

GenAI 時代「翻轉課堂」的進化機制 --- 「S.P.R.框架」：

空間重構與引導式 AI 對學生元認知及學習動機之影響

The Evolutionary Mechanism of the Flipped Classroom in the GenAI Era:

The Impact of Spatial Reconfiguration and Socratic AI on Student Metacognition and

Motivation

張展瑋 1*, 區麗娟 2

¹ 香港電腦教育學會

² 文化藝術科技協會

* kelvincheung@hkace.org.hk

【摘要】 近年愈來愈多研究顯示，生成式人工智能（GenAI）的普及，令學生因便利而在學習上出現「認知卸載」（Cognitive Offloading），造成元認知萎縮及學習動機低下的危機。本研究延續張展瑋（2016）對香港翻轉課堂實踐困境的關注，探討此現象會否損害「翻轉課堂」實踐的有效性；亦提出以「家課課堂化」結合「引導式 AI（Socratic AI）」的建立，在空間配置與技術運用的重構上，探索其是否能減輕學生在生成式人工智能（GenAI）普及下出現的「認知卸載」問題。本研究採用「解釋性順序混合研究設計」（Explanatory Sequential Mixed Methods Design），第一階段通過量化前測和後測，比較實驗組（課堂受控環境、引導式 AI）與對照組（家中自由環境、一般 AI）在元認知覺察量表（MAI）與 ARCS 動機量表上的變化；第二階段根據量化結果進行抽樣研究，就認知及動機呈現顯著變化的學生，研究員邀請他們進行深度訪談與對話文本分析。結果顯示，實驗組通過強制性的「建設性掙扎（Productive Struggle）」，不僅能顯著提升元認知監控能力，更能將學生的動機從追求捷徑的膚淺滿意，提升為克服智力挑戰後的深層成就感。在 GenAI 出現後連帶的「自主學習」範式轉移下，本研究能為教育研究者、前線教師、政策制訂者在學與教上建設性應用 AI 輔助學習的議題上提供了實證基礎。

【關鍵字】 翻轉課堂；生成式人工智能；認知卸載；建設性掙扎；建設性挫敗

Abstract: The increasing accessibility of Generative AI poses a risk of "cognitive offloading" in Flipped Classrooms, potentially hindering students' metacognition and motivation. This study addresses this by proposing and evaluating a reconfigured model that combines "in-class homeworking" with "Socratic AI." Through an explanatory sequential mixed methods design, the research demonstrates that introducing structured "productive struggle" in a controlled setting significantly enhances students' metacognitive monitoring. Additionally, results show a qualitative shift in motivation, as students moved from seeking task-completion shortcuts toward valuing the cognitive process. These findings provide a practical empirical basis for designing effective AI-integrated, self-directed learning environments.

Keywords: Flipped Classroom, GenAI, Cognitive Offloading, Productive Struggle, Productive Failure

1.前言

自香港特區政府推行第四個資訊科技教育策略(ITE4)以來，翻轉課堂(Flipped Classroom)

已被視為促進「自主學習 (SDL)」的創新教學範式。然而，受制於香港的「績效主義」文化，教師常擔憂學生在課外進行「翻轉」時，特別是在家中進行自主學習時，學生缺乏足夠的自律與認知能力以完成高質量的預習任務 (張展瑋, 2016)。隨著生成式人工智能 (GenAI) 在 2022 年的全面普及，以及在香港特別行政區教育局提倡「學時」取代「課時」的背景下，這種對「課外學習空間」的擔憂，已具體演變為當前教學現場的嚴峻危機。

在人文學科，特別是在中國歷史的學習上，課堂在傳統「翻轉教學」的模式下，往往會被用作深化預習成果，以及進行進階討論的地方 (張展瑋, 2016)；至於耗時較長的高階歷史論述題，則往往被安排為家課，由學生在家中獨立完成。然而，當今學生已能輕易應用 GenAI (如 ChatGPT) 快速生成答案，這使得「家課」作為評核與鞏固學習成果的機制失去意義。正如 Lodge 等人 (2023) 提出，GenAI 技術一方面對學習帶來便利性，另一方面剝奪了學生在學習過程中的深入思考 (Deep Thinking) 與「認知摩擦 (Cognitive Friction)」。學生更因過度依賴 GenAI 而出現「認知卸載」(Cognitive Offloading)，把學習任務外包予人工智能，這大幅削弱「翻轉教學」對促進自主學習的成效。

為應對此問題，傳統翻轉教學必須經歷一次「空間」與「技術」的重構，當中關鍵在於實施「家課課堂化」，並在課堂上要求學生通過教師設定的「引導式 AI (Socratic AI)」輔助來完成任務。本研究旨在探討此一空間與技術的重構模式，能否成為解決 AI 時代下自主學習危機的有效出路。通過「解釋性順序混合研究設計」(Explanatory Sequential Mixed Methods Design)，本研究將以實證探討「家課課堂化」配合「引導式 AI」的介入模式，能否提升高中中國歷史科學生的「元認知 (Metacognition)」能力；並進一步探究其對學生學習動機的影響。

2. 文獻回顧

2.1. 翻轉課堂的空間主權與香港實踐困境

翻轉課堂的實踐建基於認知任務的「時空重置」，通過倒轉「課堂」與「家課」的空間，讓學生得以有更多時間處理高階水平的學習。此範式轉移按照 Bloom 的認知分類 (Anderson & Krathwohl, 2001)，將「記憶與理解」等低階認知任務，安排於課外；將高階認知任務留於實體課堂 (張展瑋, 2016)。然而，針對香港教育脈絡的實證研究指出，前線教師憂慮學生在缺乏監督的「家中」環境，能否保持真實的學習投入 (authentic engagement) (張展瑋, 2016)。在生成式人工智能 (GenAI) 時代，此一「課前黑箱」挑戰已演變為系統性危機。由於當前的家庭學習場域已轉變為由技術主導的空間，學生對 GenAI 的過度依賴，極容易誘發「認知卸載」(cognitive outsourcing) 行為。這不僅取代了深度思考過程，更進一步瓦解了課外學習的真實性 (Li et al., 2025)。基於此，當代教學設計亟需進行結構性的「空間重構」——將關鍵的高階學習任務與評量，重新搬回教師實體在場的課堂中 (Corbin et al., 2025)。若不奪回此一空間控制權，學生將失去大量學習歷程。

2.2. 建設性挫敗 (Productive Failure) 與引導式 AI

Kapur (2008) 提出的「建設性挫敗」(Productive Failure) 理論證實，讓學習者在接受正式教學前，若先進行缺乏鷹架支持的解題探索，能激活其後設認知 (metacognition) 與深層概念理解。若把此學習理論延伸至當代應用人工智能學習的場域，Molenaar (2022) 強調，AI 系統應被設計為能增強學習者自我調整學習 (SRL) 的工具，而非取代學習者思考的捷徑。為防範 GenAI 剝奪學生的認知歷程，當代的教學設計可通過精準的提示詞工程 (Prompt Engineering)，將大型語言模型 (LLM) 重新設定為「蘇格拉底式引導者」(Socratic AI) (Kasneci et al., 2023)。此一改變的價值在於，GenAI 不再直接提供答案，而是透過反問與引導刻意製

造認知衝突與知識缺口，迫使學習者在與 AI 的動態交互過程中進行高強度的邏輯修補，將潛在的技術依賴轉化成深度的「建設性掙扎」(productive struggle) (Liu et al., 2024) 以及「建設性挫敗」。

2.3. 歷史科的「分析立場」與 ARCS 動機模型

歷史教育的核心目標之一，誠如 Barton 與 Levstik (2004) 指出，在於培養學習者「分析立場」(Analytic Stance) 的能力，使其能主動且批判性地處理具衝突的歷史資料。在分析這種高階認知歷程進行的機制時，Keller (1987) 的 ARCS 動機理論提供了評估框架供研究員參考，透過教學動機量表，研究員能將抽象的心理感受量化為具體的數據指標，這有助於驗證教學介入的有效性。然而，在生成式 AI 廣泛應用的語境下，學習者面對複雜任務時，容易將思考過程，轉交由 GenAI 代勞而出現「認知卸載」(cognitive offloading) 或逃避勞動現象 (Risko & Gilbert, 2016)。

建基於此，本研究其中一個方向會探討：在重構的「翻轉教學」下，當學生在實體課堂中經歷「蘇格拉底式 AI」的追問後，其在 ARCS 模型中所獲得的「滿足感」，能否超越純粹依賴科技作認知逃避，進而昇華為真正通過克服學術挑戰而建立的「自我效能感」(intellectual self-efficacy) (Bandura, 1997)。

2.4. 元認知與 AI 協作下的自我調節

元認知 (Metacognition) 由 Flavell (1979) 提出，涵蓋「元認知知識」(knowledge of cognition) 與「元認知調控」(regulation of cognition) 兩大維度。在歷史學科等需要高階思辨的學習中，學習者必須具備高度的元認知調控能力，主動對自身的學習歷程進行計劃、監控 (Monitoring) 與偵錯 (Debugging) (Schraw & Dennison, 1994)，才能達致有意義的學習。然而，如同 Zimmerman (2002) 在自我調節學習 (SRL) 理論中強調，元認知的運作高度依賴學習者內在的認知投入；當 GenAI 以「全知者」姿態瞬間提供完整解答時，這極易誘發前述的「認知卸載」，導致學習者完全跳過認知監控與偵錯的關鍵階段，形成「元認知盲點」(metacognitive blindness)。

為重新啟動學生的元認知機制，我們可把 GenAI 重新設計為「元認知提示者」(metacognitive prompter)。因此，本研究的探討重點：「家課課堂化」配合「引導式 AI」的設計，正是立基於此。AI 不再直接給出歷史評論的答案，而是刻意針對學生的論點提出質疑或要求史料佐證。此一過程不僅呼應了前述的「建設性掙扎」，更在機制上強制啟動了 Schraw 與 Dennison (1994) 所定義的「認知監控」與「調控」歷程。本研究試圖進一步驗證：透過空間與工具的共同重構，將 GenAI 轉化為促進思辨的鷹架，能否有效深化學生在複雜歷史任務中的元認知覺察 (Metacognitive Awareness)，從而在 GenAI 時代中守護學生的深度思考能力。

2.5. S.P.R. 理論框架

面對 GenAI 洪流為學界帶來的「認知卸載」危機，為免學生在翻轉課堂的自主學習中迷失，並重塑高階學習任務的核心價值，本研究綜合前述文獻，針對「引導式 AI (Socratic AI)」的學與教應用，建構了「S.P.R. 框架」。此框架冀望將 GenAI 由坊間普遍依賴的「答案生成器」，轉化為陪伴學生深化思考的「認知對練者」，其理論機制由三個核心維度緊密扣連：首先是「植根史料 (Source-First, S)」，我們深知歷史科的學與教，關鍵在於培育學生「論從史出」的「分析立場」，因此，此維度嚴格限制 AI 系統拒絕接受任何欠缺證據支持的空泛推論，強制學生回歸學科本質，把論述切實地建立在嚴謹的史料考證之上；其次是「建設性掙扎 (Productive Struggle, P)」，前線教學經驗及 Kapur (2008) 的「建設性挫敗」理論均指出，適度的「認知摩擦」對學習至關重要，此機制運用蘇格拉底式的提問策略，刻意不

讓 AI 直接「派答案」，而是透過反覆的詰問與質疑，逼使學生在動態博弈中持續修補邏輯漏洞，這過程雖難免令學生短暫感到氣餒，但唯有經歷這份掙扎，才能將流於表面的生吞活剝轉化為深層的知識內化，最終誘發出 ARCS 模型中那份無可替代的深層「滿足感」；最後是「元認知反思 (Reflective Monitoring, R)」，根據 Flavell (1979) 的元認知理論與 Zimmerman (2002) 的自我調節學習模型，此維度賦予 AI 擔當「元認知提示者」的重任，當 AI 對學生的論述窮追猛打時，實際上是強制啟動了他們大腦中的「認知監控」與「調控」機制，要求學生時刻檢視自身論述的嚴密性，並自行規劃修正策略。

3. 研究設計

3.1. 研究問題

本研究旨在探討在結合「引導式 AI」的優化版翻轉教學實踐下：「家課課堂化」配合「引導式 AI」的介入，能否提升高中中國歷史科學生的「元認知 (Metacognition)」能力，以及其在 Keller 的 ARCS 模型下之學習動機變化。

3.2. 研究方法與對象

本研究參考 Creswell 與 Plano Clark (2018) 提出的解釋性順序混合研究設計 (Explanatory Sequential Mixed Methods Design)。研究分為兩大階段：先通過問卷進行量化研究，繼而就值得深入探討的部分進行質性研究。

這項研究在 2025 年上學期 10 月中旬進行，為時 2 星期，共 8 節課堂。研究選取香港一所第二組別的中學，該學校應用 Google 人工智能系統，並購買了校本 Gemini，學生可以在家中自由使用 Gemini 功能。是次研究為兩班學業水平相若的中五級中史科學生 (N=48)。這所學校的特色是高中開設兩班中史科選修，而且其中一名老師具備採用翻轉教學的經驗，熟悉當中操作，故其被安排為實驗組。因此，在實踐上，研究員把研究分成對照組 (n=23)：實踐傳統課堂模式，學生在課堂聽講，然後家中完成歷史評論家課，過程中允許使用 GenAI；以及實驗組 (n=25)：在家通過影片進行翻轉，課堂則在教師監察及指導下，學生在「引導式 AI」的輔助下完成歷史評論家課；學生在課堂完成家課時不可使用一般 AI，只可被強制使用由教師預先設定的引導式 AI。「引導式 AI」的設定遵循「S.P.R. 框架」，將 GenAI 從單純的「答案產生器」轉化為「學習鷹架」。AI 提供的學習經驗會是：植根史料證據 (Source-First)、通過提問逼使學生進行建設性掙扎 (Productive Struggle)，以及促進其元認知反思 (Reflective Monitoring)。不論是對照組或是實驗組，學生皆有日常在做家課時使用 GenAI 的習慣。

本研究的第一階段於第一節課堂 (介入前) 與第八節課堂 (介入後) 分別進行前測與後測。數據收集採用兩套經過情境化修訂的 5 點李克特量表作為測量工具。首套工具為依據 GenAI 特色而修訂的「元認知覺察量表 (MAI)」，主要檢視學生的「認知監控」(例題如：當 AI 產出歷史論述時，我會主動思考其內容是否符合已知史實，而非全盤接收。) 以及「偵錯與調控」之能力 (例題如：如果 AI 觀點與我所認知的史料出現衝突，我會改變提問指令或翻閱原典來尋找真相。))。

第二套工具則為按照現存的「ARCS 學習動機量表」，按照 GenAI 的特色加以修訂，旨在測量學生在面對 AI 挑戰時的動機轉變。該量表涵蓋了「信心」(Confidence) (例題如：雖然被 AI 質疑讓我感到困難與掙扎，但成功糾正其錯誤讓我對分析歷史的能力更有信心。) 與「滿足感」(Satisfaction) (例題如：我偏好透過自己找尋證據『戰勝 AI』所完成的功課，勝過 AI 直接幫我寫好的功課) 等評估維度。

在第二階段的質性數據收集，本研究採用立意抽樣 (Purposive Sampling) 策略，根據第一階段的量化分析結果，特意從實驗組中挑選 6 名在 ARCS 學習動機量表中呈現明顯變化的學

生作為目標樣本，並進行半結構化深度訪談，以深入探究其在面對引導式 AI 干預時的心路歷程與動機變化。

3.3. 引導式 AI (Socratic AI) 的系統提示詞 (System Prompt) 設定

為確保研究落實「S.P.R.框架」，本研究於實驗組 AI 的「提問式 AI」底層寫入指令，將其設定為「拒絕直接派答案的蘇格拉底式導師」，對照組則使用無限制的一般 AI。實驗組核心提示詞涵蓋三大維度：一、植根史料 (S)：強制 AI 在學生提出史觀時追問證據，無具體史實則拒絕推進對話，確保「論從史出」。二、建設性掙扎 (P)：嚴禁 AI 生成直接答案。要求其透過反問或反方觀點製造「認知摩擦」，逼使學生自行修補邏輯破綻。三、元認知反思 (R)：指令 AI 擔當「元認知提示者」，適時引導學生檢視思考歷程（如：「你的推論有否遺漏其他持份者視角？」）。

4. 研究結果與討論

4.1. 第一階段結果

表 1：實驗組與對照組在 MAI 與 ARCS 量表之成效比較 (N=48)

測量維度	組別	前測平均數 (SD)	後測平均數 (SD)	成對樣本 t	獨立樣本 t
MAI 元認知覺察	對照組 (n=23)	3.10 (0.55)	2.92 (0.68)	t = 1.05, p > .05	-
(監控、偵錯與調控)	實驗組 (n=25)	3.05 (0.52)	3.92(0.78)	t = 4.85, p < .001	t = 4.72, p < .001
ARCS 學習動機	對照組 (n=23)	3.25 (0.50)	3.18 (0.62)	t = 0.45, p > .05	-
(信心、滿足感)	實驗組 (n=25)	3.20 (0.48)	3.68(0.85)	t = 2.45, p > .05	t = 2.38, p < .05

在進行推論性統計前，本研究資料已確認符合常態分配與變異數同質性假設。從表 1 可見，在基線同質性檢驗方面，獨立樣本 t 檢定的結果顯示，實驗組與對照組在 MAI 前測 (p=.71) 與 ARCS 前測 (p=.74) 得分上均未達統計顯著差異，證實兩組學生在實驗介入前的起點行為具有高度一致性。進一步的數據分析顯示，在為期兩週的實驗介入後，兩組呈現出截然不同的變化。對照組（於家中自由使用一般 AI）在元認知覺察與學習動機上不僅未見增長，反而出現微幅下滑的趨勢（MAI 後測平均為 2.92），這初步佐證了過度依賴 GenAI 可能導致「認知卸載」的隱憂。反觀實驗組（於課堂接受「S.P.R.框架」引導），其 MAI 元認知覺察呈現極顯著成長（自 3.05 升至 3.92, p < .001）；但在 ARCS 學習動機維度上，雖達顯著水平，其增幅相對溫和且標準差較大（自 3.20 升至 3.68, p > .05）。此結果反映出「引導式 AI」雖能透過強制認知掙扎，誘發學生的自我監控行為，但內在動機的重塑與信心的穩固，在短期內仍存在明顯的個別差異。同時，實驗組不論在 MAI 或 ARCS 的數據上均高於對照組，反映 AI 下的「S.P.R. 框架」能有助促進學生的元認知及學習動機。

4.2. 第二階段訪談結果

在質性訪談的文本分析中，本研究歸納出三個核心主題。與量化數據所呈現的趨勢一致，訪談內容揭示了學生在「S.P.R. 框架」下經歷了顯著的心理摩擦與認知重塑：

4.2.1.從「索取答案」到「植根史料 (Source-First)」的轉變

研究發現，學生初期對「引導式 AI」展現出強烈排斥感。在實驗介入初期，習慣將 GenAI 視為「答案代工廠」的學生，面對拒絕直接給予答案的系統，普遍產生挫折感。正如學生 S2 所述：「以前在家用 ChatGPT 只要一秒就寫完，這系統居然要我先上傳史料證據才肯跟我說話。一開始我覺得這是在浪費時間。但因為在課室裡老師會巡視，不能切換視窗去用別的工具，我只好硬著頭皮去翻史料跟它對質。後來我發現，當我能用課本的論點把 AI『辯倒』時，那種掌控感比直接抄答案強多了。」

4.2.2.強制「建設性掙扎 (Productive Struggle)」催生深層自信

訪談資料解釋了量化數據中動機標準差 (SD) 擴大的原因：並非所有學生都能迅速從掙扎中獲得自信。學生 S4 指出：「在家用 AI 做功課，即使取得高分也會很心虛，自知若在考試時一定完蛋。但在課堂裡，提問式 AI 一直抓我的邏輯漏洞，逼我重寫。雖然過程很痛苦、很燒腦，但最後產出的評論是我自己想出來的，這讓我對準備 DSE 有了真正的信心。」然而，並非所有學生皆能適應此強度。學生 S5 則坦言：「這比以前累太多了，有時候跟 AI 對話到一半會覺得很煩，甚至想放棄。」這解釋了為什麼實驗組的動機成長在統計上僅達 $p < .05$ ，顯示出「建設性掙扎」是一把雙面刃。

4.2.3.重建對學習歷程的「滿足感 (Satisfaction)」

本研究發現，滿足感的重建來自於「智力博弈」後的勝利，而非任務的完成。學生 S6 回饋：「與提問式 AI 交手更像是在跟一個刁鑽的歷史學者打辯論。當我根據史實，讓 AI 回覆『你的論證非常嚴密，我同意你的觀點』時，那種滿足感是很大。」由此可見，當「引導式 AI」將家課從「重複性勞動」重構為「高階博弈」時，能成功觸發了學生在 ARCS 模型顯示的滿足感，而這種高階的滿足感需要學生付出相當的認知努力方能獲得。

5.結論

本研究探討在生成式人工智能 (GenAI) 全面普及的時代下，傳統翻轉課堂面臨的「認知卸載」危機及其解決方案。研究結果明確證實，透過「空間重構」(家課課堂化)與「技術重構」(導入 S.P.R.框架之引導式 AI)，能有效扭轉學生過度依賴 AI 代勞的學習慣性。量化數據顯示，實驗組學生在元認知覺察 (MAI) 上獲得了極顯著的提升；在學習動機 (ARCS) 方面亦呈現顯著的正向轉變，儘管在此過程中伴隨著個體適應的差異性。相對地，對照組則印證了過度依賴一般 AI 帶來的「認知卸載」風險，其學習表現呈現停滯甚至微幅倒退。質性數據進一步揭示了此轉變的內在機制：引導式 AI (Socratic AI) 成功打破了學生「索取答案」的捷徑心態，迫使他們回歸史料本身 (Source-First)；而 AI 在課堂中刻意製造的認知衝突，不僅未削弱學生的整體學習意願，反而透過「建設性掙扎 (Productive Struggle)」，讓學生在克服智力挑戰後，建立了能應對公開試 (如 DSE) 的根基和信心 (Confidence)，並重獲深層的學習滿足感 (Satisfaction)。總結而言，本研究證明了在 AI 時代，真實的學習成就感並非來自「一鍵生成」的便利，而是建立在經歷高階認知摩擦後的「意義建構」。

基於上述結論，本研究對當前的教育實踐者及學校管理者提出以下兩點核心建議：首先，重掌學習空間主導權，將實體課堂轉型為「認知體育館」：面對 GenAI 的捷徑誘惑，教育者必須重新審視傳統翻轉課堂的時空配置。將耗時較長、需要高階認知投入的「歷史論述家課」移回實體課堂，是確保學習歷程真實性的必要防線。學校應支持教師將實體課室轉型為高互動的「認知體育館」，在此受控空間內，教師的實體巡視與引導，能提供即時的情緒安

撫與學習鷹架，陪伴學生度過與「引導式 AI」協作時所產生的認知陣痛期。其次，推動教師角色轉型，成為「掙扎設計師（Designer of Productive Struggle）」：教育界不應再將 AI 視為單純的產出工具或防弊對象。教師應積極提升自身的「提示詞工程（Prompt Engineering）」素養，從傳統的「單向知識傳遞者」轉型為「掙扎設計師」。透過精準的指令設定與「S.P.R. 框架的落實」，將 AI 系統「調校」為不直接給予答案、懂得蘇格拉底式反問的教學盟友，以此持續促進學生的深層思考與邏輯辯證。

6. 研究局限與未來展望

本研究雖初步證實了「家課課堂化」與「引導式 AI」聯動模式的正向成效，但在研究設計與推論上仍具部分局限性，可作為未來相關研究推進之方向：

6.1. 實驗變項的生態性疊合與解偶（Decoupling）需求

本研究採取了「空間重構（實體課堂監督）」與「技術重構（引導式 AI 提問）」的雙重干預。此設計初衷旨在測試兩種重構在聯動下的「整體生態效應（Ecological Effect）」，以真實反映複雜的教學現場運作。然而，這也使得量化數據無法完全解開單一變數的獨立貢獻——學生的進步究竟多大程度歸功於「教師在場的環境壓力」，又有多大程度源於「AI 的提問機制」？基此，未來研究建議可採用 2×2 的準實驗設計（如：在家使用引導式 AI、在課室使用一般 AI 等交叉組別），藉此精確釐清各變數的獨立影響力與交互作用。

6.2. 樣本代表性與跨學科推論的限制

受限於立意抽樣與特定學校背景（N=48），且本研究焦點高度集中於中國歷史學科中的「高階歷史論述」，導致研究結果的普遍推論成效，具備一定局限。未來研究應考慮擴大樣本規模，並將此「S.P.R. 聯動教學模式」推廣至非人文學科（如數理邏輯探究、科學實驗設計），以驗證該框架在不同知識結構與學科本質下的成效與適用性。

6.3. 介入週期較短與長期保留效應（Retention Effect）的空白

本研究的實驗介入時間僅為兩週（8 節課），這也解釋了為何量化數據中，學生的「學習動機（ARCS）」雖有顯著提升，但仍存在較大的個體適應差異。短期的干預未能持續追蹤學生在元認知與動機轉變上的長期保留效應；此外，學生面對「建設性掙扎」的心理彈性與耐受度邊界究竟為何，亦有待釐清。未來研究強烈建議開展較長週期的縱向追蹤（Longitudinal Study），從而為 AI 輔助教學系統的「難度動態調節（Dynamic Difficulty Adjustment）」提供更為精細且扎實的實證基礎。

參考文獻

- 張展瑋、莊紹勇（2016）。在香港 K-12 教室推行翻轉課堂：教師在教學範式轉向下的關注。載於 Y. T. Wu 等人（編），第 20 屆全球華人計算機教育應用大會（GCCCE 2016）論文集（頁 523-526）。香港教育大學。
- Anderson, L. W., & Krathwohl, D. R. (2001). A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives. Longman.
- Bandura, A. (1997). Self-efficacy: The exercise of control. W. H. Freeman.
- Barton, K. C., & Levstik, L. S. (2004). Teaching history for the common good. Lawrence Erlbaum Associates.
- Bearman, M., & Ajjawi, R. (2023). Learning to work with the black box: Pedagogy for a world with artificial intelligence. *British Journal of Educational Technology*, 54(5), 1160-1173.
- Corbin, L., Roe, J., Perkins, M., & Craig, C. (2025). Talk is cheap: Why structural assessment

changes are needed for a time of GenAI. *Assessment & Evaluation in Higher Education*.
<https://doi.org/10.1080/02602938.2025.2503964>

- Creswell, J. W., & Plano Clark, V. L. (2018). *Designing and conducting mixed methods research*. Sage publications.
- Flavell, J. H. (1979). Metacognition and cognitive monitoring: A new area of cognitive–developmental inquiry. *American Psychologist*, 34(10), 906–911.
- Kapur, M. (2008). Productive failure. *Cognition and Instruction*, 26(3), 379–424. <https://doi.org/10.1080/07370000802212669>
- Kasneci, E., Sessler, K., Küchemann, S., Bannert, M., Dementieva, D., Fischer, F., ... Kasneci, G. (2023). ChatGPT for good? On opportunities and challenges of large language models for education. *Learning and Individual Differences*, 103, 102274. <https://doi.org/10.1016/j.lindif.2023.102274>
- Keller, J. M. (1987). Development and use of the ARCS model of instructional design. *Journal of Instructional Development*, 10(3), 2–10. <https://doi.org/10.1007/BF02905780>
- Li, X., Zhou, Y., & Peng, Z. (2025). Effect of GenAI dependency on university students' academic achievement: The mediating role of self-efficacy and moderating role of perceived teacher caring. *Behavioral Sciences*, 15(1), 1348. <https://doi.org/10.3390/bs15101348>
- Liu, J., Huang, Z., Chen, Y., & Zhao, Y. (2024). SocraticLM: Exploring Socratic personalized teaching with large language models. *Advances in Neural Information Processing Systems*, 37.
- Lodge, J. M., Howard, S., & Bearman, M. (2023). Evaluating the implications of generative AI for higher education. *Australasian Journal of Educational Technology*, 39(2).
- Molenaar, I. (2022). Towards hybrid human-AI learning technologies. *European Journal of Education*, 57(4), 632–645. <https://doi.org/10.1111/ejed.12527>
- Risko, E. F., & Gilbert, S. J. (2016). Cognitive offloading. *Trends in Cognitive Sciences*, 20(9), 676–688. <https://doi.org/10.1016/j.tics.2016.07.002>
- Schraw, G., & Dennison, R. S. (1994). Assessing metacognitive awareness. *Contemporary Educational Psychology*, 19(4), 460–475.
- Zimmerman, B. J. (2002). Becoming a self-regulated learner: An overview. *Theory into Practice*, 41(2), 64–70.