

運用人工智慧與擴增實境技術提升小學生 STEAM 能力與學習動機之研究： 以繪圖色彩認知為例

壹、緒論

一、研究背景

21 世紀是美感的世紀，聯合國教科文組織（The United Nations Education, Scientific and Cultural Organization，簡稱 UNESCO）在此大環境的趨勢下，開啟了中長期的美感教育計劃，以美感即生活，從幼扎根、跨域整合、國際連結為理念，透過校園、日常生活之連結，希望從課程、活動與學習環境出發，培養學子透過發現、探索、體驗的歷程感受美，提升孩子的美感素養，並將美感展應用於生活之中，讓生活變得更美好(UNESCO, 2010)。藝術教育是一種基本的、可持續的、高質量的更新教育的組成部分，特別是作為廣泛和全面教育的一部分，其重要性，可從國際組織希望能永續於教育而得知。未來教育，邁向 2030 年時，確保實現包容和公平的全民優質教育，並促進終身學習，達成永續發展的教育目標。(United Nations Education, 2016)。臺灣在科技方面的創意及發明，屢見推陳出新的觀點，透過美感教育與數位科技的相互結合，可培育出更具前瞻性的跨領域人才，並替台灣產業增值，由此可見，美感素養結合科技能力儼然已成為一種國家的競爭力，亦是創造力的來源。與 Organization for Economic Co-operation and Develop, OECD (2016) 所發表「教育與技能的未來：OECD 教育 2030 之架構」理念不謀而合。聯合國教科文組織中的民間社會領導人和政策領導人認可及提供藝術教育資源是促進和培育社會可持續發展文化必不可少的支柱 (Education, 2019)，而繪畫則是最常見的藝術實踐方式之一，同時也作為一種表達方式，起源可以追溯到古代，它是傳達視覺思想的最簡單、最有效的方式，它幫助我們理解世界、思考、感受、塑造和交流思想，它有趣、易懂且無價(Makowska, 2012; Quillin & Thomas, 2015)。

繪畫是一種通用語言，通常無論走到哪裡都能被理解(Gilbert, 1998)，是人類發明的第一種表達方式和表現方式，無論是作為現實的藝術表現還是作為表達純粹想像的方式，它仍然非常有效，人們能夠繪畫首先意味著能夠看到、理性地理解、感受情感並掌握使我們能夠充分表達思想和情緒的技巧 (Morkeh, 2011)。科技的發展，改變了我們的生活與思考模式。科技為人類生活帶來方便性，讓我們有餘力去享受生活，並在美學與藝文活動中陶冶性情，培養創造力。因此，繪畫構成了所有藝術創作及科技發展的基礎，是建築學院以及工程學院和其他一些科學學院中最重要的研究分支之一。其中視覺藝術的基礎是繪畫的表現和技巧，而完美是通過不斷的實踐和奉獻來實現的。繪畫是藝術家和設計師表達的精髓。繪畫作為一種有效的交流和思考方式，在許多層面上運作，對於藝術家和設計師來說，不僅要理解這些差異，而且要在繪畫學科中達到一定的技能水平 (Ernest, 2006)。設計師在生成設計創意時往往會大量使用草圖，在創意設計過程的第一階段，特別重要的是使用繪圖和草圖尋找設計替代方案的過程，這對擴大設計思想的範圍具有積極作用，設計思維研究人員將這種素描活動視為激發創造性思維的一種手段。設計師與其草圖的互動被視為設計活動中創造力的必要條件(Van der Lugt, 2002)，繪圖的存在允許設計師同時考慮幾種替代設計理念(Tovey, 1989)。科技發展，原是為了造福人類的生活，但科技發展到一定程度，也回頭思考人的本質。人的本質脫離不了生活，生活脫離不了文化，文化脫離不了藝術。也因此，科技與藝術的結合，成為必然趨勢。繪圖，與模組塊組裝等其他空間構建任務一樣，可以深入了解個人如何復制陣

列的各個部分以及各個部分之間的關係以構建整體配置(Stiles, Akshoomoff, & Haist, 2013)，被認為是促進學生參與的生成性學習活動(Ligorio et al., 2016)。而人形具象繪畫(figurative drawings)長期以來一直為人工智慧領域相關研究中，作為研究分析常見的相關物件，並從中獲得有意義的成果(Minsky and Papert, 1972)。如何將 STEAM 教學策略融入在繪圖色彩認知課程中，則整體系統環境的考量與其對小學生學習成效的影響，即為本計畫所欲深究之方向。

二、研究目的

本計畫期望透過探討小學生的繪畫課程，以加強小學生對於色彩認知的學習經驗，並透過理論與體驗並重的教學原則之下，培養小學生學習色彩認知之基礎能力。並導入 STEAM 的策略，讓小學生能夠充分地感受基本跨領域課程知識的實用性以及重要性。為達成前述目的，以下將分別敘述本計畫應用於小學生繪圖色彩認知課程之教學環境及教學策略之規劃，其 STEAM 概念如 Figure 1 所示。



Figure 1：本計畫之 STEAM 概念-以畢卡索印象派畫作為例

本研究設計以畢卡索立體派描繪女人形象結合新古典派風格。並結合人工智慧與擴增實境技術應用於小學生繪圖色彩認知課程，並將 STEAM 教學策略以實際繪圖的活動形式呈現在教學課程之中。透過擴增實境的技術，讓小學生確實感受到真實環境中畫作的顏色原理，例如互補色、色彩混合、視錯覺等等。而不是單純的依靠老師塗鴉示範去提升小學生對於畫作的感受度。透過認識顏色以及線條、圖像對稱、密鋪平面、幾何形狀和視錯覺等等去培養小學生的色彩認知，讓小學生把某些想法或感受，透過各種不同的視覺表達方式來傳遞他們想表達的信息。本研究將 STEAM 教育策略導入此小學生繪圖色彩認知課程中，在已經打底好的草稿圖上，利用基本的色彩原理以及色彩認知去體會畫家們在創作時的意涵以及可以透過智慧眼鏡的人工智慧引導技術將草稿圖著色完成。同時老師也可以透過智慧眼鏡了解每位小學生的學習過程，針對學習狀況不佳的小學生，可以給予適當的幫助與指導。總體目標乃針對「十二年國民基本教育課程綱要」之藝術領域核心素養基本理念，透過實踐學習構面的藝術參與，以國民小學的藝術領域(3)為課程目標，提出並實現了一個基於 AI 輔助學習之兒童數位藝術能力培養系統，並用於繪圖色彩認知教學。本研究目標如下：

1. AI 輔助學習之兒童數位藝術能力培養系統是否能提升國小學生在藝術課中的學習動機，以及 STEAM 中 ART 的色彩美感。
2. AI 輔助學習之兒童數位藝術能力培養系統是否能提升國小學生之繪畫表現能力？

貳、研究方法

一、各年進度

在計畫中，擬依照不同的計畫年度，依序完成結合人工智慧、擴增實境技術與 STEAM 教學策略之繪圖色彩認知課程的建置工作，並逐步進行系統測試及功能驗證，接著進行課程的試教與現場教學策略的修正，以發展能適用各色彩認知應用教育的教學教材為主，並探討其對結合人工智慧、擴增實境技術與 STEAM 教育策略的繪圖色彩認知課程學習成效之影響。在第一年的計畫中，本計畫將進行人工智慧與擴增實境技術融入繪圖色彩認知課程之開發，並將所開發教材系統化及建置繪圖色彩認知課程體驗環境，以便日後的課程實施與推廣。在第二年的部份，本計畫擬於台東某國小進行具 STEAM 教學策略之實驗的設計與開發，進一步修正及擴充，並且搭配第一年所開發的繪圖色彩認知課程以記錄小學生參與課程體驗細節，以評估小學生在完成結合人工智慧、擴增實境技術與 STEAM 教學策略之繪圖色彩認知課程後對於基礎色彩認知知識、STEAM 能力與學習動機是否有所提升。最後，將整合兩年的成果辦理成果發表活動，使本計畫之研究成果得以進一步推廣。以下將分別就本計畫之各計畫年度工作進行說明。Figure 2 為本計畫各年度流程圖。



Figure 2：本計畫各年度流程圖

參、文獻探討

一、STEAM 教育的中的科技藝術

STEAM 是一種發展中的教育模式，其中包含了科學(S)、技術(T)、工程(E)、藝術(A)、數學(M) 等傳統學術科目組織成一個框架，通過該框架來規劃綜合課程(Yakman, 2008)，其支持者聲稱，該框架提高了課堂教學創新的需求，更準確地說，它幫助打破傳統上學科之間的間隔限界。STEAM 和 STEM 之間的區別，在於前面的教育策略，基於 STEM 學科中添加藝術，它包含屬於人文、社會科學和美術的各種學科，能讓數學、科學、技術和工程對

學生更具吸引力和吸引力的方法，尤其是在 STEM 學科中傳統上代表性不足的學生(Peppler & Wohlwend, 2018)，他們的加入，強調了創造力在學生發展和學習中，被認為是進步和創新必不可少的重要性(Perignat & Katz-Buonincontro, 2019)。其的特點是尋求有意義的學習，激發學生的收斂思考（常見於 STEM 學科中）和發散思維（常見於藝術中）(Yakman & Lee, 2012)，而另一個特點是讓學生在學習和促進協作工作中發揮積極、建設性和關鍵的作用(Chien & Chu, 2018; Thuneberg et al., 2018)，旨在鼓勵學生構建個人價值，以及對科技學習的自我效能感、信心和動力(Clapp & Jimenez, 2016)，探索學習環境和連接多個學科的知識內容(Quigley et al., 2017)，對學生跨領域能力、職業興趣及學習態度的提升，具有積極影響，並發展出不同教育層次的創新教學實踐(Khine & Areepattamannil, 2019)，合併的藝術活動或產品不僅僅是為了在科學課中引入“樂趣”，而是旨在作為闡明科學概念並展示其與學生日常生活的相關性的一種手段(Ozkan & Topsakal, 2020)，同時改善學生對科學態度(Kim et al, 2014)和促進創造力和創新、批判性思維、同理心和有效溝通(Allina, 2018; Catterall, 2017)。

部分研究指出，STEAM 教育的基本障礙之一是教師在設計和提供綜合課程方面的準備水平過低。更具體地說，即教師缺乏對課程整合概念的理解(Radloff & Guzey, 2016)，缺乏構成 STEAM 首字母縮略詞的不同學科的知識和能力(Shin, & Han, 2011; Toma & Greca, 2018)，以及在選擇合適的主題、開發教育材料和/或評估學生學習方面的困難(Hong, 2016)。再加上先前 STEM 教育的發展政策，導致幾乎全世界的藝術教育質量都在下降從而對學生的學習產生了影響，無法給予他們的人文素養及完整的世界觀。近年來，學術界開始表現出興趣，鼓勵人文學科與科學技術密切聯繫，並將其作為人類發展的關鍵之一。這種對融合的探索響應了為新一代提供更全面教育的需求，不僅需要科學家和技術專家，還需要藝術專業人士，人文和社會科學，以捕捉和理解人類行為的細微差別和解釋(Hartley, 2017)。綜合藝術課程可以通過在學校課程中為藝術和設計提供更相關和有用的位置來創建可行的藝術宣傳。通過將其與數學和科學等其他課程相結合，這可能會增加在教育中獲得藝術的機會(Arts Education Partnership, 2018)。故本研究為提升藝術教育質量，所採用的 STEAM 教育策略，有別於以往的研究採用藝術整合至 STEM 學科當中，而是讓 STEM 學科用於藝術教育中的繪畫學習，學習適當的繪圖技巧可提高許多技術設計領域的有效性。它是視覺交流形式的一種輔助技能，被認為是工程專業必不可少的(Danilova, E.A. and Pudlowski, Z.J., 2009)，並且能提高人們對結構、形狀和周圍環境的思考，這在實現更好的設計結果方面提供了巨大的優勢(Białkiewicz, A., 2019)。同時，藝術實踐具有社會情感成分，包括自律和協作，這會顯著影響 K-12 學生的成績(Workman, 2017)。

二、擴增實境之創新學習應用

擴增實境(AR)是種使用計算機建模和模擬技術，將真實世界和虛擬世界進行有機融合，使人能夠與機械視覺或其他感官環境進行互動，帶來更好的真實感和更好的交互性(Madden, 2011)。它是一種 3D 技術，通過生成上下文信息層來增強使用者對現實的感知，從而改善使用者在現實世界中的感官感知(Cuendet et al., 2013)，亦或是一種在現實世界中疊加上虛擬物件的技術，讓人可以感受到虛擬物件在周圍現實中真實共存(Akçayir M and Akçayir G, 2017)，在大多數 AR 應用程式中，使用者主要透過智慧眼鏡(Başoğlu et al., 2017)、智慧手機、平板電腦等移動設備來接收虛擬圖像與模型(Arnaldi et al., 2018)，該技術已用於多個領域，例如遊戲(Aukstakalnis, 2017)；展覽(Schmidt and Steinicke, 2017)；工業裝配(Doshi et al.,

2017);醫療保健(McCarthy and Uppot, 2019);製造(Egger and Masood, 2020);維護(Siew et al., 2019)和學習程式設計與運算思維(Lin and Chen, 2020);其中,最有發展潛力的則是在教育領域(VanDerSchaaf et al., 2021)。該技術為學習者提供了卓越的教學機會,包括移動性、可視化、替代視角、多視角的比較、對比以及多視角的整合。通過相關的形成性評估機制,基於AR的學習顯著提高了學習者的成就和動機,並減少了他們的認知負擔(Muliyati et al., 2019)。因此AR被視為支持K-12教育教學和高等教育的最有前途的技術之一(The New Media Consortium, 2017),同時該技術的最新研究和開發,能使其能夠與機器學習、人工智慧、深度學習等其他技術概念相結合。

教育中的AR技術包括創新的教學和學習方式,彌合了物理世界和虛擬世界之間的差距,被認為是教育領域的一項必不可少的技術。大多數此類應用程式的設計和評估項目都根據多媒體學習的認知理論(Cognitive Theory of Multimedia Learning, CTML)和認知負荷理論(Cognitive Theory of Load)作為其開發的基礎(Mayer, 2009),並採用感官沉浸、導航和訊息操縱,來促進情緒中介,以改善學習過程和學習成果(Wu et al, 2013),幫助學生輕鬆地學習、處理和記住訊息。事實上,AR讓學習本身變得更加有趣,它也不限於特定的年齡組或教育水平,減少來自不同背景的參與者之間的語言障礙(Verlinden, 2012),從學前教育到大學,甚至在工作中,同樣適用,有助於提高學生的積極性、促進學生和作、發展空間技能和提高實務操作的任務表現(Radu, 2014),從而促進批判性思維、問題解決和溝通能力(Dunleavy et al, 2009)。它可以幫助學生輕鬆獲取、處理和記住訊息,使學習本身更具吸引力和樂趣,幾乎可以應用於任何學科,並具有一定的想像力(D. Roopa et al., 2021)。

三、從審美到創新：藝術在 STEAM 教育中的橋梁作用

藝術創作經歷了三個主要階段：傳統、機械與數位。工業革命帶來的技術進步使得傳統藝術形式逐漸被機械複製所取代,攝影技術與計算機技術的結合使藝術能夠廣泛地傳播給大眾,並衍生出不同的風格(Ozturk & Ozturk, 2022)。近年來,美國、日本、韓國、中國及歐盟等多個國家,開始在學前教育、小學及中學課程中推行科學與數學基礎的STEM教育,以創建一個創新型社會(Williams & Young, 2021)。審美教育是一種通過美學媒介來感染受教育者的情感教育。通過與現實的聯繫激發學生興趣,而不僅僅是僵化地教授基本理論。學校的美術教育是基於學科的藝術教育 (discipline-based art education, DBAE),通過美術課程讓學生學習美術的基礎知識、繪畫技能及藝術品鑒賞能力(Chalmers, 2019)。STEAM教育模糊了不同學科之間的界限,培養學生的創造性思維、實踐技能及獨立思考能力(Perignat & Katz-Buonincontro, 2019)。

在跨學科的STEAM教育中,通過藝術引導孩子學習科學、技術、工程和數學的知識。像是草圖繪製、知識探索、材料準備以及作品的創作與展示。在這個過程中,孩子們能夠將不同學科的知識有機結合,並以創意的方式進行表達(Barnes et al., 2020)。藝術融入STEAM教育中的主要目的是培養審美、創新及想像力相關的能力(Liao, 2019)。儘管藝術和STEM學科在某些方面存在差異。像是STEM偏向客觀分析與邏輯性,而藝術強調主觀表達、情感、直覺及獨特性。好奇心、正確觀察、多維度感知、空間思維及與他人有效合作皆為藝術與STEM學科的核心能力。STEAM的本質並不僅僅是將藝術融入STEM,而是一種更加富有創造力、以現實為導向的教育模式,其重點在於以問題或項目為基礎,培養學生的創造力及實踐能力(Henriksen et al., 2019)。繪圖中物體的相對位置、比例與視角,是構成繪圖視覺

空間特徵的重要因素(Ferretti & Marchi, 2021)，共同構建了作品的深度感與視野感。繪畫中的觀察視角、基線與比較特徵，反映了他們對空間概念的理解，這也是他們學習幾何的基礎(Hawes & Ansari, 2020)。通過評估兒童在繪畫中應用的觀察視角、基線及比較特徵，可以了解他們跨學科應用知識的能力。繪畫創作不僅涉及兒童繪畫技能的培養，也包括跨學科知識的應用(Ahmad et al., 2021)。台灣目前的建設目標對產業創新提出了更高的要求，而科學合理的教學方法則是培養和提升學生多層次實踐創新能力的重要環節。科學技術活動有助於發展左腦，而文學藝術活動則有助於發展右腦。審美欣賞活動可以促進右腦功能的開發，提升學生的形象思維和直覺思維能力，使其更具創造力(Liu, 2021)。

肆、系統架構

為了提升小學生繪畫能力，本研究提出 **AI 輔助學習之兒童數位藝術能力培養系統**，系統結合智慧眼鏡及邊緣運算的架構，透過智慧眼鏡將兒童所看到的影像傳輸至邊緣運算平台，使用 **Open CV**(G. Bradski et al., 2008)進行線稿辨識，以及使用 **pix2pix** (P. Isola et al., 2019)產生建議的色相配色，最後根據 **pix2pix** 生成的顏色計算調色比例，將建議的配色訊息回傳至智慧眼鏡，引導學生在繪畫同時進行色彩認知學習。系統架構如 Figure 3 所示。下介紹本研究採取的 AI 輔助上色方法。

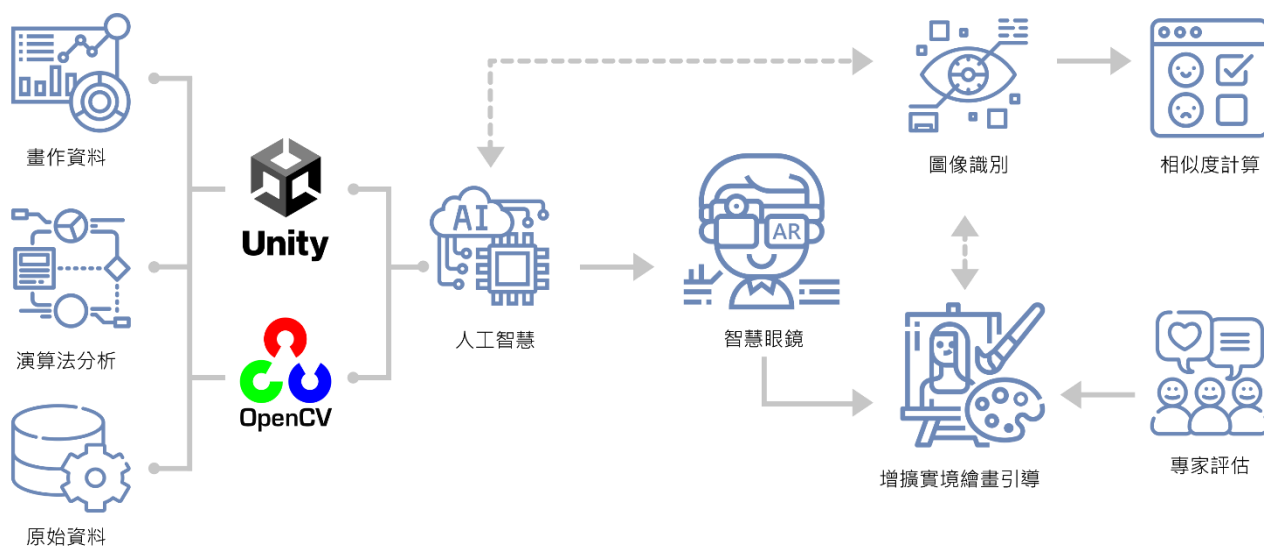


Figure 3：基於 AI 輔助學習的兒童數位藝術能力培養系統系統架構圖

當學習者戴上智慧眼鏡時，建議的 AR 配色影像並不會直接顯現，而是當學習者對於配色問題毫無頭緒時，按下 Figure 6 中的控制器按鈕後，系統才會提供建議的配色資訊以及調色比例(如 Figure 4 所示)。學習者可使用我們提前準備好的紅、藍、黃顏料三原色，搭配上黑白兩色去實際調出系統推薦的顏色(如 Figure 5 所示)。透過以上方式，引導及培育兒童學習色彩學的配色技巧，讓學習者未來面對不同顏色的色彩都能夠直覺的聯想到調色的方法以及配色的技巧。

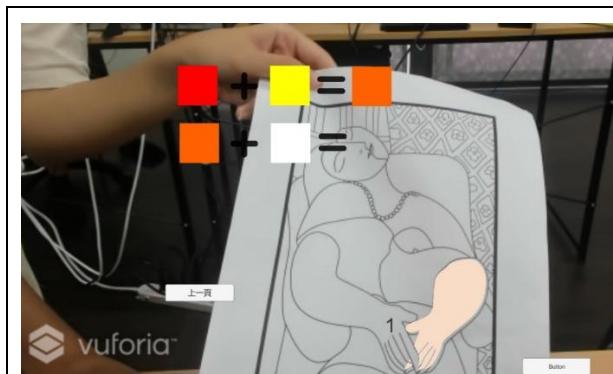


Figure 4：透過 AI 輔助引導學習者進行色彩認知學習，同時進行繪畫



Figure 5：透過顏料三原色(紅、藍、黃)並加上黑白兩色，以彌補三原色之不足

伍、實驗設計

本研究採準實驗研究法，以前後側的不等組實驗設計。研究對象為台灣的臺東市某國小四年級學生。以使用 AI 輔助學習之兒童數位藝術能力培養系統之實驗組學生 30 人，與未接受教學方案之控制組學生 30 人。測驗工具為想像力測驗、及繪畫表現能力評量。以「想像力」與「繪畫表現能力」做為依變項，並進行半結構化訪談，旨在了解學生在實驗過程上心理動機的影響。

想像力測驗採用 Torrance Tests of Creative Thinking (Torrance, 1992)之前、後測得分為評定標準。主要內容為圖形聯想之能力，以及構成新圖像(或是故事)時的操弄心象之能力。其中內容如下：請受測者根據三個不同的立體幾何圖形，運用想像力創作出一個新的作品，創作內容不限定，可以是圖像、發明產品、故事情節等，並針對創作的內容加以命名與解釋。

而繪畫表現能力則以受試者之繪畫作品在繪畫表現能力評量中之前、後測得分為評定標準。其中又分成(1)藉由 AI 輔助學習系統進行繪畫完成後之相似度計算得分;(2)為專家評量。標準則交由具有國小視覺藝術領域豐富教學經驗之教師，以及兒童繪畫比賽專業評審共同檢核，綜合各方意見完成最後修訂版本，以做為判斷本研究之兒童繪畫表現的依據。兒童繪畫表現能力乃由三位評分者針對學生繪畫作品進行評分，評分前充分了解評量標準並達成共識後再進行個別評分，評量內容共包含三項指標：審美力與豐富性、想像力與創造性、童趣感與純真性，其 Cronbach $\alpha = .944$ ，顯示為在繪畫表現能力上的評分具有良好一致性信度。



Figure 6：實驗組學習者實際透過智慧眼鏡進行繪畫

陸、結果與討論

兩組學生進行「Torrance Tests of Creative Thinking」單因子共變數分析，結果如 Table 1 所示：獨創力 ($F_{(1,46)}=10.23$, $p=.003$)、變通力 ($F_{(1,46)}=7.30$, $p=.010$)、標題抽象性 ($F_{(1,46)}=4.87$, $p=.033$)、想像力總分 ($F_{(1,46)}=12.89$, $p=.001$)、想像力效標總分 ($F_{(1,46)}=4.22$, $p=.046$)，各項目皆達顯著差異。結果指出，接受 AI 輔助學習之兒童數位藝術能力培養系統實驗組學生在獨創力、變通力、標題抽象性及效標總分的表現上顯著高於控制組，並達顯著差異。接受 AI 輔助學習之兒童數位藝術能力培養系統的實驗組學生在上述指標的想像力表現上優於控制組。本研究開發之 AI 輔助學習之兒童數位藝術能力培養系統特別注重激發學生進行想像的動機，透過多元豐富的 AR 影像來累積學生的視覺經驗，並引導學生觀察、思考並進行創作，多樣化且新穎的視覺刺激有助於提升學生在圖形想像中的獨創力，此外，本系統採用畢卡索在立體派時期的畫作為練習內容，以幾何圖形表現在畫作之上，正好與「Torrance Tests of Creative Thinking」之變通力評分三面向：圖形組合/構圖方式、圖形變化、圖形運用相互呼應，有助於提升學生變通力表現，可由實驗組學生在變通力得分顯著優於控制組學生之研究結果獲得支持。

Table 1：兩組受試 Torrance Tests of Creative Thinking 之單因子共變數分析摘要表

Source	Type I Sum of Squares	df	Mean Squares	F
獨創力 Originality	9.78	1	9.78	10.23**
變通力 Flexibility	15.95	1	15.95	7.30**
標題抽象性 Headings abstract	2.84	1	2.84	4.78*
想像力總分 Total creativity	77.53	1	77.53	12.89***
想像力校標總分 The Criterion Validity of total creativity	24.08	1	24.08	4.22*

* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$.

兩組學生在繪畫表現能力上的描述性統計量(包括前測、後測平均數、標準差及調整後平均數)如 Table 2 所示，實驗組學生在繪畫表現能力總分的後測平均數($M=92.93$, $SD=2.27$)高於控制組學生的後測平均數($M=91.25$, $SD=2.92$)。此外，透過單因子共變數分析(ANCOVA)，以控制前測變異的影響，結果顯示實驗變項的操弄對繪畫表現能力具有顯著效果，證明接受實驗干預的實驗組在繪畫表現能力上顯著優於控制組。

Table 2：「繪畫表現能力」兩組前後測平均數、標準差、調整後平均數摘要表

繪畫表現能力總分 of drawing performance	Total score	Pre-test Mean (SD)	Post-test Mean (SD)	Adjusted Meanc	95% CI
Experiment group (N=30)		90.25 (2.85)	92.93 (2.27)	93	[91.97, 93.89]
Control group (N=30)		90.43 (2.42)	91.25 (2.92)	91.18	[90.02, 92.48]

Table 3 為單因子共變數分析得知實驗組與控制組學生之繪畫表現能力總分 ($F_{(1,46)} = 14.88, p = .000$)，達到顯著水準。由此可知，接受 AI 輔助學習之兒童數位藝術能力培養系統之實驗組學生在繪畫表現能力上顯著高於控制組學生，故研究假設可獲得支持。

Table 3：「繪畫表現能力」之單因子共變數分析摘要表

Source	Type I Sum of Squares	df	Mean Squares	F
Total score of drawing performance	33.89	1	33.89	14.888**

* $p < .05$. ** $p < .01$. *** $p < .001$.

本研究的半結構化訪談結果分為三個次要主題：渴望新體驗、心理穩定、提高創造與聯想能力。

❖ 渴望新體驗

多數學生表示，本研究設計的活動激發了他們的好奇心和對新體驗的渴望。

「我很喜歡學習新東西，這讓我的想法變得更開闊，能學到更多知識。每次我學到新東西時，我都覺得很快樂，感覺很舒服，從來不會覺得無聊或厭煩。」(學生 A)

「我喜歡學習新事物，雖然有時候也會厭倦，甚至會遇到一些困難，但這些都不是大問題，我覺得這可能對我有幫助。」(學生 B)

這些回應顯示出，本研究的科技輔助活動能有效促進學生對新知識的渴望，並幫助他們保持積極的學習態度。

❖ 心理穩定

訪談結果顯示，本研究設計的學習活動讓學生在心理上感到舒適和愉快，從而提供了一個有助於學習的正面情緒環境。

「當我學到新東西時，我感到非常開心，這意味著我達到了自己的目標。這是一個快樂的經歷，讓我為自己感到驕傲。」(學生 C)

「無論活動是簡單還是困難，它都是非常有趣的，可以讓我們用目前學到的科學知識去結合」(學生 D)

這些觀點表明，透過精心設計的學習活動，學生能夠在正面的心理環境中學習，這有助於提升他們的學習動機。

❖ 提高創造與聯想能力

從訪談中得知，本研究活動幫助學生提升了創造力、順序性思維以及關聯性思考的能力。遵循科學步驟有助於他們在面對挑戰時進行邏輯思考。學生 E 描述了他如何運用系統的提示來解決問題：

「當我遇到一個地方不知道要畫什麼顏色時，我按下按鈕，系統提示了我顏色選擇；下一次遇到相似情況時，我會先想到之前的提示顏色。」(學生 E)

表明學生在學習過程中不僅學會了解決具體問題的方法，還加強了應用知識和創造性思考的能力。

半結構化訪談整理得知，本研究設計的活動有助於激發學生對新知識的渴望，增強心理上的舒適感，並提升創造力和聯想力，這些因素共同作用，有效促進了學生的學習動機。透過科技輔助的教學環境，學生對學習保持積極態度，並在過程中增強了創新思維與邏輯能力。

柒、結論與建議

本研究旨在探討如何運用人工智慧(AI)技術與擴增實境(AR)的輔助來提升小學生的繪圖色彩認知及創造力，並驗證透過提升想像力的方式，增強學生的繪畫能力及對色彩的理解。研究結果顯示，AI 輔助學習系統在提升學生的色彩認知及繪畫表現方面成效顯著，實驗組學生在色彩運用、繪圖創造力及表現能力的後測得分明顯高於控制組。此外，本研究特別強調如何通過提升想像力來增強學生的色彩認知，通過擴增實境技術提供豐富的圖像、色彩效果及互動元素等多元化的視覺刺激，除了能有效激發學生的想像力，還能幫助他們在腦中構建色彩與圖像的聯想。

在繪畫過程中，學生戴上智慧眼鏡，當面對色彩搭配的困難時，可以獲得系統建議的顏色搭配，這種方式促使學生對色彩的應用有更深入的理解，同時又不完全依賴建議，保持了自主學習和發揮想像的空間。此外本研究採用了「Torrance Tests of Creative Thinking」來測量學生的想像力，並以畢卡索的立體派作品作為繪圖素材依據，讓學生通過模仿和創作這些作品，進一步增強其色彩認知和想像力。學生在繪製立體派畫作的過程中，運用了幾何圖形和色彩搭配的技巧，不僅提升了他們對色彩基本概念的理解，也增強了對藝術作品的創造性詮釋能力。這些圖形的應用和改變與學生在想像力測驗中的表現相互呼應，讓學生在變通力、獨創力、及標題抽象性等方面均有所提升。

未來可以嘗試深化個性化學習輔導，使其根據每個學生的學習進度和需求，提供更加精確的學習引導，從而最大化學生的學習成果和創造力。其次，擴展教學對象與場景，考慮將本系統應用於不同年齡層和學習背景的學生，甚至偏遠地區的藝術教育中，以評估不同學生群體的反應並探索多元教育場景的應用潛力。此外，可以進一步探索 AI 和 AR 技術在其他學科（如科學、數學等）中的應用，以提升跨學科學習能力，促進全面素養教育的發展。強化師生互動，設計更多基於 AI 和 AR 的互動功能，幫助教師即時了解學生的學習狀況，進行更有效的干預和輔導，提升教學的靈活性和成效。透過擴增實境的應用，讓學生在繪圖過程中實際感受到真實環境中色彩的原理，例如色彩混合、視錯覺和互補色等，使色彩的學習變得具體而生動，這有效增強了他們對色彩認知的理解深度。結合 AI 技術和擴增實境的輔助教學模式，讓學生能夠在自主創作中不斷探索、嘗試，並在面對挑戰時通過系統的引導獲得幫助。這樣的學習過程不僅提高了學生的繪畫表現能力，還通過多樣化且有趣的創作過程，促進了他們的學習動機和興趣。

捌、參考文獻

- Akçayir M, Akçayir G. (2017). Advantages and challenges associated with augmented reality for education: a systematic review of the literature. *Educat Res Rev*, 20, 1-11.
https://doi.org/10.1016/j.edurev.2016.11.002
- Allina, B. (2018). The development of STEAM educational policy to promote student creativity and social empowerment. *Arts Education Policy Review*, 119(2), 77-87. <https://doi.org/10.1080/10632913.2017.1296392>
- Arnaldi, B., Guitton, P., Moreau, G. (2018). *Virtual Reality and Augmented Reality: Myths and Realities*, John Wiley & Sons: Hoboken, NJ, USA.
- Arts Education Partnership. (2018). *Preparing educators and students for effective arts Integration*.
- Aukstakalnis, S. (2017). *Practical Augmented Reality: A Guide to the Technologies, Applications, and Human Factors for AR and VR*. Hoboken: Pearson Education, Inc.
- Başoğlu, A. N., Ok, A. E., and Daim, T. U. (2017). What will it take to adopt smart glasses: A consumer choice based review? *Technology in Society*, 50, 50-56.
doi:10.1016/j.techsoc.2017.04.005
- Białkiewicz, A. (2019). Education of architects: historical and contemporary aspects of teaching freehand drawing. *WorldTrans. on Engng. and Technol. Educ.*, 17(1), 17-22.
- Bradski, G., & Kaehler, A. (2008). *Learning OpenCV: Computer vision with the OpenCV library*. " O'Reilly Media, Inc."
- Catterall, L. G. (2017). A brief history of STEM and STEAM from an inadvertent insider. *The STEAM Journal*, 3(1), 1-13. <https://doi.org/10.5642/steam.20170301.05>
- Chien, Y.-H., & Chu, P.-Y. (2018). The different learning outcomes of high school and college students on a 3d-printing STEAM engineering design curriculum. *International Journal of Science and Mathematics Education*, 16(6), 1047-1064. <https://doi.org/10.1007/s10763-017-9832-4>
- Clapp, E. P., & Jimenez, R. L. (2016). Implementing STEAM in maker-centered learning. *Psychology of Aesthetics, Creativity, and the Arts*, 10(4), 481-491. <https://doi.org/10.1037/aca0000066>
- Cuendet S, Bonnard Q, Do-Lenh S, Dillenbourg P. (2013). Designing augmented reality for the classroom. *Computers & Education*, 68. 557-569. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.015>.
- D. Roopa, R. Prabha, G.A. Senthil (2021). Revolutionizing education system with interactive augmented reality for quality education. *Materials Today: Proceedings*, 46(9), 3860-3863.
- Danilova, E.A. and Pudlowski, Z.J. (2009). The visual world of engineers: exploring the visual culture of engineering as an essential element of communication from design to production. *Inter. J. of Engng. Educ.*, 25(6), 1212-1217.
- Doshi, A., Smith, R.T., Thomas, B.H., Bouras, C. (2017). Use of projector based augmented reality to improve manual spot-welding precision and accuracy for automotive manufacturing. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, 89 (5-8), 1279-1293. <https://doi.org/10.1007/s00170-016-9164-5>.

- Dunleavy M, Dede C, Mitchell R. (2009). Affordances and Limitations of Immersive Participatory Augmented Reality Simulations for Teaching and Learning. *J Sci Educ Technol*, 18. 7-22. <https://doi.org/10.1007/s10956-008-9119-1>.
- Education, W. A. f. A. (2019). Frankfurt Declaration for arts education November 2019. Retrieved from <https://waae-conference.jimdofree.com/>
- Egger J, and Masood T. (2020). Augmented reality in support of intelligent manufacturing -A systematic literature review. *Computers & Industrial Engineering*, 140. <https://doi.org/10.1016/j.cie.2019.106195>
- Ernest, P. (2006). A Semiotic Perspective of Mathematical Activity: The Case of Number. *Educ Stud Math*, 61, 67–101. <https://doi.org/10.1007/s10649-006-6423-7>
- Gilbert, R. (1998). *Living with Art (5th Edition)*. New York: McGraw- Hill, Inc.
- H. VanDerSchaaf, T. Daim, N. Basoglu (2021). Factors Influencing Student Information Technology Adoption, *IEEE Transactions on Engineering Management*, doi: 10.1109/TEM.2021.3053966.
- Hartley, S. (2017). *The fuzzy and the techie: Why the liberal arts will rule the digital world*. Boston: Hartley Global, LLC.
- Hong, O. (2016). STEAM education in Korea: Current policies and future directions. *Asian Research Policy*, 8(2), 92–102
- Isola, P., Zhu, J. Y., Zhou, T., & Efros, A. A. (2017). Image-to-image translation with conditional adversarial networks. In Proceedings of the IEEE conference on computer vision and pattern recognition (pp. 1125-1134).
- Khine, M. S., & Areepattamannil, S. (2019). *STEAM education. Theory and practice*. Springer. <https://doi.org/10.1007/978-3-030-04003-1>
- Kim, D.H., Ko, D.G., Han, M.J., & Hong, S.H. (2014). The effects of science lessons applying STEAM education program on the creativity and interest levels of elementary students. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 34(1), 43–54.
- Ligorio, M. B., Schwartz, N. H., D'Aprile, G. & Philhour, D. (2016). Children's representations of learning through drawings. *Learning, Culture and Social Interaction* 12 (2017), 133-148.
- Lin PH, and Chen SY. (2020). Design and evaluation of a deep learning recommendation based augmented reality system for teaching programming and computational thinking, *IEEE Access*, 8, 45689-45699.
- Madden, L. (2011). *Professional Augmented Reality Browsers for Smartphones: Programming for Junaio, Layar & Wikitude*. Wiley Publishing, Inc.
- Makowska, B. (2012). The Importance of Drawing and Painting Education in the Development of a Future Architect in the Age of Digital Technologies. *Journal of Teaching and Education*, 1(5), 131–135.
- Mayer, R. E. (2009). *Multimedia learning* (2nd ed.). New York: Cambridge University Press.
- McCarthy C., and Uppot R. (2019). Advances in Virtual and Augmented Reality – Exploring the Role in Healthcare Education. *J Radiol Nurs*, 38(2), 104-5. <https://doi.org/10.1016/j.jradnu.2019.01.008>.
- Minsky, M. and Papert, S. A. (1972). *Artificial intelligence progress report*. Massachusetts Institute of Technology.

- Morkeh, R.A (2011). *Masters of Arts. (Art Education)*, Department of General Art Studies.
- Muliyati D, Backi F, Ambarwulan D (2019). The design of sound wave and optic marker for physics learning based-on augmented reality technology. *Journal of Physics: Conference Series*. <https://doi.org/10.1088/1742-6596/1318/1/012012>.
- OECD. (2016). Global Competency for an Inclusive World. Retrieved from <http://globalcitizen.nctu.edu.tw/wp-content/uploads/2016/12/2.-Global-competency-for-an-inclusive-world.pdf>
- Ozkan, G., & Topsakal, U. U. (2020). Investigating the effectiveness of STEAM education on students' conceptual understanding of force and energy topics. *Research in Science & Technological Education*. DOI: 10.1080/02635143.2020.1769586.
- Peppler, K., & Wohlwend, K. (2018). Theorizing the nexus of STEAM practice. *Arts Education Policy Review*, 119(2), 88–99. <https://doi.org/10.1080/10632913.2017.1316331>
- Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking Skills and Creativity*, 31, 31–43. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.10.002>
- Quigley, C. F., Herro, D., & Jamil, F. M. (2017). Developing a conceptual model of STEAM teaching practices. *School Science and Mathematics*, 117(1–2), 1–12. <https://doi.org/10.1111/ssm.12201>
- Quillin, K. and Thomas, S. (2015). Drawing-to-Learn: A Framework for Using Drawings to Promote Model-Based Reasoning in Biology. *CBE Life Science Education*. Mar 2; 14(1): es2.
- Radloff, J., & Guzey, S. (2016). Investigating preservice STEM teacher conceptions of STEM education. *Journal of Science Education and Technology*, 25(5), 759–774. <https://doi.org/10.1007/s10956-016-9633-5>
- Radu I. (2014). Augmented reality in education: a meta-review and cross-media analysis. *Pers Ubiquitous Comput*, 18(6). 1533-1543. <https://doi.org/10.1007/s00779-013-0747-y>.
- Schmidt, S., Steinicke, F. (2017). A Projection-Based Augmented Reality Setup for Blended Museum Experiences. *ICAT-EGVE (Posters and Demos)*, pp. 5-6.
- Shin, Y., & Han, S. (2011). A study of the elementary school teachers' perception in STEAM (science, technology, engineering, arts, mathematics) education. *Journal of Korean Elementary Science Education*, 33(4), 514–523. <https://doi.org/10.15267/keses.2011.30.4.514>
- Siew CY, Ong SK, Nee AYC. (2019). A practical augmented reality-assisted maintenance system framework for adaptive user support. *Robot Comput-Integrated Manuf*, 59. 115-29. <https://doi.org/10.1016/j.rcim.2019.03.010>.
- Stiles, J., Akshoomoff, N., & Haist, F. (2013). The Development of visuospatial processing. In J. L. R. Rubenstein & P. Rakic (Eds.), *Comprehensive developmental neuroscience: Neural circuit development and function in the brain* (Vol. 3, pp. 271–296). Amsterdam: Elsevier.
- The New Media Consortium (2017). The NMC/CoSN Horizon Report: 2017 K-12 Edition. Available online on <https://library.educause.edu/~media/files/library/2017/11/2017hrk12EN.pdf>.
- Thuneberg, H. M., Salmi, H. S., & Bogner, F. X. (2018). How creativity, autonomy and visual reasoning contribute to cognitive learning in a STEAM hands-on inquiry-based math module. *Thinking Skills and Creativity*, 29, 153–160. <https://doi.org/10.1016/j.tsc.2018.07.003>

- Toma, R. B., & Greca, I. M. (2018). The effect of integrative STEM instruction on elementary students' attitudes toward science. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 14(4), 1383–1395. <https://doi.org/10.29333/ejmste/83676>
- Torrance, E. P., Ball, O. E., & Safter, H. T. (1992). *Torrance tests of creative thinking: Streamlined scoring guide*. Figural A and B. Bensenville, IL: Scholastic Testing Service.
- Tovey, M.J. (1998). "Drawing and CAD in industrial design". *Design Studies*, 10(1), 24-34.
- UNESCO. (2010). Seoul Agenda: Goals for the Development of Arts Education Retrieved from <http://www.unesco.org/new/fileadmin/MULTIMEDIA/HQ/CLT/CLT/pdf/>
- United Nations Education, S. a. C. O. (2016). Incheon Declaration-Education 2030: Towards Inclusive and Equitable Quality Education and Lifelong Learning for All. Retrieved from <http://uis.unesco.org/en/files/education-2030-incheon-frameworkaction-implementation-sdg4-2016-en-pdf-1>
- Van der Lugt, R. (2002), Brain sketching and how it differs from brainstorming. *Creativity and Innovation Management*, 11(1), 43-54.
- Verlinden, J.C. (2012). Augmented prototyping: Augmented reality to support the design process. *AR[t] Augmented Reality, Art and Technology 1* (2), 62–71.
- Workman, E. (2017). *Beyond the core: Advancing student success through the arts*. Education Commission of the States. [https://www.ecs.org/wp-content/uploads/Beyond the Core Advancing student success through the arts.pdf](https://www.ecs.org/wp-content/uploads/Beyond_the_Core_Advancing_student_success_through_the_arts.pdf)
- Wu H, Lee SW, Chang H, Liang JC. (2013). Current status, opportunities, and challenges of augmented reality in education. *Computers & Education*, 62. 41-49. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2012.10.024>.
- Yakman, G. (2008). *STEAM education: An overview of creating a model of integrative education* [paper presentation]. Pupils' Attitudes Towards Technology (PATT-19) Conference: Research on Technology, Innovation, Design & Engineering Teaching, Salt Lake City, Utah: USA. http://www.steamedu.com/2088_PATT_Publication.pdf
- Yakman, G., & Lee, H. (2012). Exploring the exemplary STEAM education in the US as a practical educational framework for Korea. *Journal of the Korean Association for Science Education*, 32(6), 1072–1086. <https://doi.org/10.14697/jkase.2012.32.6.1072>
- Liu, M. (2021). Aesthetic Education and Cultivation of Innovative Talents Based on Aesthetic Needs.
- Chalmers, F. G. (2019). Culturally based versus universally based understanding of art. In *Art, Culture, and Pedagogy* (pp. 9-16). Brill.
- Perignat, E., & Katz-Buonincontro, J. (2019). STEAM in practice and research: An integrative literature review. *Thinking skills and creativity*, 31, 31-43.
- Ferretti, G., & Marchi, F. (2021). Visual attention in pictorial perception. *Synthese*, 199(1), 2077-2101.
- Barnes, J., FakhrHosseini, S. M., Vasey, E., Park, C. H., & Jeon, M. (2020). Child-robot theater: Engaging elementary students in informal STEAM education using robots. *IEEE Pervasive Computing*, 19(1), 22-31.
- Ahmad, D. N., Astriani, M. M., Alfahnum, M., & Setyowati, L. (2021). Increasing creative thinking of students by learning organization with steam education. *Jurnal Pendidikan IPA*

Indonesia, 10(1), 103-110.

Krichker, D. (2021). Making sense of borderscapes: Space, imagination and experience. *Geopolitics*, 26(4), 1224-1242.

Hawes, Z., & Ansari, D. (2020). What explains the relationship between spatial and mathematical skills? A review of evidence from brain and behavior. *Psychonomic bulletin & review*, 27, 465-482.

Ozturk, M. U., & Ozturk, M. S. (2022). The analysis of fine arts students' social media awareness levels related to appearance. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 10(3), 722-739.

Williams, A. M., & Young, J. (2021). Reliability generalization meta-analyses in mathematics education research: A research synthesis. *International Journal of Education in Mathematics, Science and Technology*, 9(4), 741-759.

Henriksen, D., Mehta, R., & Mehta, S. (2019). Design thinking gives STEAM to teaching: A framework that breaks disciplinary boundaries. *STEAM education: Theory and practice*, 57-78.