

虛擬實境應用於教學對臺灣學生情意及技能成效影響之後設分析

廖遠光^{1,*}

摘要：虛擬實境 (virtual reality, VR) 已廣泛應用於娛樂、遊戲、醫療、訓練等領域。1990 年代 VR 開始導入 K-12 及大專院校的教學，而有關探討 VR 學習成效的研究也開始大量發表，相關之後設分析陸續產出。國內有關 VR 學習成效的實徵研究大約始於 2000 年，至今已有超過 1,700 篇的相關文獻，但尚未有任何統整性的研究特別聚焦於 VR 對學生學習的整體影響。本研究以後設分析探討 VR 對學生情意及技能成效的影響。經嚴謹篩選後共有 35 篇研究納入本後設分析，其中 35 篇探討情意成效、八篇探討技能成效（有七篇同時提供兩種成效）。研究結果顯示無論是採用固定效果模式 ($g^+ = 0.48$) 或是隨機效果模式 ($g^+ = 0.57$)，VR 教學的情意成效都顯著優於非 VR 教學。而在技能成效部分，固定效果模式顯示 VR 教學顯著優於非 VR 教學 ($g^+ = 0.64$)，但隨機效果模式發現，VR 教學雖優於非 VR 教學 ($g^+ = 0.56$) 但未達顯著差異。此外，在情意成效的調節變項分析方面，八個變項中僅有兩個（學習階段與出版型式）達顯著效果。本後設分析提供了以累積研究為本 (accumulated research-based) 的數據，證實應用 VR 於教學對學生之情意及技能成效確實有正面的影響。研究結果對教師、未來的研究者及 VR 的設計者應有相當的參考價值。

關鍵字：虛擬實境、情意效果、技能效果、後設分析、K-12 教育

A Meta-Analysis of Applying Virtual Reality in Teaching on Taiwan Students' Affective and Skill Outcomes

Liao, Yuen-Kuang^{1,*}

Abstract: Virtual reality (VR) is widely used in entertainment, games, medical treatment, employment training, and other fields. In the 1990s, VR was introduced into K-12 and higher education. Research on the effectiveness of VR learning has been widely published, and related meta-analyses have been conducted. In Taiwan, empirical research on the effectiveness of VR learning began in approximately 2000, and more than 1,700 related articles have been published, but no comprehensive research has focused on the overall impact of VR on student learning. This study explored the impact of VR on students' affective and skill outcomes. A total of 35 studies were included in this meta-analysis, of

投稿日期：2022 年 11 月 10 日；通過日期：2023 年 1 月 26 日。

本論文感謝兩位匿名評審的修正意見，文中言論由作者自行負責。

¹ 中國文化大學師資培育中心教授

* 通訊作者：廖遠光，E-mail：yliao2009@gmail.com

which 35 explored affective outcomes and eight explored skill outcomes (seven examined both). The results demonstrated that VR teaching was significantly more effective than non-VR teaching when either a fixed-effects model ($g^+ = 0.48$) or a random-effects model ($g^+ = 0.57$) was employed for analysis. Regarding skill outcomes, the fixed-effects model indicated that VR teaching was significantly more effective than non-VR teaching ($g^+ = 0.64$), whereas the random-effects model indicated that VR teaching was not significantly more effective than non-VR teaching ($g^+ = 0.56$). In addition, in moderating variable analysis of the affective outcome, only two of the eight variables examined (learning stage and publication type) were found to be significant. This meta-analysis provides accumulated research-based data demonstrating that the use of VR in teaching positively influences Taiwanese students' affective and skill outcomes. The results of the study will be of considerable reference value to teachers, future researchers, and VR designers.

Keywords: virtual reality, affective outcomes, skill outcomes, meta-analysis, K to 12 education

壹、研究動機與問題

將資訊科技融入教學與學習是近數十年來教育的趨勢，從 1960 年代的電腦輔助教學開始，以至近 20 年的線上學習、行動學習等都是朝著這個趨勢發展。拜沉浸式介面與 3D 數位科技快速與蓬勃的發展所賜，虛擬實境 (virtual reality, VR) 從早期僅用於娛樂與遊戲產業的角色，逐步進入教育與訓練的場域。飛行模擬乃是應用 VR 於機師或飛行員訓練最有名的範例 (Hawkins, 1995)，其後有些研究將 VR 應用於建築設計 (Freitas & Ruschel, 2013)、救生訓練 (Feng et al., 2018)、醫療手術 (Escobar-Castillejos et al., 2016) 等方向。1990 年代 VR 開始導入 K-12 及大專院校的教學，較知名的計畫如 Science Space、Safety World、GlobalChange、Virtual Gorilla Exhibit、AtomWorld 以及 Cell Biology (Youngblut, 1998)。而有關探討 VR 學習成效的研究也開始大量發表，

相關之後設分析也陸續產出，如：Avci 等人 (2019)、Merchant 等人 (2014)、Villena-Taranilla 等人 (2022)、B. Wu 等人 (2020) 及 Yu (2021)。這幾篇後設分析所選用之文獻皆以英文撰寫且以發表於國外期刊之研究為主，他們的研究發現對於探究 VR 的學習成效當然有其不可忽視的重要價值，對後續的研究者也產生了極具意義的引導作用。

大多數針對 VR 教學的後設分析，檢驗成效都聚焦於學業成就 (academic achievement)，比較少有後設分析關注學習者的情意成效 (affective outcome) 及技能成效 (skill outcome)，即使有也僅作為次要的研究目的。相較於其他數位科技，VR 重要的特質是能提供使用者身歷其境的經驗與感受，有些 VR 甚至提供了使用者角色扮演的選擇，此種以不同角色身歷其境的經驗足可讓參與者感受到各角色的內在感覺，進而引發其對於學習的內在意

向，如：學習動機、學習興趣、焦慮、信心、學習參與感、滿意度等，可統稱之為情意學習成效。因此有些 VR 的後設分析特別針對情意成效進行探討，如：Ventura 等人（2020）的研究，特別聚焦於如何透過 VR 以激發同理心。此外，由於 VR 也能提供使用者模擬操作的機會，但又不會讓使用者置身危險中，因此也被廣泛應用在技能的學習，如：飛行模擬練習。因此也有一些 VR 的後設分析特別強調技能學習的成效，如：Howard 與 Gutworth（2020）的後設分析探討應用 VR 來提升學習者的社交技能（social skills）。

國內有關 VR 學習成效的實徵研究大約始於 2000 年，本研究以中文篇名或關鍵詞：「虛擬實境」AND「情意 OR 態度 OR 動機 OR 興趣 OR 滿意 OR 技能」，查詢三個學術資料庫：「臺灣博碩士論文知識加值系統」、「華藝線上圖書館」、「臺灣期刊論文索引系統」；再以英文篇名或關鍵字「virtual reality OR VR」AND「affective OR attitude OR motivation OR interest OR satisfaction OR skill」，加上「Taiwan」為機構或歸屬國家／地區，自國外相關學術資料庫查詢，共獲得中英文相關文獻共 1,727 篇，數量相當可觀，然而國內至今尚未有一篇後設分析特別針對 VR 應用於教學對學生的情意及技能成效，以及相關影響因素進行探討。爰此，本研究以後設分析法探討以下問題：

- 一、應用 VR 於教學對學生情意學習的整體成效為何？
- 二、應用 VR 於教學對學生技能學習的整體成效為何？
- 三、哪些調節變項會影響 VR 應用於教學之情意學習的整體成效？

貳、文獻探討

一、VR 的定義與教育上的應用

許多學者曾對 VR 下過定義，早期如 Steuer（1992）將 VR 定義為一個可讓使用者產生臨場感的真實或模擬的情境。然而隨著科技的不斷推陳出新，VR 的定義也愈加精緻。Lopreiato 等人（2016）定義 VR 為「一種結合多元電腦應用程式且通常與沉浸及高度 3D 視覺化特徵相關聯，允許參與者在看似真實或實體的世界中探索和瀏覽的科技。」（頁 40）。2018 年美國國防部將 VR 定義為一個由模型或模擬呈現的環境，此一環境具互動性且能讓參與者透過觀賞與瀏覽增強其沉浸感；虛擬環境、虛擬世界都是 VR 的同義詞（Department of Defense, 2018）。雖然各學者對 VR 有不同的定義，但多數同意虛擬環境應包含三種特性：高度的 3D 影像、沉浸感、具備與虛擬情境互動的能力（Dickey, 2005; Hew & Cheung, 2010; Lopreiato et al., 2016; Mantovani et al., 2003; McCloy & Stone, 2001）。而在教育的應用上，Luo 等人（2021）指出，VR 以其能透過模擬實境創造沉浸式學習體驗的潛力，在 K-12 和高等教育環境中受到許多學者格外的關注（如：Makransky & Petersen, 2019; Patterson & Han, 2019; Suh & Prophet, 2018; Tilhou et al., 2020）。Omale（2010）也提出了一些 VR 在教育上的應用方式，如：允許使用者依據其教學內容來設計互動的環境、讓使用者從不同的視角觀看問題，且能設計在現實生活中可能具危險性的虛擬活動。

二、國外 VR 應用於情意及技能教學的後設分析

國外有關 VR 應用的後設分析絕大部分是探討病人復健 (rehabilitation) 的成效 (如: L. Chen et al. 2020; Howard, 2017)。少數用於醫學院學生的則專注於解剖學 (如: Yammine & Violato, 2015; Zhao et al., 2020)。特別以中小學及大專生為研究對象且聚焦於一般學科之後設分析數量也逐年增加, 可見 VR 的實徵研究在近幾年有逐步增加的趨勢。經搜尋各資料庫後發現以各級學生為研究對象之後設分析約有 17 篇, 而其中有涉及情意成效與技能成效的各為八篇與四篇, 茲分述如下。

(一) 情意成效

在探討 VR 之情意成效的八篇後設分析中, Ventura 等人 (2020) 的研究是唯一完全聚焦於情意成效的後設分析, 其餘七篇則是以檢測學業成就為主、情意成效為輔的後設分析。而又由於研究中可資分析情意成效之實徵研究的篇數較少, 因此多數未進行調節變項的分析。以下簡介這八篇後設分析研究。

X. Chang 與 Wu (2021) 以應用沉浸式球形視頻的虛擬實境 (immersive spherical video-based virtual reality, SVVR) 於教學為研究目標, 收集到 16 篇研究進行後設分析, 包含 58 個 effect size (ES), 其中 35 個 ES 評估情意成效。結果顯示在情意成效部分, SVVR 顯著地優於其他教學方式 ($ES = 0.68, 95\%CI = [0.47, 0.89]$)。然而本研究在調節變項的分析上並未將認知成效與情意成效分開處理, 因此無法確認各變項對情意成效的可能影響。

F.-Q. Chen 等人 (2020) 的後設分析

特別聚焦在 VR 對護理教育學習成效。該研究收集了發表於 2008 年至 2019 年間的 12 篇研究進行分析。結果顯示, 在學生滿意度及信心方面, VR 教學與其他教學方式未達顯著差異 (滿意度 $ES = 0.01, 95\%CI = [-0.79, 0.80]$; 信心 $ES = 0.00, 95\%CI = [-0.28, 0.27]$)。且兩項分析各僅有四篇研究, 因此未進行調節變項的分析。

B. Chen 等人 (2022) 的後設分析聚焦 VR 教學應用於語言的學習。該研究收集 21 篇發表於 2010 年至 2021 年間的相關研究。結果發現, 在情意成效上共有八篇研究, VR 教學的成果顯著優於其他教學法 ($ES = 0.57, 95\%CI = [0.31, 0.83]$)。調節變項包含對照組、教學階段、VR 類型、目標語及第一或第二語言, 分析結果顯示, 五個變項皆未達顯著影響。

Guo 等人 (2021) 的後設分析研究, 目標是探討沉浸式虛擬實境 (immersive virtual reality, IVR) 對 K-12 及高等教育學生的學習成效。該研究收集了 45 篇發表於 2010 年至 2021 年間的實驗研究。研究結果發現在情意成效方面, 學習動機 ($ES = 0.70, 95\%CI = [0.40, 0.89]$)、學習態度 ($ES = 0.87, 95\%CI = [0.48, 1.24]$)、學習興趣 ($ES = 1.32, 95\%CI = [0.26, 0.27]$), 三項皆達顯著結果, 顯示 VR 教學的情意成效顯著優於其他教學法。

Kyaw 等人 (2019) 之後設分析探討應用 VR 在健康專業教育的成效。該研究共收集了 31 篇發表於 1990 年至 2017 年的實驗研究, 其中僅有八篇檢測學習態度, 12 篇探討學習滿意度。結果顯示, 在學習態度及學習滿意度上, VR 教學與其他教學法的成效未達顯著。

Ventura 等人 (2020) 的後設分析主要在探討如何透過 VR 以激發同理心 (empathy)。該後設分析收集了七篇發表於 2009 年至 2018 年的研究，結果顯示，應用 VR 可以顯著地提升使用者的透視心 (perspective taking；指的是採納他人觀點的能力) ($d^+ = 0.51$, $95\%CI = [0.15, 0.88]$)，但無法顯著激發同理心 ($d^+ = 0.21$, $95\%CI = [-0.37, 0.79]$)。

Yu (2021) 的後設分析收集了 43 篇 (145 個 ES) 發表於 1993 年至 2020 年間之有關 VR 成效的實驗研究。此研究將情意成效細分為焦慮、信心、創意、學習態度、學習參與度、學習興趣、學習動機、滿意度及自我效能等九類。結果顯示僅有信心 ($ES = 2.46$, $95\%CI = [1.95, 2.96]$)、學習興趣 ($ES = 3.61$, $95\%CI = [0.52, 6.70]$) 與學習動機 ($ES = 0.50$, $95\%CI = [0.16, 0.84]$) 三類達顯著結果，亦即 VR 教學在上述三類情意成效顯著優於其他教學法。然而由於其他六類未達顯著，因此整體而言，VR 教學的情意成效是未有定論的。

Zhao 等人 (2020) 的後設分析探討 VR 應用於解剖學上的學習成效。該研究收集發表於 1990 年至 2019 年間的 15 篇實驗研究，其中僅有五篇提供情意成效。結果顯示，VR 教學較之其他教學法能顯著且高度地提升學生之學習興趣 ($ES = 0.77$, $95\%CI = [0.47, 1.07]$)。

綜言之，上述八篇後設分析可統整出以下結論：

1. 發表年代介於 2019 年至 2022 年，足見文獻資料是相當新的。然而多數後設分析所採用的有提供情意成效數據的研究篇數都低於 10 篇。

2. 所收集之實徵研究的發表時間大約是 1990 年至 2021 年，已大致涵蓋整個 VR 發展的期間。
3. 在成效方面，有三篇檢測整體的情意成效，且都證實 VR 的教學成效顯著優於其他教學法；有四篇將情意成效再做細分（如：學習動機、學習興趣等），結果發現，有些達顯著，有些則無；僅有一篇 (Kyaw et al., 2019) 顯示在學習態度及學習滿意度上皆未達顯著。因此，就整體 VR 對情意成效的影響而言，目前的研究結果是不一致的。
4. 就調節變項的分析而言，七篇研究皆因篇數太少都未進行分析，僅有 1 篇 (B. Chen et al., 2022) 分析了五個變項，但結果都未達顯著差異。

本後設分析排除非學生的研究，共收集了 35 篇以臺灣學生為樣本的文獻，已有足夠的篇數得以進行調節變項分析。本研究因此參考了 B. Chen 等人 (2022) 的後設分析，將對照組、教學階段、VR 類型納入調節變項，此外，也參考其他後設分析，將學科領域、發表年代、實驗期間、有無融入策略及出版形式作為調節變項。

(二) 技能成效

應用 VR 於教學的後設分析中僅有四篇探討學生的技能成效，且多數是將之視為學業成效或是情意成效的附屬。下列四篇中僅有一篇是特別專注在技能成效的後設分析。

F.-Q. Chen 等人 (2020) 的後設分析探討 VR 對護理教育學習成效的影響。該研究收集了發表於 2008 年至 2019 年間的 12 篇研究進行分析，而關注技能的研究僅有五篇。結果顯示，VR 教學法與

非 VR 教學法在技能成效上未達顯著差異 ($ES = 0.01$, $95\%CI = [-0.24, 0.26]$)。

Howard 與 Gutworth (2020) 的研究聚焦於應用 VR 來提升學習者的社交技能。該研究收集了發表於 2010 年至 2019 間的 22 篇實驗研究，結果發現 VR 教學的成效顯著優於非 VR 教學 ($ES = 0.69$, $95\%CI = [0.30, 1.09]$)。在調節變項分析方面，該研究共分析了九個變項：干預類型、是否具備遊戲因素、是否使用第二人生 (Second Life)、VR 類型、輸入裝置、成效的複雜性、成效類型、參與者類型、對照組及發表形式。其中僅有發表形式達顯著差異，期刊研究的成效顯著優於學位或研討會論文。

Howard 等人 (2021) 的研究探討應用 VR 於訓練的成效。該研究收集了發表於 2011 年至 2020 年間的 184 篇研究，其中 112 篇有提供技能成效的結果。研究結果顯示，應用 VR 於訓練的成效顯著優於其他非 VR 的訓練方式 ($ES = 0.58$, $95\%CI = [0.45, 0.70]$)。然而本研究在調節變項的分析上並未將認知成效與技能成效分開處理，因此無法確認各變項對技能成效的可能影響。

Kyaw 等人 (2019) 之後設分析探討應用 VR 在健康專業人員教育的成效。該研究共收集了 31 篇發表於 1990 年至 2017 年的實驗研究，其中有 12 篇檢測技能成效，結果發現，在 12 篇研究中有四篇顯示 VR 教學顯著優於傳統教學 ($ES = 1.12$, $95\%CI = [0.81, 1.43]$)；另有二篇研究顯示應用 VR 教學顯著優於應用其他數位科技的教學法 ($ES = 0.5$, $95\%CI = [0.32, 0.69]$)；剩餘的六篇則未發現顯著

差異。因此整體應用 VR 於技能學習的成效是不一致的。

從以上四篇探討技能成效的後設分析可以歸納出以下幾點結論：1. 就技能成效而言，多數的研究結果傾向應用 VR 的效果顯著優於非 VR 的方式。2. 在篇數上，探討 VR 應用於訓練的研究遠多於用於教學的研究。3. 在調節變項上的分析結果並不一致。

本後設分析僅收集以臺灣學生為樣本之 VR 相關研究，且排除應用於非學校機構之研究，因此篇數僅有八篇，將不進行調節變項的分析。

參、研究方法與步驟

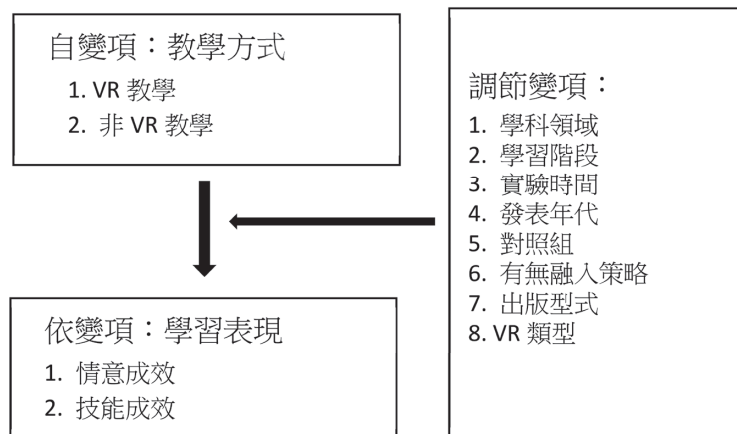
一、研究架構

本研究旨在探討應用 VR 於教學對學生情意成效及技能成效之影響。情意成效泛指教學實驗後之學習態度、學習動機、學習興趣、學習滿意度等；而技能成效乃指實驗後透過技能測驗或量表所獲得之結果，如：籃球、美髮技能等。本研究之自變項為教學方法 (VR 教學 vs. 非 VR 教學法)，依變項為情意成效與技能成效，調節變項包含學科領域、發表年代、學習階段、實驗時間、對照組、有無融入策略、出版型式與 VR 類型等八項，研究架構如圖一。

本研究主要目的在探討兩種教學法對學生學習表現的影響，因此有必要定義這兩種教學法。

- (一) VR 教學：指學生在教師的指導下運用 VR 所提供之教材及功能進行獨立或分組之學習活動。

圖一、研究架構圖



資料來源：本研究整理。

(二) 其他教學法：乃指一般非使用 VR 之教學，如：傳統教學、PPT 教學、實體教具教學、網路教學、影片教學等。

二、研究步驟

(一) 檢索相關文獻及研究報告

本研究檢索文獻，以中文篇名或關鍵詞為「虛擬實境」AND「情意 OR 態度 OR 動機 OR 興趣 OR 滿意 OR 技能」，查詢三個中文學術資料庫：「臺灣博碩士論文知識加值系統」、「華藝線上圖書館」、「臺灣期刊論文索引系統」。並以同義的英文篇名或關鍵詞「virtual reality OR VR」AND「affective OR attitude OR motivation OR interest OR satisfaction OR skill」，加上「Taiwan」為機構或歸屬國家／地區，查詢 11 個資料庫：Scopus、EBSCO、ProQuest、ScienceDirect、Taylor & Francis、Emerald、JSTOR、SAGE、SpringerLink、Google Scholar 及 Web of Science。截至 2022 年 6 月，獲得 VR 情意及技能成效相關之文獻共 1,727

篇，其中中文的文獻包含：學位論文 1,480 篇、研討會 12 篇、期刊論文 57 篇，及英文文獻包含：期刊論文 178 篇。

(二) 文獻選用及刪除的標準

本研究設立以下篩選文獻的標準。

1. 主題必須是探討 VR 應用於一般教學之情意或技能成效之相關實徵論文；應用於病人復健或特殊教育之論文予以排除。
2. 研究設計必須是實驗或準實驗設計，實驗組使用 VR 教學，對照組使用非 VR 教學。僅採單組前後測設計之研究予以刪除。
3. 研究樣本必須是臺灣學生；非學生之論文予以刪除。
4. 研究總樣本數須至少 30 人。
5. 研究結果必須提供以下統計數據：(1) 實驗組與對照組之平均數、標準差及樣本數；或 (2) 差異檢定 F 值及樣本數；或 (3) 差異檢定 t 值及樣本數。
6. 研究發表於 2022 年 6 月之前。

(三) 篩選可用之文獻

上述 1,727 篇研究經仔細閱讀其摘要，剔除重複之文獻，並依據選用標準篩選後，最後共有 36 篇研究符合標準，其中屬情意成效者 35 篇，技能成效者 8 篇（有 7 篇同時提供兩種成效）；23 篇以中文發表，13 篇以英文發表；期刊論文 16 篇，學位論文 19 篇，研討會論文一篇。有些學位論文經修改後也會投稿於期刊，如：許煌珠（2020）及許煌珠與張榮吉（2021）。本研究針對類似情形，僅採用提供最完整研究數據的版本。

(四) 設定研究變項

本研究參考國外有關 VR 應用於教學之後設分析，發展出八個調節變項，說明如下：

1. 學科領域：分為人文與社會（含兒童發展評量、注意力）、自然與生活科技、語文（英語及華語文）、護理、其他（含數學、國防、體育、環境教育、美髮等）五組。
2. 學習階段：分為國小、國中、高中（職）、大專四組。
3. 實驗時間：是指將實際進行教學實驗的時間換算成分鐘。分為 30 ~ 120 分鐘、121 ~ 240 分鐘、241 ~ 480 分鐘、超過 480 分鐘及未說明五組。
4. 發表年代：分為 2010 ~ 2016 年、2017 ~ 2019 年、2020 ~ 2022 年三組。由於 2010 ~ 2016 年之研究僅有六篇，因此歸為一類；後兩類則以三年一期歸類。
5. 對照組：乃指非 VR 的教學方式。分為傳統教學、PPT 教學、實體教具教學、網路教學、影片教學與其他六組。

6. 有無融入策略：是指除了 VR 教學外，實驗過程中是否有加入其他教學或學習策略，如：合作學習、探究教學、問題導向教學等。分為無策略與有策略兩組。
7. 發表形式：分為期刊及未出版（含學位論文與研討會論文）兩組
8. VR 類型：分為頭戴式（沉浸式）、桌機型、行動載具式（如使用於平板電腦）、混合式與未說明五組。

三、統計分析

(一) 計算效果量

本研究之依變項為情意成效及技能成效。效果量（effect size, ES）的計算通常是以各研究的後測成績或量表為基準，然而各研究採用不同的研究樣本及評量工具，為使這些差異能置於相同的標準評比，後設分析所採用之評比單位即為 ES，其定義為實驗組與對照組的平均數之差、除以兩組之合併標準差。因此，若某文獻只呈現實驗與對照兩組之後測平均數與標準差，本研究採用 Borenstein 等人（2009）之不偏 g 值計算 ES（見式 (1)）。小樣本研究可能產生的偏誤則依據 Borenstein 等人建議之修正公式（見式 (2)）修正之。

若文獻提供兩組前測及後測之平均數與標準差，則參考 Furtak 等人（2012）的建議，採用式 (3) 及式 (4) 計算 ES。若研究僅提供兩組比較之變異數分析 F 值或 t 值，則採用公式 (5) 與公式 (6) 計算 ES（各研究之原始數據詳見附錄）。此外，有些文獻以多個向度或分測驗以量測依變項（multiple outcomes within a study），因此產出多個 ES，為避免誇大單一文獻的效果，乃依據 Bar-Haim 等人（2007）

的建議，將文獻內所有 ES 予以平均以求得單一 ES。

最後，若任一文獻的 ES，超過整體文獻 ES 之標準差達三倍以上，則依據 Lipsey 與 Wilson (2001) 建議將之視為極端值 (outlier) 並予刪除，不納入後續之分析。本研究 35 篇文獻的平均 ES 為 0.65，標準差為 1.44，其正負三倍間距為 -3.69 (0.65 - 1.44 × 3) ~ 4.98 (0.65 + 1.44 × 3)，因此任一文獻的 ES 超越此間距，將視為極端值並刪除之。本研究更進一步進行敏感性分析 (sensitivity analysis) 以確認刪除極端值之文獻後，是否仍有其他文獻可能影響整體平均 ES。本研究使用 Comprehensive Meta-Analysis 3.0 (CMA 3.0) 統計軟體分析各項資料。

$$d = \frac{\bar{X}_1 - \bar{X}_2}{\sqrt{\frac{(n_1 - 1)S_1^2 + (n_2 - 1)S_2^2}{n_1 + n_2 - 2}}} \quad (1)$$

其中 d 為有偏誤之 ES， $\bar{X}_1$ 為實驗組之後測平均數， $\bar{X}_2$ 為對照組之後測平均數； n_1 與 n_2 為實驗組與對照組之樣本數； S_1^2 與 S_2^2 為實驗組與對照組之變異數。

$$g = \left(1 - \frac{3}{4df - 1}\right) \times d \quad (2)$$

其中 g 為無偏誤之 ES， df 為自由度。

$$ES_{\text{Pre/Post Test Two Groups}} = \frac{(\bar{X}_{1_Post} - \bar{X}_{1_Pre}) - (\bar{X}_{2_Post} - \bar{X}_{2_Pre})}{SD_{Post}} \quad (3)$$

$$SD_{Post} = \sqrt{\frac{(n_{2_Post} - 1)S_{2_Post}^2 + (n_{1_Post} - 1)S_{1_Post}^2}{n_{2_Post} + n_{1_Post} - 2}} \quad (4)$$

其中 $\bar{X}_{1_Post}$ 與 $\bar{X}_{1_Pre}$ 為實驗組之後測與前測之平均數； $\bar{X}_{2_Post}$ 與 $\bar{X}_{2_Pre}$ 為對照組之後測與前測之平均數； n_1 與 n_2 為實驗組與對照組之樣本數； S_1^2 與 S_2^2 為實驗組與對照組之變異數； SD_{Post} 為兩組之後測合併標準差。

$$d = \sqrt{F \frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}} \quad (5)$$

其中 F 為實驗組與對照組之 ANOVA 檢定值； n_1 與 n_2 為實驗組及對照組之樣本數。

$$d = t \sqrt{\frac{n_1 + n_2}{n_1 n_2}} \quad (6)$$

其中 t 為實驗組與對照組之 t -test 檢定值； n_1 與 n_2 為實驗組及對照組之樣本數。

(二) 同質性檢定與調節變項分析

同質性檢定 (homogeneity test) 的目的是為檢驗所有納入後設分析的文獻內之 ES 是否估算相同的構念，亦即各文獻間顯示的差異是否源自同一母群體的抽樣誤差 (廖遠光, 2012)，以下有幾種同質性檢定的考量。一般而言，同質性檢定分為固定效果模式 (fixed effects model) 及隨機效果模式 (random effects model)。固定效果模式假設所有文獻的效果量之變異是同質的，且確實在估算一個共同的 ES，對於調節變項之檢驗分析有較高的統計力 (Lipsey & Wilson, 2001)。而隨機效果模式乃是假設 ES 的變異不是源

自相同的母群體，亦即各文獻間的變異可能源自不同母群體的抽樣誤差，因此可將研究結果推論至未納入本次分析之研究 (Raudenbush, 1994; Schmidt et al., 2009)。本研究旨在探討 VR 教學之情意及技能成效，並進一步檢驗各調節變項對情意成效的影響，因此，將同時以兩種模式計算整體 ES。至於調節變項分析模式的選擇，本研究參考 Higgins 等人 (2003) 的建議，以同質性檢定之 I^2 值，亦即以文獻間的變異量占總變異量的百分比之大小來決定該使用哪一種分析模式；當 I^2 值低於 50% 時，代表研究間有較佳的同質性，適合使用固定效果模式；反之，若 I^2 大於 75%，顯示異質性極高，則需使用隨機效果模式。

此外，進行同質性檢定時，本研究也以 Cochrane 的 Q 檢定為準，若 Q_T 未達顯著，表示文獻間的同質性極佳，可直接將 ES 合併以求得整體平均 ES，並進行平均 ES 的顯著性考驗，亦即計算整體 ES 之 95% 的信賴區間。反之，若 Q_T 達到顯著，表示各 ES 的變異並非來自抽樣誤差，或各文獻之間 ES 的差異有其他調節變項影響了整體成效，有必要進一步進行調節變項的分析。最後，在進行各調節變項分析時，若 Q_B 達顯著，表示個別變項之不同組別（例如：國中生組與高中生組）的分組 ES 達顯著差異，將會進行事後比較（廖遠光等人，2020）。

（三）檢驗出版偏差

本研究將採用常見的 Rosenthal (1979) 之 fail-safe N 以及 Orwin (1983) 之 fail-safe N 兩種方式以檢定出版偏差。詳細而言，將根據 Rosenthal 的建議，fail-safe N 的數值應至少大於 $5k + 10$ (k

為文獻總篇數) 才能確保出版偏差不致影響研究結果。

（四）編碼者信度檢驗

本研究之編碼及 ES 計算由研究者及一位具編碼經驗之碩士級研究助理擔任。研究助理先就所有研究進行編碼及 ES 之計算，研究者則隨機抽取 50% 之研究覆核。兩位編碼者的結果一致性達 89.8%；ES 計算之一致性則達 90.2%。而針對編碼與 ES 計算相異之處再進行討論，務必達成共識。

肆、結果與討論

一、VR 應用於教學之情意學習成效

所有收集到的文獻經研究者審慎篩選後，最後符合標準並納入後設分析之文獻共 36 篇，其中屬情意成效者 35 篇、技能成效者 8 篇。各篇之描述性資料及效果量詳見表一。由於有 1 篇文獻 (Lee, 2020)

($g = 7.44$) 之 ES 超過整體 ES 標準差正負三倍的間距 ($-3.69 \sim 4.98$)，因此視其為極端值，不再納入後續之分析。所包含之學科領域超過 10 種，而其中以自然與生活科技最多。發表年代介於 2010 ~ 2022 年，與多數國外後設分析大致吻合。學習階段則以國小及國中較多。剩餘之 34 篇探討情意成效之文獻共包含 2,729 位學生 (實驗組 1,426、對照組 1,303)。而為了確認剩餘之研究是否仍包含極端值的研究，遂進行敏感性分析，結果顯示在採用「一次刪除一個研究」的分析後，整體平均 ES 並未改變，可見已無極端值的文獻存在。

34 篇之 g 介於 $-0.82 \sim 4.07$ ，固定

表一、本研究篩選文獻之情意成效及技能成效之描述性統計

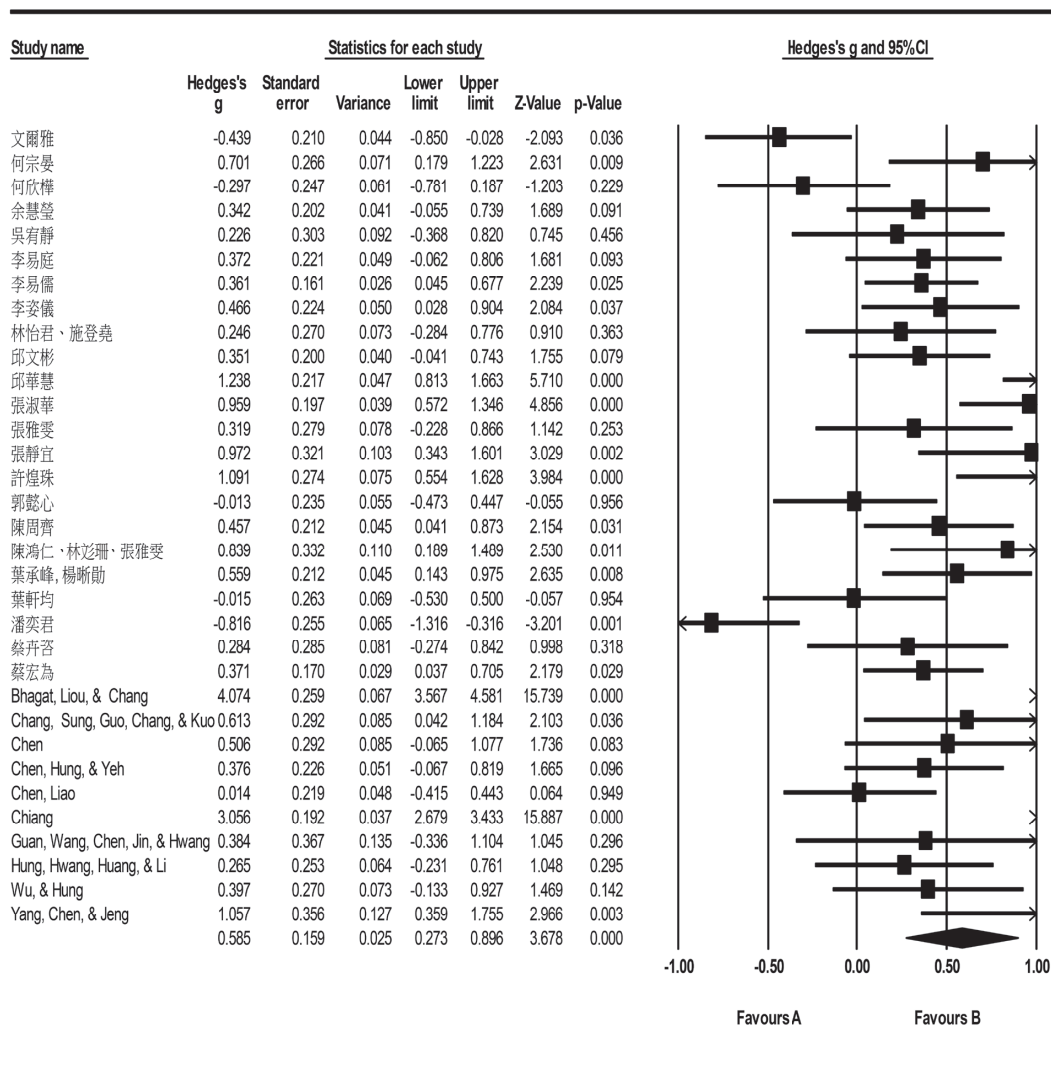
作者	學科領域	發表年	學習階段	<i>g</i>	
				情意成效	技能成效
文爾雅	自然與生活科技	2018	國小	-0.44	NA
何宗晏	人文與社會	2015	國小	0.70	NA
何欣樺	華語文	2019	大專	-0.30	NA
余慧瑩	英語	2018	國小	0.34	NA
吳宥靜	英語	2022	高中	0.23	NA
李易庭	自然與生活科技	2020	國中	0.37	-1.08
李易儒	自然與生活科技	2021	國中	0.36	NA
李姿儀	自然與生活科技	2019	國中	0.47	0.53
林怡君與施登堯	體育	2018	國中	0.25	0.54
邱文彬	自然與生活科技	2021	國中	0.35	NA
邱華慧	兒童發展評量	2013	大專	1.24	NA
張淑華	自然與生活科技	2020	國小	0.96	NA
張雅雯	數學	2019	國小	0.32	NA
張靜宜	護理教育	2020	大專	0.97	NA
許煌珠與張榮吉	美髮	2021	高中	0.76	0.60
郭懿心	自然與生活科技	2020	國小	-0.01	NA
陳周齊	自然與生活科技	2019	國小	0.46	NA
陳鴻仁等人	英語	2022	國小	0.84	NA
葉承峰與楊晰勛	社會	2021	國小	0.56	NA
葉軒均	自然與生活科技	2020	國中	-0.02	NA
潘奕君	注意力	2021	國小	-0.82	NA
蔡卉咨	自然與生活科技	2020	國中	0.28	NA
蔡宏為	自然與生活科技	2020	國中	0.37	1.23
Bhagat 等人	國防教育	2016	高中	4.07	2.20
Lee	木工	2020	大專	7.44	0.05
C.-Y. Chang 等人	護理教育	2019	大專	0.61	NA
C.-T. Chen	自然與生活科技	2012	高中	0.74	NA
H.-L. Chen 與 Liao	英語	2022	高中	0.01	NA
J.-C. Chen 等人	STEM	2020	高中	NA	0.37
Y.-C. Chen 等人	自然與生活科技	2022	國中	0.51	NA
C.-H. Chen 等人	英語	2021	大專	0.38	NA
Chiang	環境教育	2021	混合	3.06	NA
Guan 等人	自然與生活科技	2021	國中	0.38	NA
Hung 等人	自然與生活科技	2010	國小	0.27	NA
Y.-H. S. Wu 與 Hung	英語	2022	國小	0.40	NA
Yang 等人	英語	2010	國小	1.06	NA

資料來源：本研究整理。

效果與隨機效果模式之平均值 (g^+) 各為 0.48 與 0.57。各研究 g 分布之森林圖詳見圖二。依據 ES 的計算公式可知, 若 ES 為正數時, 表示實驗組的效果優於對照組, 而若 ES 為負數時, 表示對照組的效果優於實驗組。此外, 95% 信賴區間為 0.40 ~ 0.56 (固定效果模式) 與 0.33 ~ 0.82 (隨機效果模式) 且其間距都不包含 0, 而 $z = 11.88$ ($p < .001$) 與 4.57 (p

$< .001$) 皆達顯著, 說明實驗組的成效顯著優於對照組。足見無論是採用哪一種模式, 都顯示 VR 教學的情意成效顯著優於非 VR 教學, 整體情意成效之描述性統計詳見表二。根據 Cohen 等人 (2007) 對於後設分析 ES 值之界定標準: 當 ES 值小於 0.1 時, 代表「低度」效果 (weak); 當 ES 值介於 0.3 ~ 0.5, 代表「中度」效果 (moderate); 當 ES 介於 0.5 ~ 0.8, 代

圖二、各文獻情意成效 g 分布之森林圖



資料來源：本研究整理。

表「強烈」效果（strong）；當 ES 大於 0.8，代表「非常強烈」效果（very strong）。整體而言 VR 應用於教學的情意成效已達中度至強烈的效果。此外，依據 Gall 等人（1996）的觀點，當 ES 大於 0.33 可視為具有實務應用之重要性，可見 VR 應用於教學在提升學生情意成效的效果，不僅獲得後設分析數據的支持，更具有實務應用的價值。

前述歸納八篇相關後設分析的結論指出，其中三篇（X. Chang & Wu, 2021; B. Chen et al., 2022; Zhao et al., 2020）檢測整體情意成效的研究證實 VR 的教學成效顯著優於其他教學法。此結果與本後設分析的發現一致，可見國內外的研究都肯定 VR 對學生情意成效的學習效果。然而這三篇後設分析所收錄的研究數量都不多，介於 5～10 篇，其結果的推論性須保守看待。而本後設分析共收集了 35 篇研究，應有最佳的推論能力。

二、VR 應用於教學之技能學習成效

本研究共收錄八篇提供技能成效的文獻，包含 834 位學生（實驗組 467、對照組 367）。整體技能成效之描述性統計詳見表三。八篇之 g 介於 -1.08～2.20，固定效果與隨機效果模式之 g^+ 各為 0.64 與 0.56。此外，95% 信賴區間為 0.49～0.79（固定效果模式）與 -0.08～1.21（隨機效果模式），而 $z = 8.19$ ($p < .001$) 與 1.71 ($p > .05$)，顯示在固定效果模式時實驗組的成效顯著優於對照組，但在隨機效果模式時實驗組與對照組未達顯著差異。由於 $I^2 = 94.11\%$ ，依據 Higgins et al.（2003）的建議，宜採用隨機效果模式。因此，結果顯示 VR 教學的技能成效雖優於非 VR 教學（ $g^+ = 0.56$ ），但未達顯著差異。各研究 g 分布之森林圖詳見圖三。

前述四篇有關應用 VR 以提升技能成效的後設分析指出，有三篇的研究結果顯示應用 VR 的效果顯著優於非 VR 的方式，

表二、虛擬實境應用於教學之整體情意成效檢定及同質性檢定

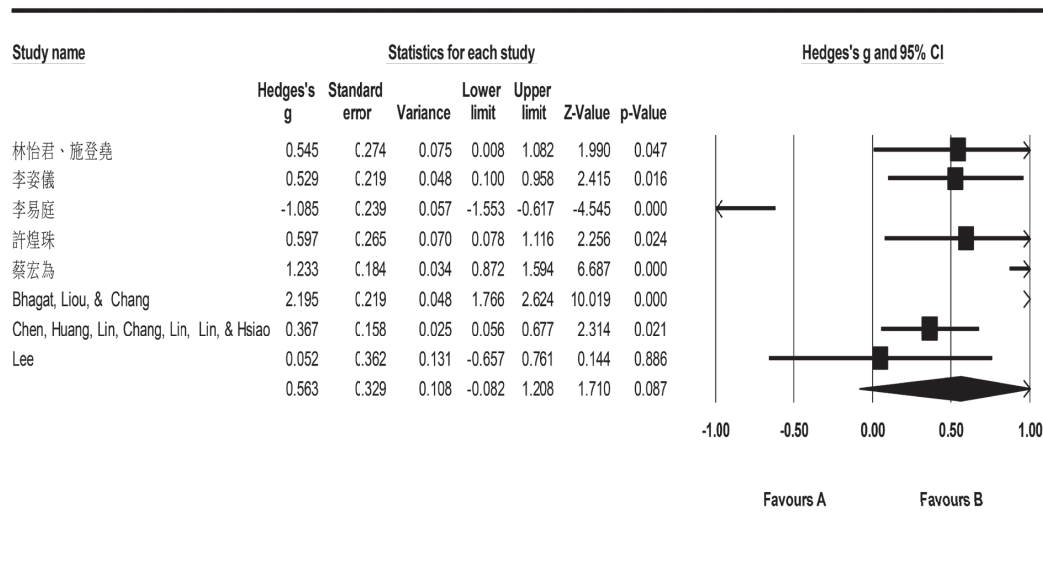
分析模式	k	g^+	z	standard error	95%CI	Heterogeneity		
						Q_T	df	I^2
固定效果	34	0.48	11.88***	0.04	[0.40, 0.56]	306.5***	33	89.23
隨機效果	34	0.57	4.57***	0.13	[0.33, 0.82]			

資料來源：本研究整理。
 註： g^+ ：整體平均效果量。
 *** $p < .001$ 。

表三、虛擬實境應用於教學之整體技能成效檢定及同質性檢定

分析模式	k	g^+	z	standard error	95%CI	Heterogeneity		
						Q_T	df	I^2
固定效果	8	0.64	8.19***	0.08	[0.49, 0.79]	118.94***	7	94.11
隨機效果	8	0.56	1.71	0.33	[-0.08, 1.21]			

資料來源：本研究整理。
 註： g^+ ：整體平均效果量。
 *** $p < .001$ 。

圖三、技能成效各研究 g 分布之森林圖

資料來源：本研究整理。

與本後設分析的結果（隨機效果模式）並不一致。這或許顯示出不同國情、不同樣本可能造成的差異。不過以 Cohen 等人（2007）對 ES 值的界定標準而言，國內 VR 教學的技能成效已逾中等效果（ $g^+ = 0.56$ ），雖未能達顯著差異，但可以確定的是，VR 教學對學生技能學習的成效是優於非 VR 教學的。而之所以未能達顯著差異，猜測可能是收納之研究篇數太少。未來若能有更多相關實驗研究發表，或許透過調節變項的分析，可以更清楚理解國內外研究結果差異的原因。

三、同質性檢定及調節變項分析

表二、表三依序呈現情意成效與技能成效之同質性檢定結果。如表二所示 Cochrane 之 Q 檢定結果，情意成效的 Q 檢定達顯著性差異（ $Q_T = 306.5$ ， $df = 33$ ， $p < .001$ ），表示各文獻所顯示的差異不是源自同一母群體的抽樣誤差。其次，

就技能成效而言，表三顯示的 Q 檢定也達顯著性差異（ $Q_T = 118.94$ ， $df = 7$ ， $p < .001$ ）。綜言之，情意成效與技能成效的同質性檢定皆達顯著性差異，有必要針對各調節變項作進一步的檢驗，然而歸屬於技能成效的研究僅八篇，進行調節變項分析的實質意義不大。此外，由於情意成效的 $I^2 = 89.23\%$ ，高於 75%，因此決定以隨機效果模式進行調節變項的分析。表四詳列八個情意成效調節變項的分析結果，其中僅二個變項之 Q_B 達顯著性差異，分別為學習階段（ $Q_B = 54.34$ ， $p < .001$ ）以及出版形式（ $Q_B = 4.66$ ， $p < .05$ ），顯示兩變項內的各水準間有顯著差異存在。以下呈現情意成效各調節變項的分析結果與討論。

（一）學科領域

表四顯示，VR 應用學科領域以自然與生活科技為最多，共收集到 15 篇（44.1%），其次為語文、共八篇（23.5%）。

表四、情意成效調節變項之統計分析

調節變項	<i>N</i>	%	<i>g</i> ⁺	<i>z</i>	95%CI	<i>Q_B</i>	<i>df</i>	事後比較
學科領域								
1. 人文與社會	4	11.8	0.43	1.00	[-0.41, 1.26]	7.11	4	
2. 自然與生活科技	15	44.1	0.34	3.98***	[0.17, 0.51]			
3. 語文	8	23.5	0.32	2.36*	[0.05, 0.58]			
4. 護理	2	5.9	0.75	3.77***	[0.36, 1.14]			
5. 其他	5	14.7	1.75	2.28*	[0.25, 3.25]			
學習階段								
1. 國小	13	38.2	0.34	2.33*	[0.05, 0.63]	54.34***	4	5 > 1, 2, 3, 4
2. 國中	10	29.4	0.35	5.12***	[0.22, 0.48]			
3. 高中	5	14.7	1.22	1.72	[-0.17, 2.62]			
4. 大專	5	14.7	0.58	2.12*	[0.04, 1.11]			
5. 混合	1	2.9	3.06	8.32***	[2.34, 3.78]			
實驗時間								
1. 30 ~ 120 分鐘	6	17.6	0.73	1.42	[-0.28, 1.73]	1.64	4	
2. 121 ~ 240 分鐘	7	20.6	0.38	2.37*	[0.06, 0.69]			
3. 241 ~ 480 分鐘	11	32.4	0.44	5.29***	[0.28, 0.61]			
4. 超過 480 分鐘	6	17.6	1.02	1.77	[-0.11, 2.14]			
5. 未說明	4	11.8	0.38	2.55*	[0.09, 0.67]			
發表年代								
1. 2010 ~ 2016	6	17.6	1.34	2.50*	[0.29, 2.40]	5.40	2	
2. 2017 ~ 2019	8	23.5	0.21	1.51	[-0.06, 0.48]			
3. 2020 ~ 2022	20	58.8	0.48	3.89***	[0.24, 0.73]			
對照組								
1. 傳統課堂教學	14	41.2	0.72	3.02**	[0.25, 1.19]	7.18	5	
2. PPT 教學	7	20.6	0.28	2.66**	[0.07, 0.48]			
3. 實體教具教學	3	8.8	0.53	1.06	[-0.45, 1.52]			
4. 網路教學	2	5.9	0.75	1.49	[-0.24, 1.75]			
5. 影片教學	2	5.9	2.01	1.93	[-0.04, 4.05]			
6. 其他	6	17.6	0.15	0.76	[-0.24, 0.54]			
有無融入策略								
1. 無	22	64.7	0.61	3.62***	[0.28, 0.94]	0.23	1	
2. 有	12	35.3	0.49	2.75**	[0.14, 0.84]			
出版形式								
1. 期刊	15	44.1	0.92	3.58***	[0.42, 1.43]	4.66*	1	1 > 2
2. 未出版	19	55.9	0.32	2.87**	[0.10, 0.53]			
VR 類型								
1. 頭戴式	16	47.1	0.34	3.47***	[0.15, 0.54]	7.06	4	
2. 桌機型	12	35.3	1.04	3.24**	[0.41, 1.67]			
3. 行動載具式	3	8.8	0.10	0.40	[-0.39, 0.60]			
4. 混合	2	5.9	0.42	2.66**	[0.11, 0.73]			
5. 未說明	1	2.9	0.74	2.53*	[0.17, 1.31]			

資料來源：本研究整理。

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

可見這兩個學科領域較受研究者關注。其次，就情意成效的表現而言，除了人文與社會領域 ($z = 1.00$, $95\%CI = -0.41 \sim 1.26$, $p > .05$) 之外，VR 應用於其他領域的 g^+ 都達顯著，表示學生在這些領域使用 VR 的成效都顯著優於非 VR 教學法。但排除歸類於「其他」之研究，應用於護理領域的成效最佳 ($g^+ = 0.75$)，已達強烈效果，但因僅有二篇研究，因此不做進一步討論。B. Chen 等人 (2022) 的後設分析雖有進行調節變項的分析但不包含學科領域，因此無從比較。

(二) 學習階段

根據表四，學習階段共分五組 (國小、國中、高中、大專及混合)，研究篇數以國小最多，達 13 篇 (38.2%)，國中組有 10 篇 (29.4%)，兩者相加已達 67.6%，顯示 VR 應用於國中以下學生的文獻比率較高。其次，就情意成效的表現而言，除了高中生外，其餘四組的 z 值皆達顯著，表示 VR 用於國小、國中、大專及混合層級學生的情意成效都顯著優於其他教學法。其次， $Q_B = 54.34$ ($p < .001$)，顯示各組間達顯著差異，歸類於混合層級的文獻之 g^+ 顯著優於其他四組的文獻，但因混合組僅有一篇，因此不做進一步分析。有趣的是，VR 應用於高中生的成效最佳 ($g^+ = 1.22$)，其次則為大專生 ($g^+ = 0.58$)，顯示 VR 應用於較高層級的學生之情意成效較佳。B. Chen 等人 (2022) 的後設分析也有針對學習階段進行調節變項分析，但未達顯著差異，然而該研究也顯示 VR 應用於大專生之情意成效最佳 ($g^+ = 0.719$)，與本研究的結果頗為相似，或許是因為層級高的學生有較佳的 VR 操作能力，或其教材更需要 VR 的輔助，因此更能提升其學習的樂趣。

(三) 實驗時間

關於研究時間的長短是否會影響學習成效，一般後設分析多以研究的總期程作為分析的標準，亦即以週或月等作為分析單位。從表四可知，本研究為確切檢視學生應用科技的時間對情意成效的影響，採實際實驗操作的時間作為分類的方式，將實驗時間分為 30 ~ 120 分鐘、121 ~ 240 分鐘、241 ~ 480 及超過 480 分鐘四組。以篇數而言，241 ~ 480 分鐘的研究有 11 篇 (32.4%) 最多，其餘三組的篇數大致相同，可見實驗時間以中等長度者篇數較多。其次，在情意成效的表現上，121 ~ 240 以及 241 ~ 480 分鐘的 z 皆達顯著，但另兩組則未達顯著，表示實驗時間太短或太長的研究，其 VR 教學與非 VR 的情意成效相當，而介於 121 ~ 480 分鐘的研究顯示，VR 教學的情意成效顯著優於非 VR 教學。B. Chen 等人 (2022) 的後設分析未探討研究時間對情意成效的影響，因此無從比較。Clark (1983) 曾提出科技應用的新奇效應 (novelty effect)，意指學生對新科技的好奇感會在短時間內讓學習成效提升，但當新鮮感逐漸消失後，其成效也隨之下降。Liao 與 Bright (1991) 的後設分析針對學習程式設計是否能提升學生的認知能力，也證實了新奇效應的影響。本研究中 30 ~ 120 分鐘的 $g^+ = 0.73$ ，但超過 480 分鐘的 $g^+ = 1.02$ ，似乎與 Clark 及 Liao 與 Bright 等學者的觀點不一致。或許不同國情、不同科技間會有一些差異。

(四) 發表年代

從表四可知，發表於 2020 ~ 2022 年的研究共有 20 篇 (58.8%)，2017 ~ 2019 年的則有八篇 (23.5%)，亦即近六年的

研究篇數已高於 80%，而近三年之研究更是接近六成，這與 VR 在國內教育應用的發展趨勢大致符合。拜日益成熟的 VR 科技及漸趨平價的軟硬體設備，可以合理預測未來數年 VR 在教學上的應用將更為普及。其次，就情意成效的表現而言，2010 年～2016 年及 2020 年～2022 年之研究的 z 值皆達顯著，說明這兩個年代的研究都顯示使用 VR 的成效顯著優於非 VR 教學法。再者，發表於 2010 年～2016 年之研究成效最佳 ($g^+ = 1.34$)，其次為 2020 年～2022 年 ($g^+ = 0.48$)，2017 年～2019 年 ($g^+ = 0.21$) 的研究則明顯較低，但各組間的成效未達顯著。由於 B. Chen 等人 (2022) 的後設分析未針對發表年代進行分析，因此無從比較。2010 年～2016 年僅有六篇研究發表，而 $g^+ = 1.34$ ，可以合理推測是受到新奇效應的影響，畢竟對學生而言 VR 在那個年代是最新奇的教學科技。2017 年～2019 年時 VR 的技術已漸趨成熟，學生的新奇效應也逐漸消失，但或許是相對應的軟體教材未臻成熟，以致成效明顯下滑。2020 年～2022 年時 VR 的軟硬體已達相當水平，學生的操作技巧也已提升，因此情意成效也達中度接近強烈的效果。

(五) 對照組

依據表四，本研究將對照組分為傳統課堂教學、PPT 教學、實體教具教學、網路教學、影片教學及其他，可見非 VR 教學的形式相當複雜，而其中以傳統課堂教學的篇數最多，共 14 篇 (41.2%)。在情意成效的表現上，與影片教學的比較上成效最佳 ($g^+ = 2.01$)，其次為網路教學 ($g^+ = 0.75$) 及傳統課堂教學 ($g^+ = 0.72$)，但各組間未達顯著差異。B. Chen 等人

(2022) 的後設分析在對照組的分析上，分為傳統教學與多媒體教學，結果顯示組間未達顯著，與本研究的結果一致。

(六) 有無融入策略

本變項是指除了 VR 教學外，實驗過程中是否有加入其他教學或學習策略。從表四可知未融入策略者共 22 篇 (64.7%)，幾乎已達三分之二的篇數。其次，就情意成效而言，未融入策略的研究 ($g^+ = 0.61$) 其成效略高於有融入策略的研究 ($g^+ = 0.49$)，但兩組間未達顯著。可見無論是有無融入策略，VR 教學的情意成效皆優於非 VR 教學。然而由於有融入策略的研究共 12 篇，而策略之種類又相當多，難再細分。未來若有更多的研究發表，或許可就不同策略的影響再做進一步分析。

(七) 出版形式

根據表四，期刊論文共有 15 篇 (44.1%)，未出版 (含學位論文與研討會論文) 則有 19 篇 (55.9%)，篇數差異不大。但期刊論文中 11 篇發表於國外期刊，可見國內學者習慣將研究成果發表於國際期刊。其次就情意成效來說，期刊論文 ($g^+ = 0.92$) 顯著優於未出版論文 ($g^+ = 0.32$)， $Q_B = 4.66$ ， $p < .05$ 。一般而言學術期刊比較傾向接受達顯著成效的稿件，因此，期刊論文的成效較佳是合理的。關於是否將未出版的研究納入後設分析，過去學者的主張還有些爭議，主要的爭論點是認為未出版之研究在品質上可能較差，因此不宜納入後設分析。然而 Glass 等人 (1981) 與 Christman 等人 (1997) 均主張僅選取期刊論文而捨棄未發表之論文 (通常成效未達顯著) 將誇大整體的 ES，這是必須注意的缺點。本研究的結果顯示，若僅採用期刊論文，整體 g^+ 可達 0.92，

確實會誇大了整體的 ES，也顯示本研究包含未出版的學位論文是合理的決策。

(八) VR 類型

如表四所示，VR 類型分為頭戴式、桌機型、行動載具式及混合四組。其中以頭戴式（16 篇，47.1%）及桌機型（12 篇，35.3%）占大多數。以情意成效言，桌機型的 $g^+ = 1.04$ 為最佳，已達強烈效果，行動載具式最低（ $g^+ = 0.10$ ），但各組間未達顯著差異。B. Chen 等人（2022）的後設分析針對 VR 類型的分析顯示非頭戴式（ $g^+ = 0.78$ ）略高於頭戴式（ $g^+ = 0.39$ ），但也未達顯著差異。他們的發現與本研究頗為相似。一般而言，頭戴式 VR 具沉浸效果，擬真程度較佳，使用者的感受也較為強烈，但相對的長時間使用也可能造成使用者的不適感，亦即 McCauley 與 Sharkey（1992）所謂的 VR 病（VR sickness），其症狀包括眼睛疲憊、迷失方向、噁心等（LaViola, 2000），這或許可以解釋為何頭戴式的情意成效低於非頭戴式的原因。

四、出版偏差之檢測

本研究對出版偏差分析，採用 Rosenthal（1979）之 fail-safe N 檢定以及 Orwin（1983）之 fail-safe N 檢定。在情意成效部分，把 α 決斷點設為 0.05 時，Rosenthal 之 fail-safe $N = 1,414$ ，遠大於容許值之 185（ $5k+10$ ， k 為文獻總篇數）；其次，當 α 設為 0.05 時，Orwin 之 fail-safe $N = 369$ 。就技能成效部分而言，在 α 設為 0.05 時，Rosenthal 之 fail-safe $N = 110$ ，大於容許值 50；另外，當 α 設為 0.05 時，Orwin 之 fail-safe $N = 119$ 。以上這些數據顯示需要至少 110 篇以上未出版或未尋獲的文獻，

才足以影響本後設分析呈現的結果，這在實務上的可能性甚低。因此，可以推定出版偏差無法推翻本研究的結果。

伍、結論與建議

一、結論

VR 以其具有沉浸式、富有想像力和互動性的特點（Gavish et al., 2015），提供學習者虛擬而似真的情境，讓學生能在擬真的情境中發揮想像力，並與環境產生高度的互動，進而提升學習動機與成效。如本文評述所示，國外有八篇 VR 的後設分析研究，結果顯示在情意成效的研究結果並不一致，而在技能成效方面，四篇後設分析的結論傾向 VR 的效果顯著優於非 VR 的教學方式。本研究為國內第一篇探討應用 VR 於教學對學生情意及技能成效影響的後設分析。經統整發表於 2010 年～2022 年的 36 篇以國人為研究對象之研究進行分析，整體結果如下：

- （一）在情意成效方面，無論是採用固定或隨機模式，34 篇研究（含 2,729 位學生）的結果顯示 VR 應用於教學的情意成效顯著優於非 VR 教學（固定效果與隨機效果模式之 g^+ 各為 0.48 與 0.57），且已達中度至強烈的正向效果。
- （二）在技能成效方面，八篇（含 834 位學生）研究的結果顯示，VR 教學的技能成效優於非 VR 教學但未達顯著（隨機效果模式之 g^+ 為 0.56）。
- （三）在調節變項的分析方面，由於技能成效的篇數僅有八篇，無法進一步分析；因此僅就情意成效進行分析。在八個變項中有二個變項達顯

著差異，顯示這些變項對整體情意成效有調節作用，整理如下：

1. 在學習階段方面，歸類於「混合」組的文獻之 g^+ 顯著優於國小、國中、高中及大專四組之文獻，但因混合組僅有一篇文獻，因此不做進一步分析。其次，結果也發現 VR 應用於高中及大專生的情意成效優於國小及國中的學生，特別是用於高中生層級。
2. 在出版形式方面，發表於期刊論文的文章（ $g^+ = 0.92$ ）顯著優於未出版的論文（ $g^+ = 0.32$ ）。

二、建議

基於上述結論，本研究提供以下建議。

（一）鼓勵教師有條件地將 VR 融入教學

本研究的結果雖顯示 VR 應用於教學，無論對學生之情意或技能成效皆有正向且達中度至強烈的效果，且對各學習階段學生及各學習領域也都有正向的成效。然而調節變項的分析也顯示，這些正向的成效仍受到若干因素的影響，例如：新奇效應，可能會讓 VR 融入教學的效果因時間增長而遞減，因此教師在應用 VR 時宜考量這些因素，並適度的使用。

（二）鼓勵開發各學科領域之 VR，特別是國文、數學及體育領域

本研究分析了發表於 2010 年～2022 年的 35 篇以國人為研究對象之研究進行後設分析，在 12 年間共有 35 篇探討情意成效及八篇技能成效的實徵研究發表，相較於國外相關的後設分析，數量上略勝一籌。然而應用在體育及數學各僅一篇，國文科的甚至掛零，原因之一或許是可資應

用之 VR 教材不多。而相較於其他教育科技如：電腦輔助教學、行動學習、網路學習等，VR 的開發成本較高，開發耗時也較長，再加上技術面的要求等級也較高。因此，若要全面推動 VR 於各學科領域之教學，建議教育部應廣挹研發資金，並提供獎勵誘因以鼓勵研究團隊開發更多元的 VR 教材。

（三）鼓勵教師發展適用於 VR 的教學策略

VR 的優點已如前述，但它畢竟僅是一種教學科技，即便在開發的過程中可將教材嵌入學習情境中，以利學生在教材內自由探索、與教材互動。但若能結合適當的學生為中心導向教學策略，如：探索式學習、情境學習、問題導向學習、專案導向學習等，或可更加提升學習興趣進而深化學習成效。本研究調節變項的分析結果雖顯示有無融入策略並無法影響情意成效，但在研究數量上也發現，大約三分之二的研究是未融入教學策略的。這或可說明多數教師掌握 VR 教材，不知如何結合學生為中心導向策略於教學。在教學過程中，教師可將 VR 作為學習的材料，在學生體驗這些教材後，依據課程目標，結合適當之教學策略，以提升學習的興趣。因此宜鼓勵各級教師，依據不同學科特質及 VR 特性，發展適當之教學策略。

本研究基於有限的研究篇數，未能在調節變項的分析上將情意種類再細分，如：動機、興趣、滿意度等。未來的研究若能收集到更多文獻，或可進一步比較 VR 融入教學可提升哪一種情意成效。此外，技能的學習應該是 VR 可以多所發揮的領域，可惜目前能收集到的相關文獻相對有限，期望未來能有更多研究發表。

本研究統整近 12 年國內學者應用 VR 於教學對情意及技能成效的研究結果，並分析各調節變項對情意成效的影響。當許多專家學者及教育工作者正殫思竭慮地尋求透過科技以提升學生學習成效的有效解方時，本後設分析提供了以累積研究為本（accumulated research-based）的數據，證實應用 VR 於教學對學生之情意及技能成效確實有正面的影響。此外，調節變項的分析結果對教師及未來 VR 的設計者也有相當的參考價值。

謝誌

本文之完成感謝陳勇欣小姐協助部分研究資料之編碼。本文也感謝兩位匿名評審的修正意見。

參考文獻

標示*者為正文中引用且納入後設分析之文獻

- * 文爾雅（2018）。物質受熱變化虛擬實驗室的發展及其對學生科學學習成就、科學態度和認知負荷的影響〔未出版之碩士論文〕。國立清華大學。
- * 何宗晏（2015）。發展國小社會領域虛擬實境導覽系統對學生學習成效之影響〔未出版之碩士論文〕。國立臺北教育大學。
- * 何欣樺（2019）。探討在虛擬實境系統中實施任務型教學法對華語文聽力及口說能力之研究〔未出版之碩士論文〕。國立臺灣師範大學。<https://doi.org/10.6345/NTNU202000196>
- * 李易庭（2020）。虛擬實境應用對不同認知風格學生的認知負荷及學習影響之研究〔未出版之碩士論文〕。國立臺灣師範大學。<https://doi.org/10.6345/NTNU202000540>
- * 李易儒（2021）。結合擴增實境與虛擬實境

對國中學生在遺傳學概念理解、學習投入程度及探究能力的影響〔未出版之碩士論文〕。國立清華大學。

- * 李姿儀（2019）。VR 體驗式探究對學生學習成效和知識建構影響之研究〔未出版之碩士論文〕。國立臺灣師範大學。<https://doi.org/10.6345/NTNU201900404>
- * 吳宥靜（2022）。探討臉部辨識擴增實境對高中生英語學習動機、態度以及專注度影響之研究〔未出版之碩士論文〕。國立臺北教育大學。
- * 余慧瑩（2018）。虛擬實境與桌上遊戲對國小六年級學生 英語學習成就與學習態度影響之研究〔未出版之碩士論文〕。國立清華大學。
- * 邱文彬（2021）。結合虛擬實境與擴增實境發展「細胞的分裂」學習系統並評估其對學生概念理解與科學學習動機的影響〔未出版之碩士論文〕。國立清華大學。
- * 邱華慧（2013）。情境式學習活動對科技大學學生學習成效與興趣之影響——以兒童發展評量為例〔未出版之博士論文〕。國立彰化師範大學。
- * 林怡君、施登堯（2018）。虛擬實境輔助國中籃球教學之研究。嘉大體育健康休閒期刊, 17 (2), 48-59。[https://doi.org/10.6169/NCYUJPEHR.201808_17\(2\).04](https://doi.org/10.6169/NCYUJPEHR.201808_17(2).04)
- * 陳周齊（2019）。虛擬實境融入國小學生星空教學之研究〔未出版之碩士論文〕。國立臺北教育大學。
- * 陳鴻仁、林玟珊、張雅雯（2022）。運用認知風格探討虛擬實境適性英語字彙教學學習成效與學習動機。數位學習科技期刊, 14 (1), 31-54。<https://doi.org/10.53106/2071260X2022011401002>
- * 張淑華（2020）。溶解虛擬實驗室的發展及其對學生科學學習成就、概念理解和科學態度的影響〔未出版之碩士論文〕。國立清華大學。

- *張雅雯（2019）。虛擬實境結合悅趣化數位學習對國小五年級學生數學體積單元學習成效、學習態度與學習動機之影響〔未出版之碩士論文〕。國立屏東大學。
- *張靜宜（2020）。球形虛擬實境影片體驗對學生學習產科教育的影響。國立臺灣科技大學人文社會學報，16（3），235-252。
- 許煌珠（2020）。虛擬實境美髮與衛生技能訓練之系統設計與應用研究〔未出版之博士論文〕。亞洲大學。
- *許煌珠、張榮吉（2021）。虛擬實境技術應用於傳統師徒制技能學習之影響。國立臺灣科技大學人文社會學報，17（2），171-196。
- *郭懿心（2020）。國小天文概念虛擬實境教材之開發與應用〔未出版之碩士論文〕。臺北市立大學。
- *葉承峰、楊晰助（2021）。運用虛擬實境與數位遊戲學習於國小學生的鄉土文化教學：以學習成效和鄉土認同觀點之實證研究。教育傳播與科技研究，126，1-19。https://doi.org/10.6137/RECT.202108_(126).0001
- *葉軒均（2020）。使用虛擬實境於5E探究式教學對國中七年級學生生物科學習成效之影響〔未出版之碩士論文〕。國立清華大學。
- 廖遠光（2012）。後設分析及其在數位學習上的應用。載於宋曜廷（主編），數位學習研究方法（頁109-136）。高等教育。
- 廖遠光、陳政煥、楊永慈（2020）。行動學習對臺灣學生學業成就影響之後設分析。當代教育研究季刊，28（3），67-102。https://doi.org/10.6151/CERQ.202009_28(3).0003
- *蔡卉咨（2020）。虛擬實境融入合作學習策略提升國一學生生物科學習成效與學習滿意度之研究。〔未出版之碩士論文〕。淡江大學
- *蔡宏為（2020）。利用虛擬實境與創造力技法於專題導向式STEAM課程對學習成效、創造力、自我效能與實作能力之影響〔未出版之碩士論文〕。國立臺灣師範大學。https://doi.org/10.6345/NTNU202001464
- *潘奕君（2021）。虛擬實境融入國小兒童注意力訓練之研究〔未出版之碩士論文〕。國立清華大學。
- Avcı, Ş. K., Çoklar, A. N., & İstanbullu, A. (2019). The effect of three dimensional virtual environments and augmented reality applications on the learning achievement: A meta-analysis study. *Education and Science*, 44(198), 149-182. http://doi.org/10.15390/EB.2019.7969
- Bar-Haim, Y., Lamy, D., Pergamin, L., Bakermans-Kranenburg, M. J., & van IJzendoorn, M. H. (2007). Threat-related attentional bias in anxious and nonanxious individuals: A meta-analytic study. *Psychological Bulletin*, 133(1), 1-24. https://doi.org/10.1037/0033-2909.133.1.1
- *Bhagat, K. K., Liou, W.-K., & Chang, C.-Y. (2016). A cost-effective interactive 3D virtual reality system applied to military live firing training. *Virtual Reality*, 20(2), 127-140. https://doi.org/10.1007/s10055-016-0284-x
- Borenstein, M., Hedges, L. V., Higgins, J. P. T., & Rothstein, H. R. (2009). *Introduction to meta-analysis*. Wiley.
- *Chang, C.-Y., Sung, H.-Y., Guo, J.-L., Chang, B.-Y., & Kuo, F.-R. (2019). Effects of spherical video-based virtual reality on nursing students' learning performance in childbirth education training. *Interactive Learning Environments*, 30(3), 400-416. https://doi.org/10.1080/10494820.2019.1661854
- Chang, X., & Wu, B. (2021). Effects of immersive spherical video-based virtual reality on cognition and affect outcomes of learning: A meta-analysis. In M. Chang, N.-S. Chen,

- D. G. Sampson, & A. Tlili (Eds.), *Proceedings of 2021 International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT)* (pp. 389-391). The Institute of Electrical and Electronics Engineers. <https://doi.org/10.1109/ICALT52272.2021.00124>
- Chen, B., Wang, Y., & Wang, L. (2022). The effects of virtual reality-assisted language learning: A meta-analysis. *Sustainability*, 14(6), Article 3147. <https://doi.org/10.3390/su14063147>
- *Chen, C.-H., Hung, H.-T., & Yeh, H.-C. (2021). Virtual reality in problem-based learning contexts: Effects on the problem-solving performance, vocabulary acquisition and motivation of English language learners. *Journal of Computer Assisted Learning*, 37(3), 851-860. <https://doi.org/10.1111/jcal.12528>
- *Chen, C.-T. (2012). Development and evaluation of senior high school courses on emerging technology: A case study of a course on virtual reality. *Turkish Online Journal of Educational Technology*, 11(1), 46-59.
- Chen, F.-Q., Leng, Y.-F., Ge, J.-F., Wang, D.-W., Li, C., Chen, B., & Sun, Z.-L. (2020). Effectiveness of virtual reality in nursing education: Meta-analysis. *Journal of Medical Internet Research*, 22(9), Article e18290. <https://doi.org/10.2196/18290>
- *Chen, H.-L., & Liao, Y.-C. (2022). Effects of panoramic image virtual reality on the workplace English learning performance of vocational high school students. *Journal of Educational Computing Research*, 59(8), 1601-1622. <https://doi.org/10.1177/0735633121999851>
- *Chen, J.-C., Huang, Y., Lin, K.-Y., Chang, Y.-S., Lin, H.-C., Lin, C.-Y., & Hsiao, H.-S. (2020). Developing a hands-on activity using virtual reality to help students learn by doing. *Journal of Computer Assisted Learning*, 36(1), 46-60. doi.org/10.1111/jcal.12389
- Chen, L., Cai, G., Weng, H., Wang, Y., Chen, Y., Chen, X., & Ye, Q. (2020). The effect of virtual reality on the ability to perform activities of daily living, balance during gait, and motor function in Parkinson disease patients: A systematic review and meta-analysis. *American Journal of Physical Medicine & Rehabilitation*, 99(10), 917-924. <https://doi.org/10.1097/PHM.0000000000001447>
- *Chen, Y.-C., Chang, Y.-S., & Chuang, M.-J. (2022). Virtual reality application influences cognitive load-mediated creativity components and creative performance in engineering design. *Journal of Computer Assisted Learning*, 38(1), 6-18. <https://doi.org/10.1111/jcal.12588>
- *Chiang, T. H.-C. (2021). Investigating effects of interactive virtual reality games and gender on immersion, empathy and behavior into environmental education. *Frontiers in Psychology*, 12, Article 608407. <https://doi.org/10.3389/fpsyg.2021.608407>
- Christman, E., Badgett, J., & Lucking, R. (1997). Progressive comparison of the effects of computer-assisted instruction on the academic achievement of secondary students. *Journal of Research on Computing in Education*, 29(4), 325-337. <https://doi.org/10.1080/08886504.1997.10782202>
- Clark, R. E. (1983). Reconsidering research on learning from media. *Review of Educational Research*, 53(4), 445-459. <https://doi.org/10.3102/00346543053004445>
- Cohen, L., Manion, L., & Morrison, K. (2007). *Research methods in education*. Routledge.
- Department of Defense. (2018). *The Digital Engineering, Modeling and Simulation (DEM&S)*

- Glossary*. <https://ac.cto.mil/de-ms-glossary/>
- Dickey, M. D. (2005). Three-dimensional virtual worlds and distance learning: Two case studies of Active Worlds as a medium for distance education. *British Journal of Educational Technology*, 36(3), 439-451. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2005.00477.x>
- Escobar-Castillejos, D., Noguez, J., Neri, L., Magana, A., & Benes, B. (2016). A review of simulators with haptic devices for medical training. *Journal of Medical Systems*, 40(4), Article 104. <https://doi.org/10.1007/s10916-016-0459-8>
- Feng, Z., González, V. A., Amor, R., Lovreglio, R., & Cabrera-Guerrero, G. (2018). Immersive virtual reality serious games for evacuation training and research: A systematic literature review. *Computers & Education*, 127, 252-266. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2018.09.002>
- Freitas, M. R., & Ruschel, R. C. (2013). What is happening to virtual and augmented reality applied to architecture? In R. Stouffs, P. Janssen, S. Roudavski, & B. Tunçer (Eds.), *Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2013)* (pp. 407-416). The Association for Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA). <https://doi.org/10.52842/conf.caadria.2013.407>
- Furtak, E. M., Seidel, T., Iverson, H., & Briggs, D. C. (2012). Experimental and quasi-experimental studies of inquiry-based science teaching: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, 82(3), 300-329. <https://doi.org/10.3102/0034654312457206>
- Gall, M. D., Borg, W. R., & Gall, J. P. (1996). *Educational research: An introduction* (6th ed.). Longman Publishers.
- Gavish, N., Gutiérrez, T., Webel, S., Rodríguez, J., Peveri, M., Bockholt, U., & Tecchia, F. (2015). Evaluating virtual reality and augmented reality training for industrial maintenance and assembly tasks. *Interactive Learning Environments*, 23(6), 778-798. <https://doi.org/10.1080/10494820.2013.815221>
- Glass, G. V., McGaw, B., & Smith, M. L. (1981). *Meta-analysis in social science research*. Sage Publications.
- *Guan, J.-Q., Wang, L.-H., Chen, Q., Jin, K., & Hwang, G.-J. (2021). Effects of a virtual reality-based pottery making approach on junior high school students' creativity and learning engagement. *Interactive Learning Environments*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1871631>
- Guo, H., Ma, Y., Wang, A., Xiang, Z., Den, L., & Fan, W. (2021). Immersive virtual reality in K-12 and outcomes: A meta-analysis. In S. F. Zhang & H. L. Wang (Eds.), *Proceeding of 2021 4th International Conference on Information Systems and Computer Aided Education* (pp. 2928-2934). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3482632.3487542>
- Hawkins, D. G. (1995). Virtual reality and passive simulators: The future of fun. In F. Biocca & M. R. Levy (Eds.), *Communication in the age of virtual reality* (pp. 159-189). Lawrence Erlbaum Associates. <https://doi.org/10.4324/9781410603128-12>
- Hew, K. F., & Cheung, W. S. (2010). Use of three-dimensional (3-D) immersive virtual worlds in K-12 and higher education settings: A review of the research. *British Journal of Educational Technology*, 41(1), 33-55. <https://doi.org/10.1111/j.1467-8535.2008.00900.x>
- Higgins, J. P. T., Thompson, S. G., Deeks, J. J., &

- Altman, D. G. (2003). Measuring inconsistency in meta-analyses. *British Medical Journal*, 327(7414), 557-560. <https://doi.org/10.1136/bmj.327.7414.557>
- Howard, M. C. (2017). A meta-analysis and systematic literature review of virtual reality rehabilitation programs. *Computers in Human Behavior*, 70, 313-327. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.01.013>
- Howard, M. C., & Gutworth, M. B. (2020). A meta-analysis of virtual reality training programs for social skill development. *Computers & Education*, 144, Article 103707. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103707>
- Howard, M. C., Gutworth, M. B., & Jacobs, R. R. (2021). A meta-analysis of virtual reality training programs. *Computers in Human Behavior*, 121, Article 106808. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2021.106808>
- *Hung, C.-M., Hwang, G.-J., Huang, I., & Li, J.-M. (2010). Effects of interactively virtual reality on achievements and attitudes of pupils: A case study on a natural science course. *WSEAS Transactions on Information Science and Applications*, 7(12), 1413-1422.
- Kyaw, B. M., Saxena, N., Posadzki, P., Vseteckova, J., Nikolaou, C. K., George, P. P., Divakar, U., Masiello, I., Kononowicz, A. A., Zary, N., & Car, L. T. (2019). Virtual reality for health professions education: Systematic review and meta-analysis by the digital health education collaboration. *Journal of Medical Internet Research*, 21(1), Article e12959. <https://doi.org/10.2196/12959>
- LaViola, J. J., Jr. (2000). A discussion of cybersickness in virtual environments. *ACM SIGCHI Bulletin*, 32(1), 47-56. <https://doi.org/10.1145/333329.333344>
- *Lee, I.-J. (2020). Applying virtual reality for learning woodworking in the vocational training of batch wood furniture production. *Interactive Learning Environments*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/10494820.2020.1841799>
- Liao, Y.-K. C., & Bright, G. W. (1991). Effects of computer programming on cognitive outcomes: A meta-analysis. *Journal of Educational Computing Research*, 7(3), 251-268. <https://doi.org/10.2190/E53G-HH8K-AJRR-K69M>
- Lipsey, M. W., & Wilson, D. B. (2001). *Practical meta-analysis*. Sage Publications.
- Lopreiato, J. O. et al. (Eds.) (2016). *Health-care simulation dictionary*. Agency for Healthcare Research and Quality. https://www.researchgate.net/publication/318661581_Healthcare_Simulation_Dictionary
- Luo, H., Li, G., Fen, Q., Yang, Y., & Zuo, M. (2021). Virtual reality in K-12 and higher education: A systematic review of the literature from 2000 to 2019. *Journal of Computer assisted Learning*, 37(3), 887-901. <https://doi.org/10.1111/jcal.12538>
- Makransky, G., & Petersen, G. B. (2019). Investigating the process of learning with desktop virtual reality: A structural equation modeling approach. *Computers & Education*, 134, 15-30. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.02.002>
- Mantovani, F., Castelnuovo, G., Gaggioli, A., & Riva, G. (2003). Virtual reality training for health-care professionals. *Cyberpsychology & Behavior*, 6(4), 389-395. <https://doi.org/10.1089/109493103322278772>
- McCauley, M. E., & Sharkey, T. J. (1992). Cybersickness: Perception of self-motion in virtual environments. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, 1(3), 311-318. <https://doi.org/10.1162/pres.1992.1.3.311>

- McCloy, R., & Stone, R. (2001). Science, medicine, and the future: Virtual reality in surgery. *British Medical Journal*, 323(7318), 912-915. <https://doi.org/10.1136/bmj.323.7318.912>
- Merchant, Z., Goetz, E. T., Cifuentes, L., Keeney-Kennicutt, W., & Davis, T. J. (2014). Effectiveness of virtual reality-based instruction on students' learning outcomes in K-12 and higher education: A meta-analysis. *Computers & Education*, 70, 29-40. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.07.033>
- Omale, N. M. (2010). *Exploring the use of 3-D multi-user virtual environments for online problem-based learning* [Unpublished doctoral dissertation]. Northern Illinois University.
- Orwin, R. G. (1983). A fail-safe *N* for effect size in meta-analysis. *Journal of Educational and Behavioral Statistics*, 8(2), 157-159. <https://doi.org/10.3102/10769986008002157>
- Patterson, T., & Han, I. (2019). Learning to teach with virtual reality: Lessons from one elementary teacher. *TechTrends*, 63(4), 463-469. <https://doi.org/10.1007/s11528-019-00401-6>
- Raudenbush, S. W. (1994). Random effects models. In H. Cooper & L. V. Hedges (Eds.), *The handbook of research synthesis* (pp. 301-321). Russell Sage Foundation.
- Rosenthal, R. (1979). The "file drawer problem" and tolerance for null results. *Psychological Bulletin*, 86(3), 638-641. <https://doi.org/10.1037/0033-2909.86.3.638>
- Schmidt, F. L., Oh, I.-S., & Hayes, T. L. (2009). Fixed-versus random-effects models in meta-analysis: Model properties and an empirical comparison of differences in results. *British Journal of Mathematical and Statistical Psychology*, 62(1), 97-128. <https://doi.org/10.1348/000711007X255327>
- Steuer, J. (1992). Defining virtual reality: Dimensions determining telepresence. *Journal of Communication*, 42(4), 73-93. <https://doi.org/10.1111/j.1460-2466.1992.tb00812.x>
- Suh, A., & Prophet, J. (2018). The state of immersive technology research: A literature analysis. *Computers in Human Behavior*, 86, 77-90. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2018.04.019>
- Tilhout, R., Taylor, V., & Crompton, H. (2020). 3D virtual reality in K-12 education: A thematic systematic review. In S. Yu, M. Ally, & A. Tsinakos (Eds.), *Emerging technologies and pedagogies in the curriculum. Bridging human and machine: Future education with intelligence* (pp. 169-184). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-15-0618-5_10
- Ventura, S., Badenes-Ribera, L., Herrero, R., Cebolla, A., Galiana, L., & Baños, R. (2020). Virtual reality as a medium to elicit empathy: A meta-analysis. *Cyberpsychology, Behavior, and Social Networking*, 23(10), 667-676. <https://doi.org/10.1089/cyber.2019.0681>
- Villena-Taranilla, R., Tirado-Olivares, S., Cózar-Gutiérrez, R., & González-Calero, J. A. (2022). Effects of virtual reality on learning outcomes in K-6 education: A meta-analysis. *Educational Research Review*, 35, Article 100434. <https://doi.org/10.1016/j.edurev.2022.100434>
- Wu, B., Yu, X., & Gu, X. (2020). Effectiveness of immersive virtual reality using head-mounted displays on learning performance: A meta-analysis. *British Journal of Educational Technology*, 51(6), 1991-2005. <https://doi.org/10.1111/bjet.13023>
- *Wu, Y.-H. S., & Hung, S.-T. A. (2022). The effects of virtual reality infused instruction on elementary school students' English-speaking

- performance, willingness to communicate, and learning autonomy. *Journal of Educational Computing Research*, 60(6), 1558-1587. <https://doi.org/10.1177/07356331211068207>
- Yammine, K., & Violato, C. (2015). A meta-analysis of the educational effectiveness of three-dimensional visualization technologies in teaching anatomy. *Anatomical Sciences Education*, 8(6), 525-538. <https://doi.org/10.1002/ase.1510>
- *Yang, J. C., Chen, C. H., & Chang, J. M. (2010). Integrating video-capture virtual reality technology into a physically interactive learning environment for English learning. *Computers & Education*, 55(3), 1346-1356. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.06.005>
- Youngblut, C. (1998). Educational uses of virtual reality technology (IDA Document D-2128). *Institute for Defense Analyses*. <http://papers.cumincad.org/data/works/att/94ea.content.pdf>
- Yu, Z. (2021). A meta-analysis of the effect of virtual reality technology use in education. *Interactive Learning Environments*. Advance online publication. <https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1989466>
- Zhao, J., Xu, X., Jiang, H., & Ding, Y. (2020). The effectiveness of virtual reality-based technology on anatomy teaching: A meta-analysis of randomized controlled studies. *BMC Medical Education*, 20, Article 127. <https://doi.org/10.1186/s12909-020-1994-z>

附錄：各研究之平均數、標準差及人數

Authors	<i>N</i> of ES	exp <i>N</i>	cont <i>N</i>	exp pre <i>M</i>	exp pre <i>SD</i>	cont pre <i>M</i>	cont pre <i>SD</i>	exp post <i>M</i>	exp post <i>SD</i>	cont post <i>M</i>	cont post <i>SD</i>	<i>F</i> value
Bhagat 等人 (2016)	3	120	40					7.50	0.72	5.40	0.75	
		120	40					0.77	5.40	0.75		
		120	40				8.90	0.69	5.40	0.75		
C.-Y., Chang 等人 (2019)	3	32	32					0.41	3.89	0.74		
		32	32				4.32	0.31	4.51	0.38		
		32	32				4.68	0.32	4.41	0.41		
C.-T. Chen (2012)	4	31	21					38.29	3.33	33.96	4.57	
		31	21				3.66	46.33	5.86	43.14	7.74	
		31	21				5.09	56.68	8.99	49.14	13.40	
		31	21				13.43	17.16	3.16	14.71	3.86	
C.-H. Chen 等人 (2021)	6	42	42				4.15	4.51	0.97	4.11	0.87	3.88
		42	42					4.39	0.87	4.14	0.83	1.67
		42	42					4.68	0.67	4.24	0.95	5.97
		42	42					4.48	0.82	4.21	0.82	2.20
		42	42					4.44	0.85	3.98	0.99	5.20
		42	42					4.29	0.79	4.13	0.94	1.83
H.-L. Chen 與 Liao (2022)	1	53	53					3.41	6.03	3.33	4.91	
					8.43	2.89	6.72					
Chiang (2021)	1	32	32									153.16
Guan 等人 (2021)	10	34	30					4.60	0.74	4.02	0.53	
		34	30					4.61	0.41	4.13	0.55	
		34	30					4.59	0.43	4.27	0.56	
		34	30					4.10	0.44	3.86	0.59	
		34	30					4.47	0.37	4.07	0.45	
		34	33					4.60	0.74	4.31	0.41	

Authors	N of ES	exp N	cont N	exp pre M	exp pre SD	cont pre M	cont pre SD	exp post M	exp post SD	cont post M	cont post SD	F value
Lee (2020)	1	34	33					4.61	0.41	4.68	0.35	
		34	33					4.59	0.43	4.69	0.35	
		34	33					4.10	0.44	4.17	0.38	
		34	33					4.47	0.37	4.46	0.27	
Y.-H. S. Wu 等人 (2022)	2	15	14					6.67	0.49	2.20	0.67	
		28	28					3.42	0.37	3.01	0.37	
		28	28					3.13	0.28	3.24	0.43	
		30	30					4.73	0.52	4.60	0.93	
Yang 等人 (2010)	8	30	30					4.30	1.12	3.83	1.58	
		30	30					4.67	0.61	4.30	1.29	
		30	30					4.50	1.04	3.50	1.53	
		30	30					4.30	1.21	3.30	1.66	
		30	30					4.33	0.92	4.53	1.14	
		30	30					2.37	1.75	3.63	1.59	
		30	30					4.63	0.77	3.63	1.69	
		47	45	111.17	15.47	116.27	16.13	108.34	17.70	115.82	16.04	
		29	29					16.57	2.20	15.02	2.16	
		30	35	3.50	0.57	3.73	0.71	3.69	0.56	3.86	0.57	
文爾雅 (2018)	1	47	45	111.17	15.47	116.27	16.13	108.34	17.70	115.82	16.04	
		29	29					16.57	2.20	15.02	2.16	
		30	35	3.50	0.57	3.73	0.71	3.69	0.56	3.86	0.57	
		47	51	2.59	0.24	2.66	0.17	3.18	3.18	3.11	0.46	
何欣樺 (2019)	2	47	50	2.59	0.24	2.62	0.19	3.18	3.18	2.97	0.45	
		47	50	2.59	0.24	2.62	0.19	3.18	3.18	2.97	0.45	
		34	16	82.85	7.55	78.63	9.98	92.79	9.08	77.50	11.41	
		34	16	59.03	4.78	59.63	9.79	60.41	4.91	63.63	8.82	
李易庭 (2020)	1	34	16	78.21	10.44	77.75	16.89	72.82	11.65	77.81	17.99	
		41	40	104.27	20.96	104.70	13.33	117.78	13.81	110.83	22.28	
		79	78	53.81	8.72	54.56	9.71	58.61	8.90	55.22	9.76	
		41	41	99.82	10.63	104.33	18.18	116.65	11.89	107.95	16.76	
李姿儀 (2019)	2	41	40	99.82	10.63	96.50	12.97	116.65	11.89	112.68	11.33	
		41	40	99.82	10.63	96.50	12.97	116.65	11.89	112.68	11.33	

Authors	N of ES	exp N	cont N	exp pre M	exp pre SD	cont pre M	cont pre SD	exp post M	exp post SD	cont post M	cont post SD	F value
林怡君與施登堯 (2018)	1	27	27	146.89	21.64	148.89	20.14	167.18	17.03	162.59	19.61	
邱文彬 (2021)	1	49	51	0.94	1.13	0.78	1.19	64.59	13.59	59.71	13.99	
邱華慧 (2013)	2	49	53					4.39	0.30	3.94	0.66	
		49	42					4.39	0.30	3.87	0.34	
張淑華 (2020)	1	57	56	79.33	10.43	69.05	12.13	131.56	11.51	115.14	21.18	
張雅雯 (2019)	2	26	26					73.96	11.52	69.04	13.72	
張靜宜 (2020)	3	18	18	90.71	13.18	90.20	13.55	92.33		91.96		0.87
		18	18					4.33	0.40	3.49	0.62	
		18	18					4.67	0.30	4.58	0.35	
		18	18					4.73	0.31	4.19	0.47	
許煌珠與張榮吉 (2021)	1	30	30					4.37	0.58	3.77	0.93	
郭懿心 (2020)	1	32	40	83.84	22.71	76.50	26.79	88.84	28.46	89.23	31.52	
陳周齊 (2019)	10	45	46					1.80	0.90	1.93	1.03	
		45	46					2.37	1.31	2.88	1.24	
		28	25	42.63	3.85	42.14	2.87	43.09	4.55	39.89	5.50	
		28	25	41.54	4.18	41.01	3.85	42.09	4.44	38.92	4.86	
		28	25	41.63	3.99	40.58	4.05	42.00	4.95	38.35	4.94	
		28	25	42.77	4.04	41.60	4.33	42.14	4.81	67.40	4.67	
		28	25	40.00	4.15	41.33	3.85	41.09	5.02	65.21	5.28	
		28	25	69.80	6.55	68.08	4.64	71.63	7.90	61.78	7.53	
		28	25	69.86	4.87	68.90	6.78	68.86	7.09	36.63	7.45	
		28	25	68.91	7.57	69.17	6.72	69.91	7.47	110.63	10.13	
陳鴻仁等人 (2022)	2	19	19					48.16	19.65	36.63	10.39	
葉承峰與	2	19	19					129.79	17.36	110.63	26.44	
楊晰助 (2021)		48	44					4.01	0.44	3.97	0.80	
葉軒均 (2020)	3	30	28					4.44	0.44	3.96	0.33	
		30	28					3.88	0.69	3.95	0.92	

Authors	N of ES	exp N	cont N	exp pre M	exp pre SD	cont pre M	cont pre SD	exp post M	exp post SD	cont post M	cont post SD	F value
潘奕君 (2021) 蔡芹咨 (2020)	1	30	28					3.80	0.79	3.97	1.02	
								3.88	0.69	3.67	1.11	
	8	33	32					20.33	6.03	25.75	7.06	
		24	26					21.00		5.56	19.96	4.50
		24	26					26.29	5.13	24.31	4.43	
		24	26					25.71	5.24	22.15	5.89	
		24	26					39.25	7.50	36.50	5.10	
		25	25					23.64	4.25	22.36	4.09	
蔡宏為 (2020)	2	25	25					26.96	4.91	26.52	4.81	
		25	25					24.72	5.52	25.44	5.38	
		25	25					40.12	6.25	37.72	7.31	
		81	60	114.73	26.17	105.07	20.75	124.38	21.73	115.80	19.88	
			30	114.73	26.17	117.23	21.36	124.38	21.73	117.07	21.75	

資料來源：本研究整理。