習模式，有助於提升學習成效，避免過多輸入造成干擾。

(二) 探討不同多媒體學習方式對「認知負荷（壓力）」的影響

由壓力指標的平均數觀察，A組的壓力值最高，B組最低。A組（語音＋圖像＋文字）認知壓力高於B組（語音＋圖像）與C組（語音＋文字），與研究假設相符。

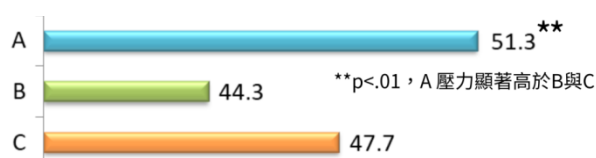


圖11：（階段一）不同學習方式對「壓力值」的影響（作者自行繪製）

表 18：（階段一）「壓力值」群組統計量分析結果（作者自行整理）

群組統計量					
	學習方式	個數	平均值	標準差	標準誤平均值
學習成效	A	10	51.30	4.270	1.350
	B	10	44.30	6.881	2.176
	C	10	47.70	2.983	0.943

表 19：（階段一）「壓力值」變異數分析結果（作者自行整理）

變異數分析					
測驗分數					
	平方和	df	均方	F	顯著性
組間	418.400	2	209.200	7.528	.003
組內	750.300	27	27.789		
總計	1168.700	29			

表 20：（階段一）「壓力值」TukeyHSD 分析結果（作者自行整理）

	(I) 版本	(J) 版本	平均值差異 (I-J)	標準誤	顯著性	95%信賴區間	
						下界	上界
Tukey HSD	A	B	7.000	2.357	.017*	1.89	12.11
		C	8.600	2.357	.003	3.49	13.71
	B	A	-7.000	2.357	.017*	-12.11	-1.89
		C	1.600	2.357	.778	-3.51	6.71
	C	A	-8.600	2.357	.003	-13.71	-3.49
		B	-1.600	2.357	.778	-6.71	3.51

1. 變異數分析（ANOVA）

三組在壓力值上的差異達統計顯著（ $p=0.003 < 0.05$ ），顯示不同學習方式會顯著影響學生的心理壓力感受。

2. 事後比較

(1) A 組壓力值顯著高於 C 組，C 又高於 B，整體比較達顯著水準（ $p=0.003 < 0.05$ ）

(2) B 組與 C 組之間雖有差異，但未達顯著水準（ $p > 0.05$ ）

3. 討論

- (1) A 組結合語音、圖像與文字，顯示過多資訊輸入干擾學習，增加認知負荷。
- (2) B 組「語音+圖像」與 C 組「語音+文字」相比，雖 C 組壓力略高但未達顯著差異。語音已涵蓋文字資訊，若再輔以圖像輔助，可進一步降低認知壓力。

4. 小結

- (1) 本研究結果支持冗餘原則，即資訊過多可能導致較高的學習壓力。
- (2) 同時支持調節方式原則，語音搭配動畫可降低視覺負擔，有助於提升學習效率，並從腦波壓力數據中獲得實證支持。

(三) 探討不同多媒體學習方式對「認知負荷（放鬆度）」的影響

根據放鬆度的平均數比較，B組（語音+圖像）表現最佳，顯示此組合有助於減輕壓力、提升放鬆程度。相較之下，A組與C組的放鬆表現較低，可能因圖像

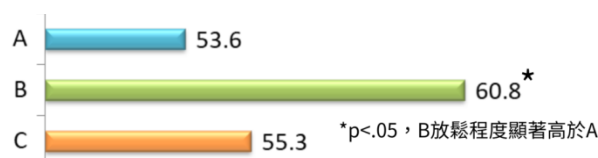


圖12：（階段一）不同學習方式對「放鬆度」的影響（作者自行繪製）

與本文字同時輸入，造成視覺負荷增加，影響學習者的心理狀態。

表 21：（階段一）「放鬆度」群組統計量分析結果（作者自行整理）

群組統計量					
	學習方式	個數	平均值	標準差	標準誤平均值
學習成效	A	10	53.60	6.603	2.088
	B	10	60.80	4.849	1.533
	C	10	55.30	4.373	1.383

表 22：（階段一）「放鬆度」變異數分析結果（作者自行整理）

變異數分析					
測驗分數					
	平方和	df	均方	F	顯著性
組間	283.267	2	141.633	4.927	.015*
組內	776.100	27	28.744		
總計	1059.367	29			

表 23：（階段一）「放鬆度」TukeyHSD 分析結果（作者自行整理）

	(I) 版本	(J) 版本	平均值差異 (I-J)	標準誤	顯著性	95%信賴區間	
						下界	上界
Tukey HSD	A	B	-7.200	2.398	.015*	-7.200	2.398
		C	-1.700	2.398	.760	-1.700	2.398
	B	A	7.200	2.398	.015*	7.200	2.398
		C	5.500	2.398	.074	5.500	2.398
	C	A	1.700	2.398	.760	1.700	2.398
		B	-5.500	2.398	.074	-5.500	2.398

1. 變異數分析（ANOVA）

三組放鬆度差異統計顯著（ $p = 0.015 < 0.05$ ）顯示學習方式顯著影響學生放鬆程度

2. 事後比較

- (1) 學習方式 B 組的放鬆度高於 C 組，再高於 A 組，且達統計顯著（ $p = 0.015 < 0.05$ ）

(2) A 與 C 兩組雖有平均差異，但未達統計顯著 ($p = 0.760 > 0.05$)

3. 討論

(1) 學習方式 B 組（語音＋圖像）顯著提升放鬆度，優於 A 組（語音＋圖像＋文字）與 C 組（語音＋文字），符合 Mayer 的冗餘原則，說明過多感官輸入可能降低放鬆程度並增加認知負荷。

(2) 雖 C 組在放鬆度上略低於 B 組，差異未達統計顯著，但仍可推知，在多媒體原則下，語音搭配圖像比單純文字更能減輕學習壓力。

4. 小結

支持冗餘性原則及調節方式原則：A 組資訊輸入過多，過度設計反干擾學習；語音搭配圖像能有效降低視覺負擔，提升學習歷程中的心理穩定與放鬆表現。

(四) 探討不同多媒體學習方式對「專注度」的影響

根據專注度的平均數比較，B 組（語音＋圖像）表現最佳，顯示此組合有助於提高專注表現。相較之下，A 組與 C 組的專注表現較低，可能因圖像與本文字

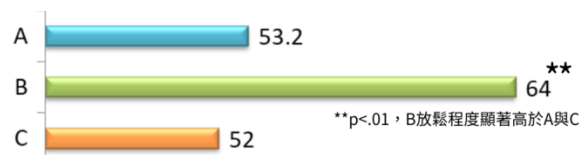


圖 13：（階段一）不同學習方式對「專注度」的影響（作者自行繪製）

同時輸入，造成視覺負荷增加，影響學習者的心理狀態。

表 24：（階段一）「專注度」群組統計量分析結果（作者自行整理）

群組統計量					
	學習方式	個數	平均值	標準差	標準誤平均值
學習成效	A	10	53.20	6.663	2.107
	B	10	64.00	6.515	2.060
	C	10	52.00	6.254	1.978

表 25：（階段一）「專注度」變異數分析結果（作者自行整理）

變異數分析					
測驗分數					
	平方和	df	均方	F	顯著性
組間	873.600	2	436.800	10.404	<.001
組內	1133.600	27	41.985		
總計	2007.200	29			

表 26：（階段一）「專注度」TukeyHSD 分析結果（作者自行整理）

	(I) 版本	(J) 版本	平均值差異 (I-J)	標準誤	顯著性	95%信賴區間	
						下界	上界
Tukey HSD	A	B	-10.800	2.898	.003	-17.98	-3.62
		C	1.200	2.898	.910	-5.98	8.38
	B	A	10.800	2.898	.003	3.62	17.98
		C	12.000	2.898	<.001	4.82	19.18
	C	A	-1.200	2.898	.910	-8.38	5.98
		B	-12.000	2.898	<.001	-19.18	-4.82

1. 變異數分析（ANOVA）

三組在專注度上的差異達高度顯著（ $p=0.001<0.01$ ），顯示多媒體呈現方式對學生專注程度有明顯影響。

2. 事後比較

(1) 學習方式 B 組的專注度顯著高於 A 組與 C 組（ $p=0.001<0.05$ ）

(2) A 組與 C 組之間差異不顯著（ $p=0.910>0.05$ ）

3. 討論

(1) A 組同時提供語音、圖像與文字，雖資訊豐富，但過多感官輸入可能造成認知干擾，專注度下降，符合 Mayer 的冗餘原則。

(2) B 組的設計符合信號原則，語音與圖像搭配能有效引導注意力並提升理解效率。

(3) C 組缺乏圖像輔助，專注度不如 B 組，顯示圖像對於吸引注意力具重要作用。

4. 小結

(1) 支持冗餘原則：避免過度資訊重疊有助提升專注

(2) 支持信號原則：圖像與語音能協助聚焦注意，提升學習效率

(3) 支持雙通道理論：B 組透過語音與圖像雙通道，提升專注度與資訊處理效率

三、階段二：三種學習策略之腦波數據及測驗分數

表 27：（階段二）測驗分數及腦波數據統整說明（作者自行整理）

B-1 編號	測驗 分數	專注 平均	Beta	Low	Gamma	High	B-2 編號	測驗 分數	專注 平均	Beta	Low	Gamma	High	B-3 編號	測驗 分數	專注 平均	Beta	Low	Gamma	High
01	92	60	4	3			01	88	69	7	3			01	86	48	2			
02	78	62	5	10			02	72	60	2	2			02	100	51	6			
03	76	56	1	1			03	84	69	4	5			03	80	69	5			
04	82	43	5	2			04	90	52	7	7			04	100	75	2			
05	80	62	3	3			05	84	66	9	10			05	84	47	4			
06	90	53	9	7			06	90	59	2	1			06	90	56	7			
07	78	43	5	2			07	76	58	7	7			07	92	75	3			
08	76	62	3	3			08	84	72	9	10			08	90	47	5			
09	82	56	1	1			09	92	49	4	5			09	100	69	9			
10	80	62	3	3			10	82	51	9	10			10	100	47	4			
平均	81.4	55.9	3.9	3.5			平均	84.2	60.5	6	6			平均	92.2	58.4	4.7			

四、階段二：學習策略對腦波影響之比較

本階段分析三種策略（B-1：觀看一次、B-2：觀看兩次、B-3：觀看後口述）在四項指標上的表現：專注度（Attention）、邏輯處理（LowBeta）、深層加工（HighGamma）、測驗分數，進行Z分數統計與ANOVA檢定，並探討其意義。

（一）Z分數描述統計（平均 ± 標準差）

1. **B-3 組**在四項指標中平均值皆最高，顯示其能提升學習表現與腦波活化，惟部分標準差偏高，顯示個體反應差異大。
2. **B-1 組**平均值普遍最低，變異小但效果較弱。
3. **B-2 組**多數指標處於中間，穩定性佳但提升幅度有限。

（二）推論統計：單因子變異數分析（One-WayANOVA）

僅「測驗成績」達統計顯著差異（ $F = 7.42$ ， $p = .0027$ ），其餘腦波指標皆未達顯著水準，顯示策略操作影響學習成效，但對腦波反應差異不具顯著性。

表 28：（階段二）Z 分數之 ANOVA 統計分析結果摘要表（作者自行整理）

指標名稱	F值	p值（PR(>F)）	是否顯著（ $p < 0.05$ ）
Z_Attention	0.5840	0.5645	不顯著
Z_Low_Beta	1.8607	0.1750	不顯著
Z_High_Gamma	1.4042	0.2629	不顯著
Z_測驗分數	7.4166	0.0027	顯著

（三）推論統計：TukeyHSD事後比較（PostHocTest）

1. B-1 組（觀看一次）與 B-3 組（觀看後口述）之間的測驗分數平均差異為 10.8 分，達統計顯著水準（ $p = .0026$ ），表示觀後口述策略能顯著優於單次觀看。
2. B-2 組（觀看兩次）與 B-3 組（觀看後口述）之間亦存在顯著差異（平均差 8.0 分， $p = .0275$ ），顯示即使重複觀看，學習成效仍不及後口述策略。
3. 然而，B-1 組與 B-2 組之間的分數差異僅為 2.8 分，未達統計顯著水準（ $p = .6066$ ），表示單次與重複觀看在學習成效上無明顯差異。

（四）分析小結

1. 學習成效提升：B-3 組最顯著，顯示「觀看後口述」能促進深層加工與記憶統整。

2. 腦波反應穩定但未顯著：雖 B-3 平均值最高，但變異大，且未達統計差異，推測神經效益具潛力但需更大樣本佐證。
3. 策略意涵： B-3 有助於知識內化，學習成效顯著優於 B-2 與 B-1。

陸、討論

一、綜合結果

綜合本研究數據分析與理論預測，不同多媒體學習方式確實會影響學生學習成效與神經反應。單因子變異數分析結果顯示「語音＋圖像」（B 組）在測驗成績、放鬆度與專注度三項指標上皆顯著優於其他組別，符合 Mayer「雙通道處理」與「冗餘原則」預測。

研究所示B組表現最佳，A組則壓力值偏高，反映其教材設計可能產生較大的認知負荷。上述數據也經由ANOVA檢定，各組平均數間存在統計顯著差異。計摘要表如下。

表 29：（階段一）不同分數群組（A、B、C）腦波資訊比較摘要表（** $p<.01$, * $p<.05$ ）（作者自行整理）

新課程類型	分數群組	平均數	標準差	F值	顯著性	事後比較
測驗分數	A	73.00	6.749	5.253	.012*	B > A
	B	86.00	9.661			
	C	78.00	10.328			
壓力值	A	51.30	4.270	7.528	.003**	A > B
	B	44.30	6.881			A > C
	C	47.70	2.983			
放鬆程度	A	53.60	6.603	4.927	.015*	B > A
	B	60.80	4.849			
	C	55.30	4.373			
專注度	A	53.20	6.663	10.404	<.001**	B > A
	B	64.00	6.515			B > C
	C	52.00	6.254			

- (一) 測驗分數：B組顯著優於A組，顯示資訊不需全面呈現，應避免過度冗餘。
- (二) 壓力值：A組壓力最高，B組最低，顯示資訊過載將增加認知負荷。
- (三) 放鬆程度：B組放鬆度最高，顯示雙通道呈現有助於維持穩定的學習心態。
- (四) 專注度：B組專注度最高，顯示簡潔的語音與圖像組合能有效引導學習焦點

二、相關分析

- (一) 專注度與測驗分數成顯著正相關（ $r=0.519, p=.003$ ）

本研究發現，學生的專注度與學習成效呈中度正相關，專注度越高，測驗表現越佳。

此結果支持專注為影響學習成效的重要因素，顯示提升學習者專注力（如使用語音搭配圖像）可強化學習成效，並提供教材設計參考依據：

(二) 放鬆度與壓力值呈顯著負相關 ($r=-0.526, p=.003$)

放鬆程度與壓力指標呈中度負相關，亦即壓力越高，放鬆度越低。此結果符合認知負荷理論觀點，說明適當降低外在負荷能減輕壓力並提升學習狀態。語音搭配圖像的簡化設計，有助於營造較放鬆的學習環境，進而提升學習效能。

(三) 放鬆度與專注度間無顯著相關 ($r=0.315, p=.090$)

雖然放鬆度與專注度呈正向趨勢，但未達統計顯著水準，顯示兩者關係較複雜。結果顯示，最佳學習狀態應介於過度放鬆與過度緊張之間，維持「警覺放鬆」的平衡狀態較為理想。

三、腦波結果的深層詮釋

本研究針對延伸實驗中不同策略組別的學習成效與腦波反應進行分析，結果如下

表 30：（階段二）與研究假設（H1,H2）對應之統計結果摘要（作者自行整理）

假設代碼	假設內容	統計結果	是否支持假設
H1	B-2與B-3測驗分數優於B-1	ANOVA顯著 ($p=.0027$)，但B-2與B-1未達顯著	部分支持 (僅B-3明顯優於B-1)
H2	B-3Gamma與LowBeta活躍	無顯著差異，B-3平均值略高	趨勢支持

(一) B-3 組（觀看後口述）策略展現潛力

B-3 組在測驗分數、專注度、放鬆度與深層加工波型上皆表現較佳，平均Z分數亦高於其他組。雖未達統計顯著，但整體趨勢清晰，支持生成學習理論對於「輸出式學習」促進理解與記憶的假設。建議後續研究可擴大樣本並納入主觀負荷、眼動與反應時間資料佐證。

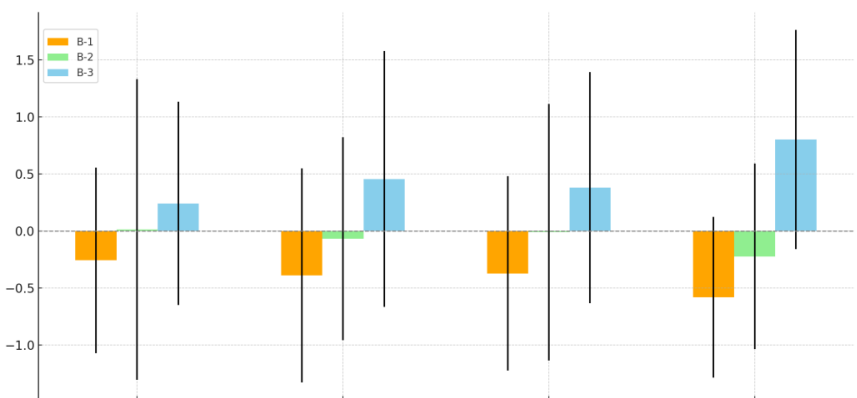


圖 14：（階段二）各組腦波及測驗成績的 Z 分數平均值 \pm 標準差 (SD) 比較圖（作者自行繪製）

圖14顯示B-1、B-2、B-3三組不同學習策略在 Attention、Low Beta、High Gamma 及測驗成績等四項指標的 Z 分數平均值與標準差。

B-3 組在四項指標中皆表現最佳。雖未達統計顯著，但在各指標上，B-3 組皆展現最高平均 Z 分數，呈現一致的優勢趨勢。此「觀看後口述」的學習策略引發了較高的語意整合與認知活躍度（High Gamma上升），符合生成學習理論對於「輸出式學習」將提升記憶與理解的預測。

未來建議可針對 B-3 組擴增樣本數、延長干預時間，並納入主觀負荷、反應時間、眼動等其他變項進行交叉佐證。

(二) B-2 組（觀看兩次）未顯優勢

B-2 組在學習成效與腦波指標上均未顯著優於 B-1 組。雖屬重複學習策略，但因缺乏時間間隔與生成任務，可能導致學習動機下降與認知疲乏現象。Alpha 波上升與 Theta 波下降趨勢顯示其進入放空狀態，無有效促發加工歷程。後續設計上可加入輸出活動與任務轉換以提升參與。

雖然「重複學習」在過往研究中被認為有助於記憶強化與認知負荷降低，但在本研究中，B-2 組（觀看兩次）未能在學習成效或腦波指標上展現顯著優勢，甚至在若干神經指標上略遜於 B-3 組（觀看後口述）。

根據單因子變異數分析（ANOVA）結果，三組在測驗成績上呈現顯著差異（ $p = 0.0027$ ）；進一步的 Tukey HSD 事後比較（表31）顯示，B-3 組顯著優於 B-1 與 B-2 組，而 B-2 與 B-1 之間差異未達顯著水準（ $p = 0.6066$ ）。此結果部分支持 H1-1 假設中「進階學習策略優於單次學習」的預期，但同時也指出重複觀看未必優於單次觀看。

從腦波資料進一步分析可見 B-2 組於第二次觀看階段（P2）Alpha 波由第一次的 11,903 上升至 12,460（+4.7%），顯示可能進入「熟悉性放空」狀態；Theta 波則呈下降趨勢（由 46,738 降至 42,344，再降至測驗時的 38,195），未呈現加工活化現象；Low Beta 在第二次觀看僅小幅上升，測驗階段快速下降至 7,959 顯示專注力無持續提升。

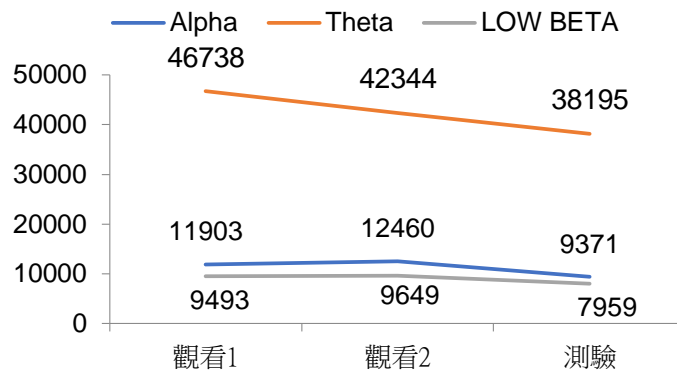


圖 15：（階段二）B-2 組 Alpha、Theta、Low Beta 腦波指標於三階段的平均變化圖（作者自行繪製）

故探討 B-2 組表現未如預期之原因，判斷可能與以下三項機制有關：

1. 缺乏「間隔效應」

(1) 重複輸入無法轉化為鞏固記憶

B-2 組採取「連續觀看兩次」的學習模式，然而重複輸入若缺乏適當時間間隔與干擾重建歷程，將無法有效引發記憶提取與再組織效應。

(2) 對應理論參考

Cepeda et al. (2006) 指出：「間隔越長，記憶鞏固效果越強，但過短的重複無法形成干擾清除與再聚焦的效果。」

2. 缺乏主動加工與生成活動，無法觸發深層理解

與 B-3「觀看後口述」相比，B-2並未安排任何輸出式任務（如解釋、重述、應用），因此學習歷程中缺乏語意整合、概念轉化與主動回憶等高階加工（深層加工）的機會。

3. 「認知疲乏效應」，導致專注與動機下降

從觀察紀錄中可見，部分學生在第二次觀看時出現注意力分散與表情呆滯，顯示可能因影片內容重複、新奇感下降，導致「學習動機衰退」與「認知疲乏」出現。

(三) 未達顯著結果之解釋

未能在 Attention、Low Beta 與 High Gamma 三項指標中驗證顯著差異，可能受樣本數過少、個體差異大與影片過短等影響。雖然如此，B-3 組在多項指標上皆呈現最佳趨勢，仍具參考價值。建議提升樣本數、延長學習時間，並整合眼動、反應時間與主觀量表進行後續驗證。

柒、結論與未來展望

一、研究結論與建議

本研究以兩階段實驗探討多媒體學習方式與策略層級對學生學習與腦波的影響，主要發現如下：

- (一)「語音＋圖像」的雙通道設計最符合多媒體與冗餘原則，可有效提升成效與神經指標表現，建議作為教材設計主流格式。
- (二) B-3（觀看後口述）具生成學習與語意整合潛力，在專注度與深層加工上表現最佳。
- (三) B-2 策略（重複觀看）未顯優勢，需搭配間隔與任務轉換才能產生良好效果。

二、實務建議與應用方向

本研究結果不僅驗證多媒體學習理論與工作記憶模型，亦結合生成學習與神經教育觀點，提供以下教學與教材應用建議：

- (一) 優化為語音＋圖像的雙通道設計，簡化字幕與避免視覺干擾，降低認知負荷。避免語音、圖像與文字三重資訊同時出現，避免形成冗餘干擾。
- (二) 採用輸出式策略（如口頭講述、同儕教學）作為學習後延伸任務，強化生成學習與長期記憶。重複輸入應搭配時間間隔與任務轉換，避免形成認知疲乏。
- (三) 結合腦波數據與測驗成績，建立學生個別學習歷程模型，發展適性教學與數據回饋系統。

表 31：各學習方式是用情境及教學建議（作者自行整理）

學習方式	適用情境	教學建議	理論依據與認知關聯
B組： 語音＋圖像	一般課堂導入、 補救教學、數位教材	採雙通道設計，避免字幕干擾	Mayer 多媒體學習理論 （雙通道原則、冗餘原則）
B-3組： 觀看後口述	小組討論、 語文/社會科深耕、 學習診斷活動	學習後搭配口語講述、 摘要、教同學等輸出任務， 促進整合記憶	Craik處理層次理論、 Mayer生成學習理論、 HighGamma（語意整合）
B-2組： 觀看兩次	複習強化、 資訊回顧	可搭配時間間隔設計， 避免重播產生認知疲乏	重複學習理論、 中等語意加工
B-1/A/C 組	不建議單獨使用	建議調整資訊量或結合 生成任務再使用	A組過度冗餘、 C組缺乏圖像支援、 B-1缺乏生成任務

教材設計應簡化資訊輸入，避免三種感官通道同時啟動；教學策略可採輸出式活動促進深層理解；學習歷程可結合腦波回饋進行個別化診斷。未來研究可擴大樣本、延長學習時間並整合其他生理或行為數據進行多面向驗證。可進一步發展結合語音圖像與口述任務的數位平台，並透過腦波監測進行即時策略建議。

本研究回應聯合國SDG4「優質教育」目標，展現神經科技與教育科技融合的可能性，為數位教材設計與教學應用提供新的實證依據與方向。雖然本研究在樣本數與實驗時間方面仍有限制，部分樣本於不同階段重複使用，亦可能影響統計解釋力；但整體而言，已初步建立神經回饋技術結合數位學習策略的應用架構，為後續跨領域研究與實務平台開發奠定基礎。

本研究亦呼應聯合國永續發展目標第4項（SDG4：優質教育），以實證方式探索如何透過生成任務與有效的多媒體設計提升學生理解、參與與記憶成效。未來若能擴大樣本與應用場域，並發展具即時診斷與學習推薦功能之教學模式，將有助於實現教育公平與終身學習之願景，讓科技真正成為支持每一位學習者的力量。

捌、參考資料

- Fiorella, L., & Mayer, R. E. (2015). *Learning as a generative activity: Eight learning strategies that promote understanding*. Cambridge University Press.
- Lin, K.-Y. (林光宇), & Chiu, S.-T. (裘性天). (2005). *物理解題動畫作為高中生課後輔助教材之成效探討：第二章文獻探討* [The effectiveness of physics animation as a after-school supplementary material for high school students: Chapter 2 literature review]. Retrieved from <https://ir.lib.nycu.edu.tw/handle/11536/80227>
- Lin, M.-J. (林孟蓉), & Chen, P.-Y. (陳佩英). (2015). *生成性學習策略對學習表現與遷移之影響* [The effects of generative learning strategies on learning performance and transfer]. 教育心理學報, 47(2), 177-206。 <https://doi.org/10.6251/BEP.20150425.10>
- Stark, E. M., & Benz, B. A. (2022, July 14). Why teaching others enhances learning: Evidence from a classroom study. *The Learning Scientists*. <https://www.learningscientists.org/blog/2022/7/14-1>
- The Learning Scientists. (n.d.). *Six strategies for effective learning*. Retrieved May 27, 2025, from <https://www.learningscientists.org/downloadable-materials>
- Wu, C.-Y. (吳政諺). (2012). *講述教學法與觀察教學法對國中生閱讀理解之影響* [The effects of teaching and observing method on reading comprehension among junior high students] (Master's thesis). National Kaohsiung Normal University.

【評語】 052705

這個研究探討高中生對於不同多媒體學習呈現方式與策略對學生學習成效及認知歷程的影響，研究使用主觀評量，學習成效測驗，並結合腦波儀進行實證分析。研究的架構完整，並且提出兩階段的科學假設。

第一階段的研究目的是探討不同多媒體資訊組合（影片類型）對高中生學習成效、專注度與認知負荷的影響。這些假設主要基於 Mayer 的多媒體學習理論與 Baddeley 的工作記憶模型。實驗設計三種學習情境。實驗操弄三種學習情境，包括 A 組（語音＋圖像＋文字），B 組（語音＋圖像），以及 C 組（語音＋文字），在學習成效的假設：認為 A 組的訊號會過多，影響學習，B 組符合多媒體原則，會比單一語言訊號來得好，第二階段的研究聚焦於第一階段成效最佳的「語音＋圖像」組（B 組）為基礎，延伸探討不同學習策略層級對學習歷程的影響。這些假設主要基於生成學習理論、深層加工理論與學習後講述效應等。

研究方法包括前後的測驗，主觀的放鬆，專注，壓力等評量，以及腦波的檢測。整體的研究架構完整，資料豐富，以下提供一些再多思考或修改的建議：

1. 本研究以 Mayer 的多媒體學習理論為基礎，但在文獻探討中所聚焦的原則，和在表一中所說明的原則並非完全相同，某些列出的原則也未在本研究中加以檢驗。
2. 本研究第一階段的三種學習情況，和 Baddeley 的工作記憶模型，並沒有很好的對應/匹配。"" 語音+圖像+文字"" 的情況，是對應到該工作記憶模型的哪三種通道？
3. 如何界定認知負荷？又將如何客觀評定認知負荷的強度？
4. 利用腦波測量的"" 放鬆度"" 並不等於 meditation；這個指標和"" attention"" 指標到底測量的是甚麼頻段的腦波？對於所使用腦波設備的指標跟代表的意義，可以再多斟酌
5. 本研究的"" 文獻探討"" 和"" 研究問題"" 內容多有重複，可以多斟酌、避免流於理論和詞語的堆砌
6. 如何確認隨機分配到各種學習情況的受試者本來的閱讀理解能力為相同？
7. 若能強調研究族群（高中生）在這類研究中之少見性，或對比國內外同類研究樣態，將更有助於凸顯新穎性。
8. 未來研究或許可考慮使用重複測量設計（同一受試者依序體驗不同教學呈現方式），或進行跨序列實驗以減少個體差異帶來的偏誤。同時保持隨機分組並配對均衡，如依成績或認知能力分層，以提高組間可比性。
9. 除了取「注意力」平均值外，可直接分析原始腦波頻段（ α 、 β 、 γ 、 θ 波等）以取得更細緻的神經訊號特徵。
10. 未來研究可結合其他生理訊號（如眼動、心率等）進行多模態偵測，以獲得更完整的認知與情緒指標。

作品海報



探討語音與圖片學習呈現策略 對學生學習成效與認知歷程之影響

— 以腦波儀量測為依據



壹、動機與目的

疫情後，數位教材迅速發展，許多影片同時納入語音、圖片與文字等多重資訊元素。然而，我們開始思考：這樣的設計是否真正提升了學習效果？抑或反導致「資訊過載」問題？

本研究透過探討以下兩重點，驗證認知心理學理論適用性，以期實際應用，優化數位教材與學習平台設計：

- 比較三種不同的學習方式（A/B/C）對學習成效與腦波反應的影響；
- 以表現最佳的 B 組為基礎，進一步設計三種策略，分析其對學習效果的影響差異。

貳、理論依據

本研究依以下主要理論進行設計與分析，並引入腦波量測為生理依據，觀察理論預測歷程是否實際發生：

- Mayer 多媒體學習理論（CTML）之「冗餘原則」：若語音所述內容與螢幕文字重複，反致干擾學習、降低效率。
- Baddeley 工作記憶模型：強調視覺與聽覺通道間的資源競爭，一旦超出負荷，將導致理解力下降。
- Fiorella 與 Mayer 生成學習理論：認為學習者透過主動輸出（如口述）能強化意義建構，促進記憶深化。

參、研究設計

本研究分兩階段進行，並搭配下列工具與對象進行資料蒐集與分析：

● 工具：軟體類－Google 表單、SimpleEGG
硬體類－Mind Sensor 腦波儀、SAMSUNG 平板

● 對象：國中會考成績 B 級（基礎）以上高一學生

● 腦波觀察指標意義對照表：

● 測驗：階段一回收 36 份，有效數據 30 份
階段二回收 30 份，有效數據 30 份

● 統計：SPSS（單因子變異數分析、相關係數計算）

腦波指標	代表意義	數值變化意義
Attention	專注程度的即時變化	評估注意力（專注度）集中程度
Meditation	反映放鬆、穩定、平靜的程度	觀察壓力釋放、放鬆狀態
Low Alpha	放鬆反應及記憶（而無理解）	（高）放鬆但可專注（低）未能有效放鬆
High Alpha	呈現清醒與放鬆的狀態	（高）輕度放鬆但未完全投入（低）緊張或壓力大
Low Beta	意識及專注力的提升	（高）認真專注，進入學習模式（低）未完全專注
High Beta	高度緊張、快速處理與焦慮狀態	（高）高專注、認知壓力增加或過度刺激（反效果）
Low Gamma	語言與多通道感知整合、訊息處理及編碼	（高）資訊內容與記憶整合（低）未有效處理資訊
High Gamma	快速問題解決、高階認知活化思考	（高）資訊高度理解（低）未能有效處理或負擔過大

一、研究設計@階段一

● 採分組實驗設計將受試者分為 A、B、C 三組，分別觀看不同呈現方式的教學影片，探討學習成效與腦波反應

● 各組教學影片學習內容呈現方式如下：

● 實驗呈現

Mind Sensor 腦波儀、平板

A 組：語音＋圖像＋文字

B 組：語音＋圖像

C 組：語音＋文字





二、研究設計@階段二

以階段一成效最佳的 B 組為基礎，延伸設計以下三種學習策略，除學習成效外，亦透過「Attention、Low Beta 及 High Gamma」等三項腦波指標觀察學習與測驗流程，比較各階段成果差異：

● B-1 組：單次觀看影片，代表被動接收式學習；

● B-2 組：重複觀看影片兩次，代表一般常見的重播策略；

● B-3 組：觀看影片一次後，測驗前先進行 2 分鐘口述，屬主動生成學習策略。



肆、研究結果與說明

為深入探討數位教材呈現方式與學習策略操作對高中生學習歷程的實質影響，本研究分兩階段進行實證分析。階段一聚焦於 A、B、C 三種多媒體組合對學習成效與腦波反應的影響；階段二則延伸成效最佳的「語音＋圖像」組（B 組），進一步比較 B-1、B-2、B-3 三種策略在學習歷程中所引發的認知與神經變化。

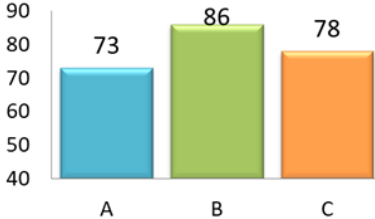
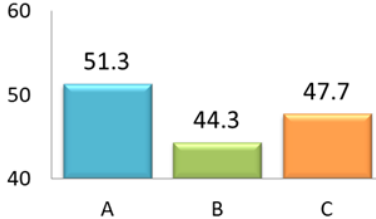
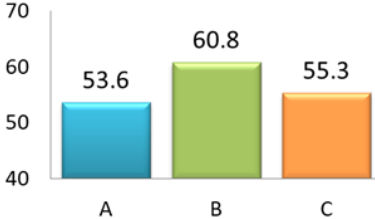
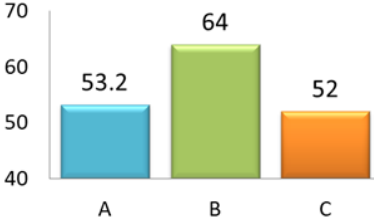
● 階段一結果顯示「語音＋圖像」組不僅在測驗表現上優於其他組別，亦在專注度與放鬆度等腦波指標中展現穩定優勢，支持多媒體學習理論中的「雙通道處理」與「冗餘原則」預測。

● 階段二則進一步發現，「生成性口述」策略（B-3 組）在學習成效與多數腦波指標（特別是高階的高階認知與注意活化）皆呈現最高趨勢，顯示「生成學習」與「深層加工策略」對認知歷程具有正面促進效果。

一、研究結果@階段一

比較及分析（階段一）三組學習方式的測驗成績、壓力值、放鬆度與專注度。使用 IBM SPSS Statistics Subscription V.30.0 進行單因子變異數分析（ANOVA），並藉由 Tukey HSD 事後考驗分析三組間是否存在統計顯著差異。

● 不同學習方式對【學習成效（測驗分數）】、【壓力值=High Beta/(Theta + Alpha)】、【放鬆度】及【專注度】的影響

	學習成效：測驗分數			認知負荷：壓力值			認知負荷：放鬆度			專注度		
量化數值												
ANOVA	F= 5.253，p = .012*			F=7.528，p = .003*			F=4.927，p = .015*			F=10.404，p < .001**		
Tukey HSD	B - A	C - A	C - B	B - A	C - A	C - B	B - A	C - A	C - B	B - A	C - A	C - B
平均數差異	13	5	-8	-7	-8.6	-1.6	7.2	1.7	-5.5	10.8	-1.2	-12
標準誤	4.046	4.046	4.046	2.357	2.357	2.357	2.398	2.398	2.398	2.898	2.898	2.898
顯著性 p 值	0.009	0.443	0.137	0.017	0.003	0.778	0.015	0.76	0.074	0.003	0.91	0.001
是否顯著	○	×	×	○	○	×	○	×	×	○	×	○

● 以腦波輔助分析驗證不同學習方式對學習歷程之影響

本階段（階段一）亦參考腦波紀錄數據，從專注、放鬆與壓力三個面向進行補充觀察，可作為有效的交叉佐證。腦波紀錄由 Mind Sensor 裝置於觀看影片過程中即時擷取，所使用之指標包括 Attention、Alpha、Beta 等腦波頻段，並以平均數進行比較與判讀。

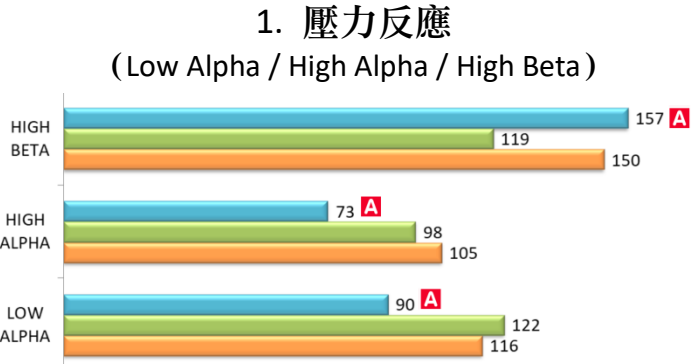


圖 5：壓力反應分析（A 壓力最大）

A 組 High Alpha 與 Low Alpha 均偏低、High Beta 偏高，大腦處於緊張、高負荷狀態。對應「**語音+圖像+文字**」**壓力最高**統計結果。

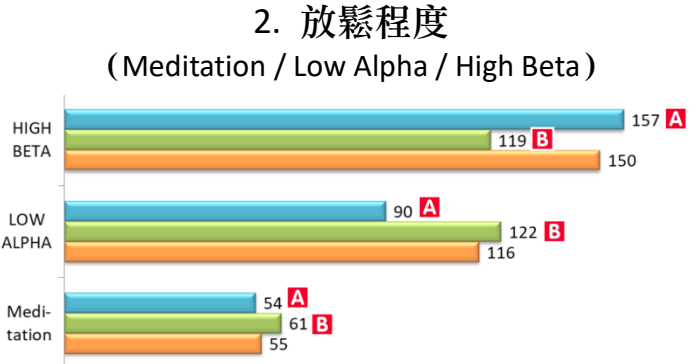


圖 6：放鬆程度分析（B 最放鬆、A 最緊繃）

B 組 Meditation 與 Low Alpha 平均值最高，High Beta 最低，呈穩定且低壓學習狀態，符合「**語音+圖像**」**心理最舒適**的結果。

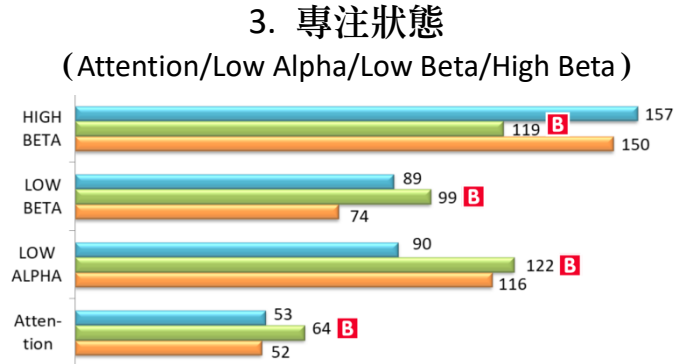


圖 7：專注狀態分析（B 最專注）

B 組 Attention、Low Alpha、Low Beta 均最高，High Beta 最低，「**語音+圖像**」的**專注度最高**且壓力低，生理數據與專注度結果一致。

二、數據及理論之分析說明@階段一

本階段（階段一）透過腦波儀與測驗成績的分析，驗證 Mayer 多媒體學習理論中的多項原則。無論是避免資訊重複的「冗餘原則」、圖像搭配語音的「多媒體與雙通道理論」、或強調關鍵訊息的「信號原則」，都在實驗中顯示出明確效果。

(一) 支持冗餘原則/重複原則（Redundancy Principle）：

A 組同時提供語音、圖像與文字，但其「測驗分數、壓力值、放鬆度、專注度」等四個指標皆比 B 組（語音+圖像）還低，且有顯著性差異。與 Mayer 冗餘（重複）原則「過多資訊會干擾學習」觀點一致，過多感官輸入資訊無助於學習，甚或形成負向干擾。

(二) 支持多媒體原則（Multimedia Principle）：

B 組（語音+圖像）的測驗成績與專注度平均值皆高於 C 組（語音+文字），其中專注度差異達顯著水準。這與多媒體原則相符，顯示同時運用語音與圖像的雙通道設計優於單一通道，有助學習者有效整合訊息、提升理解與表現。

(三) 支持調節方式原則（Modality Principle）：

B 組透過語音取代文字與圖像搭配，不僅壓力值最低、放鬆度最高，且與 A、C 組差異明顯。這符合調節方式原則所主張的「語音搭配圖像比文字說明更能降低視覺負荷」，有助減少認知壓力，提升心理舒適度與學習品質。

(四) 支持信號原則與雙通道理論（Signaling Principle & Dual-Channel Theory）：

B 組在專注度方面顯著優於 A 與 C 組，顯示其語音+圖像的設計能有效引導學習者聚焦關鍵內容，提升注意力。此結果不僅支持信號原則，也呼應雙通道理論中「語音與圖像分擔處理負荷」的觀點，是促進深度學習的有效策略。

三、研究結果@階段二

階段一「影片內容、時間與腦波頻段較一致，變異相對穩定」，故採原始平均值分析；階段二則因「操作策略差異顯著」，故為提升跨組可比性與檢定力，先採 Z 分數標準化分析以控制個體基準差異並提升統計解釋力，後進行 ANOVA 變異數分析。

組別	操作流程	屬性	認知負荷	處理層次	對應理論	預期腦波反應特色
B-1	影片 x1 → 測驗	單次輸入	低～中	淺層加工	基本輸入處理	(1) 專注度（Attention）集中度普通 (2) 高階認知（High Gamma）活動有限
B-2	影片 x2 → 測驗	重複輸入	中～中高	中層加工	重複輸入、熟悉化記憶	(1) 專注度（Attention）提升 (2) 高階認知（High Gamma）波型微升
B-3	影片 x1 → 生成性口述 → 測驗	生成輸出	高	深層加工 + 生成	生成學習理論、教學相長、回憶練習	(1) 高階認知（High Gamma）活躍 (2) 專注持續度（Low Beta）穩定

● 三組學習策略（B-1、B-2、B-3）各組 Z 分數比較（平均值±標準差）

下列圖表呈現三組策略在「學習成效與三項腦波指標」之 Z 分數平均值（M）±標準差（SD），克服腦波個體差異與樣本基準值不一致的問題，觀察各策略對深層加工與注意歷程的影響：

	1. 測驗成績	2. 專注度（Attention）	3. 專注持續度（Low Beta）	4. 高階認知（High Gamma）
	圖 8：三策略「測驗成績」分析	圖 9：三策略「專注度」分析	圖 10：三策略「專注持續度」分析	圖 11：三策略「高階認知」分析
B-1	● <u>平均值</u> 最低 ● 變異較小（SD = 0.704） ● 學生整體學習效果普遍不佳	● <u>平均值</u> 最低 ● 變異較小（SD = 0.813） ● 專注度略低於平均,但波動小	● <u>平均值</u> 最低 ● 變異中等（SD = 0.937） ● 專注持續的腦波活化程度低	● <u>平均值</u> 最低 ● 變異最小（SD = 0.853） ● 高階認知較弱，反應趨一致
B-2	● <u>平均值</u> 略低於整體平均 ● 變異適中（SD = 0.813） ● 學生整體學習成效尚可,且變異小，成果相對一致	● <u>平均值</u> 接近整體平均 ● 變異最大（SD = 1.319） ● 學生專注度差異較大,可能因個人差異產生不同成效	● <u>平均值</u> 接近整體平均 ● 變異最小（SD = 0.890） ● 大多數學生的專注持續程度影響相對一致	● <u>平均值</u> 接近整體平均 ● 變異最大（SD = 1.125） ● 對高階認知影響差異大，效果不一
B-3	● <u>平均值</u> 最高（M = 0.802） ● 變異較高（SD = 0.961） ● 能顯著提升學習成效,但學生間表現差異也相對較大	● <u>平均值</u> 最高（M = 0.242） ● 變異適中（SD = 0.892） ● 此學習策略能有效促進學生專注	● <u>平均值</u> 最高（M = 0.456） ● 變異最高（SD = 1.122） ● 此策略激發較高的專注持續性,但存在一定差異	● <u>平均值</u> 最高（M = 0.381） ● 變異相對高（SD = 1.012） ● 有助引發較高的語意認知與整合處理,但差異仍顯著
小結	● B-3「生成性口述」成效最佳 ● B-1「單次觀看」成效最弱	● B-3「生成性口述」專注表現相對較佳,且穩定性優於 B-2「觀看兩次」	● B-3「生成性口述」專注持續程度最佳,但個體間反應差異較大	● B-3「生成性口述」有效激發高階認知;穩定性略低於 B-1 ● B-2「觀看兩次」變異最大，對個體影響差異化最明顯

● 三組學習策略（B-1、B-2、B-3）ANOVA 分析

指標名稱	F 值	p 值	顯著 (p<0.05)
Attention	0.5840	0.5645	No 不顯著
Low_Beta	1.8607	0.1750	No 不顯著
High_Gamma	1.4042	0.2629	No 不顯著
測驗分數	7.4166	0.0027	Yes 顯著

● 「測驗分數」Tukey HSD 事後比較統計分析結果摘要表

I	J	平均值差異 (I - J)	標準誤推測	p 值	95% 信賴區間下界	95% 信賴區間下界
B-3	B-1	10.8	3.68	0.0026	3.5836	18.0164
B-3	B-2	8.0	3.68	0.0275	0.7836	15.2164
B-2	B-1	2.8	3.68	0.6066	-4.4164	10.0164

- 根據 ANOVA 分析結果，B-1、B-2 及 B-3 三組僅在「測驗分數」存在顯著差異 $F=7.42$ ， $p=0.0027$ ($p<0.05$)。
- 「輸出型策略」有效促進深層理解與記憶：(1)B-3（生成性口述）測驗分數顯著高於 B-1（單次）與 B-2（重複）(2)B-3 對其他兩組的平均差異都落在正區間，代表優勢穩定、顯著
- 「重複輸入」效用有限：B-2（觀看兩次）與 B-1（單次觀看）之間無顯著差異。

四、數據及理論之分析說明@階段二

本階段（階段二）針對三種「語音＋圖像」的學習策略進行比較分析，從腦波數據與測驗表現雙面向評估其對認知歷程與學習成效的影響。結果顯示，三組策略僅在「測驗表現」上達顯著統計差異（ $p=.0027$ ），而在「專注度」、「專注持續度」與「高階認知」的腦波指標方面，則呈現明顯趨勢差異，惟未達統計顯著。

(一) B-3「生成性口述」為最佳策略

1. 在四項指標（Attention、Low Beta、High Gamma、測驗分數）中，B-3 組皆呈現最高的 Z 分數平均值。
2. 雖腦波變項在統計上未達顯著水準，但趨勢已展現學習策略間之潛在差異，值得進一步驗證。
3. 綜觀圖 8 至圖 11 來看，B-3 組在學習成效與三項腦波指標皆表現最優，顯示生成性口述策略能有效提升整體學習表現與深層認知歷程。
4. ANOVA 及 Tukey HSD 指出 B-3 測驗分數顯著高於 B-1 與 B-2 兩組 8 至 10 分，有效促進深層理解與學習成果提升，具體驗證 Fiorella 生成學習理論中「回憶練習」與「教學相長」的正向效果。

(二) B-2「觀看兩次」效果不如預期

1. B-2 為常見複習策略，雖其學習成效居中，但專注持續度與高階認知的腦波指標變異最大，顯示此策略在不同學生間的效果差異顯著、穩定性較低。
2. 腦波數據亦顯示舒適學習（Alpha）指數上升、記憶加工（Theta）與專注持續度（Low Beta）下降，可能因重複觀看產生熟悉感，導致放空、參與度降低。
3. 推論因缺乏時間間隔（spacing effect）與生成性任務（如重述、回顧與反思），致認知資源未能有效轉化為長期記憶，限制深層加工歷程。

(三) B-1「單次觀看」學習成效最低

雖然 B-1 標準差小，顯示組內反應穩定，但四項指標皆最低，顯示被動學習模式難以啟動深層加工與高階認知，學習參與度有限。

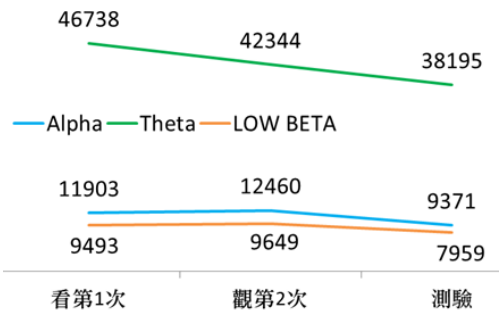


圖 12 腦波指標三階段平均變化圖

伍、結論及未來展望

本研究以 Mayer 的「冗餘原則」與「雙通道理論」、Baddeley 的工作記憶模型，以及 Fiorella 與 Mayer 提出的「生成學習理論」為基礎，結合實證腦波數據與學習成效分析，設計不同的資訊呈現方式與學習策略，針對高中生進行兩階段實驗，探討認知心理學理論在數位教材設計與實際學習歷程中的應用成效。

研究亦首度將腦波數據進行 Z 分數標準化處理，以提升跨個體比較的準確性與策略分析的精細度。

一、結論

本研究結合多媒體學習理論、生成學習觀點與腦波儀即時測量，針對 30 位高中生進行兩階段實驗，探討不同教材呈現方式與策略操作對學習成效與神經歷程的影響。主要發現如下：

1. 簡化而聚焦的資訊設計最能促進有效學習：「語音＋圖像」（B 組）的雙通道設計在學習成效、專注度與放鬆度方面均優於其他組別，壓力指標最低，支持 Mayer 的「冗餘原則」與「雙通道理論」。
2. 符合生成學習與教學相長理論：「生成性口述」（B-3 組）展現最佳學習成果，測驗分數明顯優於 B-1 與 B-2 組，並在專注度、專注持續度及記憶加工等腦波指標均呈現最高 Z 分數趨勢（圖 8 至圖 11），顯示生成學習策略可促進認知活化與深層理解。
3. 被動學習模式的刺激不足：
 - B-2「觀看兩次」組其舒適學習（Alpha）上升，但記憶加工（Theta）與專注持續度（Low Beta）卻下降（圖 12），推測因缺乏間隔與生成任務，導致認知資源未有效轉化為長期記憶，產生熟悉性放空與認知疲乏。
 - B-1「單次觀看」組雖表現穩定，但學習成效與腦波活化均為三組中最低。

整體而言，結合腦波數據與測驗結果的雙軌分析驗證：生成性輸出策略（如口述）能啟動高階認知歷程、強化語意整合與記憶鞏固，為未來多媒體教材設計與智慧學習平台發展提供實證依據。

二、應用建議與未來展望

本研究驗證多媒體與生成學習理論在數位教材中的應用成效，建構可評估學習策略的模型，並提出具體可行的智慧學習與教材優化建議：

1. 教材設計方向：優先採用「語音＋圖像」雙通道設計，避免字幕與語音重疊，減輕視覺負荷與冗餘干擾。
2. 教學活動規劃：學習活動後安排生成性口述、重述或同儕教學等主動輸出任務，強化深層加工與記憶歷程。
3. 智慧平台發展：開發具「輸入＋輸出」結構之互動學習平台，結合腦波儀即時回饋機制，偵測學生專注與壓力。
4. 延伸研究方向：
 - 擴大樣本數並延長學習介入時間，以提升統計檢定力與結果穩定性；
 - 納入反應時間、主觀負荷、眼動追蹤等指標，強化對學習歷程與神經反應的多面向理解；
 - 優化重播策略設計，加入時間間隔與生成性活動，避免「低參與、高負荷」的負向學習狀態。

本研究亦呼應聯合國永續發展目標 SDG4「優質教育」，透過腦波數據與生成策略的整合，探索個別化、智慧化的學習模式。未來若能廣泛應用於教學現場與數位平台，有望提升學習效率、實現因材施教，讓科技成為支持每位學習者的真實力量。



陸、參考資料

一、黃淑玲. 2011. 《以研究證據為基礎之多媒體學習理論：劍橋多媒體學習手冊之分析》
<https://www.edubook.com.tw/OAtw/File/Pdf/27145.pdf>

二、林光宇、裘性天，2005.《物理解題動畫作為高中生課後輔助教材之成效探討》第二章文獻探討
<https://ir.lib.nycu.edu.tw/handle/11536/80227>

三、Paas, F., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. Educational Psychologist, 38(1), 1–4. <https://reurl.cc/xNY0q4>

四、Mariano, G. (2014). Breaking it down: Knowledge transfer in a multimedia learning environment. International Journal of Teaching and Learning in Higher Education, 26(1), 1–11. <https://reurl.cc/lzEd6j>

以上圖片、圖表皆由作者自行整理及繪製