

# 數位教材品質檢核指標之建立 ——以沉浸式虛擬實境教材為例

郭盈芝 徐新逸

沉浸式虛擬實境 (immersive virtual reality, IVR) 對教學有正面助益，在教育應用越趨廣泛。然IVR教材品質則因缺乏標準而落差甚鉅。本研究以模糊德菲法 (Fuzzy Delphi Method, FDM) 及層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 探討IVR之特質，並發展出IVR教材品質檢核之4個構面與15項指標，且明確列出各指標之重要性相對權重。研究結果顯示「教材內容」為最重要的構面，權重占37.5%。指標當中最重要者為「教材內容正確性」，權重占所有指標的21.8%。本研究發現IVR教材品質指標異於虛擬實境 (virtual reality, VR) 教材的標準與沉浸感及互動有關，有「虛擬環境的畫面具擬真性」、「虛擬環境能提供具沉浸感的畫面品質」、「虛擬環境呈現之訊息量適宜」及「學習者能與素材進行互動」等4項。本研究提出IVR教材品質指標及重要性權重，可作為未來教師選擇教材、研發團隊開發教材、及主管單位進行評鑑或認證教材時的重要參考依據。

關鍵詞：沉浸式虛擬實境、虛擬實境教材開發、品質檢核指標

收件：2022年9月8日；修改：2023年2月3日；接受：2023年3月3日

# Digital Learning Materials in Technical and Vocational Education and Training: A Systematic Review of Research and Applications

Ying-Chih Kuo      Hsin-Yih Shyu

The application of immersive virtual reality (IVR) in education is increasing because of its educational benefits. However, low-quality IVR educational materials present a challenge for teachers, and quality standards have not yet been established. This study used the fuzzy Delphi method and hierarchical analysis to develop a quality assurance framework for IVR materials; furthermore, 4 dimensions and 15 indicators for IVR educational materials were developed, and relative weights were applied to them. The results of this study demonstrated that “material content” was the most important determinant, with a weight of 37.5%. The most important indicator was “content correctness”, accounting for 21.8% of all indicators. The indicators of IVR material quality in this study were different from those used in previous studies. The most important indicators in this study were related to immersion and interaction and included “the virtual environment is realistic,” “the image quality in the virtual environment can provide an immersive experience,” “the amount of information presented in the virtual environment is appropriate,” and “the learner can interact with the material.” The results of this study provide a crucial reference for those adopting, developing, or evaluating IVR materials, such as research and development teams and teachers.

Keywords: immersive virtual reality, virtual-reality-material development, quality assurance indicators

Received: September 8, 2022; Revised: February 3, 2023; Accepted: March 3, 2023

---

Ying-Chih Kuo, Assistant Professor, Department of Applied Information Technology, Hsing Wu University.

Hsin-Yih Shyu, Distinguished Professor, Department of Educational Technology, Tamkang University, E-mail: hyshyu@mail.tku.edu.tw

## 壹、前言

沉浸式虛擬實境 (immersive virtual reality, IVR) 是指透過頭盔顯示器，並可搭配數據手套等各種互動科技設備，將使用者的視覺、聽覺和其他感覺封閉起來，讓使用者真正成為 IVR 系統內部的一個參與者，並能利用這些互動設備進行操作和駕馭虛擬環境，產生一種身臨其境、全心投入和沉浸其中的感覺 (Slater & Sanchez-Vives, 2016)。

IVR 受到更多的關注，因其在教育的應用上，它能使學生沉浸在互動的不同環境中，提供學習者體驗並能使學習者積極參與不同的學習任務 (Checa & Bustillo, 2020; Radianti et al., 2020; Snelson & Hsu, 2020)。許多研究也開始投入探討虛擬實境 (virtual reality, VR) 與 IVR 的差異 (Nuguri et al., 2020; Zhao et al., 2020; Zizza et al., 2018)，並重視教材開發過程中應該關注的重點，例如，討論教學設計 (Chen et al., 2019)、探討使用者介面 (Shih et al., 2019; Sun et al., 2019; Yang et al., 2018) 等，但鮮少有研究調查 IVR 教材開發時應注意的教學元素，特別是 IVR 的沉浸性特性與一般 VR 教材仍有許多設計上的差異需克服。Xie 與 Luthy (2017) 即強調評估數位教育資源品質的重要性，且其品質對教學的影響甚鉅。過去已有針對數位教材或 VR 教材開發相關的指標，但仍未有針對 IVR 教材應備的設計開發元素進行探討。

本研究蒐集並分析目前已發表的 IVR 教材相關文獻，探討目前所開發的 IVR 教材中在教育應用上應具備的評估構面及指標，透過模糊德菲法 (Fuzzy Delphi Method, FDM) 及層級分析法 (Analytic Hierarchy Process, AHP) 找出構面及指標重要性的相對權重，藉以讓開發 IVR 教材的製作者在教材設計階段有參考準則，也可提供教師在選擇 IVR 教材時有參考依據。

## 貳、文獻探討

VR 科技應用在教育領域可以讓學習者能夠與電腦創造出來的虛擬環境進行互動，使許多在真實世界中無法看見的抽象畫面得以透過擬真環境實現，這有助於理解想像中的世界。隨著技術快速躍進，以沉浸程度與高互動的特點，讓 IVR 在教育領域具有強大的潛力，它可以提供許多可以促進學習成效的學習活動。IVR 在教學的應用效果良好，且用於程序技能、知識教學及訓練的學習效果相當顯著（Bharathi & Tucker, 2015; Sankaranarayanan et al., 2018; Yoganathan et al., 2018），學習者在經過 IVR 體驗式學習後，再於現實世界中完成任務，會因為其具備替代經驗而縮短習得時間。例如，Yoganathan 等人（2018）讓學生在 IVR 中練習如何打好手術結，然後在專家面前真實地完成這項任務，效果令人驚艷。亦即 IVR 提供的模擬真實經驗，對學習者的熟練度、技能訓練都已被證實能提升學習效果。

有關數位教材品質的檢核指標，多以各指標的發展階段或內容歸納出構面，形成一個檢核的架構標準。例如，美國訓練發展協會（American Society for Training and Development, ASTD）、英國公開和遠端教育品質委員會（Open & Distance Learning Quality Council, ODLQC），韓國教育和研究資訊服務處（Korea Education and Research Information Service, KERIS）所訂定的標準架構，都是呈現構面層次後，再於構面層次下說明各細項指標。因此，將先由文獻探討教材品質評估構面後，進而探討 IVR 教材的設計元素及知識類型，以發展 IVR 教材品質檢核指標初稿。

### 一、數位教材品質評估構面

有關數位教材的品質評估，各國自推動數位學習之初，即陸續成立數位平臺及數位教材的審核機構。臺灣數位教材品質的認證主要有數位學習品質服務中心（e-Learning Quality Service Center, eLQSC）

及數位學習認證中心（Accreditation and Certification in E-Learning, ACE）等。

隨著線上免費的教學資源愈來愈廣泛，教材評鑑也開始出現新的型態。美國加州州立大學遠距教學中心（California State University Center for Distributed Learning, CSU-CDL）於 1997 年成立 Multimedia Educational Resource for Learning and Online Teaching（MERLOT, <https://merlot.org/merlot/>），收錄 6 萬多種計畫成員蒐集、彙整，以及自行創作的線上免費教學資源，其對數位教材的評估標準包含內容質量（quality of content）、作為教學工具的潛在有效性（potential effectiveness as a teaching tool）及易用性（ease of use）3 個構面。Learning Object Review Instrument（LORI）是由 TeleLearning NCE, CANARIE Inc. and eduSourceCanada 共同支援開發的評估表（Nesbit et al., 2003），提供給個人或是評審小組對線上學習的資訊資源或互動式軟件的學習素材，進行數位教材的品質評估。該網站提供一個共享平臺，提供教材使用者共享資源，並留下自己的評估，從而降低總體生產成本。

對於數位學習的各項標準，除了 ODLQC 的標準主要針對數位學習提供機構的標準外，有些包含數位平臺，有些關注線上帶領，其差異甚大。本研究主要針對數位教材標準，與數位教材相關之構面彙整如表 1。隨著 VR 形式的數位教材陸續開發，徐新逸與郭盈芝（2020）也初步建構了虛擬實境教材品質確保之評估指標，其提出教材內容、介面設計、教學設計及回饋及評量 4 個構面，與前述各國在數位教材標準的構面相仿，可見在數位教材之標準構面，最受重視的仍為「教學設計」、「教材內容」、「互動回饋」及「介面設計」，本研究則以此 4 個構面做為品質檢核指標之第一層架構。

表 1 數位教材構面彙整表

標準來源 \ 構面	教學設計	教材內容	互動回饋	介面設計
ACE	教學策略	教材內容說明與架構	輔助設計	教材呈現與介面設計
eLQSC	教學設計	教材內容	學習指引	教材呈現與介面設計
KERIS	需求分析、教學設計、教學策略	學習內容	評量、回饋、互動性	支援系統
LORI	學習目標一致性	內容品質	回饋和適應	呈現設計、互動可用性
MERLOT	教學工具的潛在有效性	內容品質		易用性

## 二、IVR 教材設計元素

為確立 IVR 教材評估之指標，在彙整數位教材的評估構面後，將透過探討 IVR 的技術特性，作為設計開發準則。由於評估 IVR 教材的相關研究較為缺乏，所以先從類似的 VR 教材評估構面進行分析。目前針對 VR 教材評估有徐新逸與郭盈芝（2020）發展之 VR 教材評估指標，該研究並針對各檢核項目進行指標之權重分析，提供教材開發者在設計階段可依指標重要性做評估。徐新逸與郭盈芝（2020）指出排序前 10 項均落在「教材內容」及「教學設計」兩大構面，並強調在開發 VR 教材時，「教學設計」與「教材內容」構面是最具關鍵且重要的項目。然該研究並未特別深入探討 VR 關鍵的「沉浸性」特質，其檢核項目中提及 IVR 特性部分僅有：擬真效果呈現畫面及訊息數量適宜、非線性頁面設計，視覺能沉浸在中心任務、呈現主題任務是否具備沉浸感等項目。其所彙整的 4 個構面，特別是對教材內容及教學設計的重要性，以及各檢核項目的權重，可為本研究之檢核指標提供篩選的排序依據。

Radianti 等人 (2020) 分析 2009~2018 年發表的 IVR 文章發現，在 IVR 教材設計上，最常用的設計元素是基本互動 (24%) 及逼真環境 (17%)，立即回饋及指引說明各占 10%。其中有 9% 的內容設計能與其他使用者互動，被動觀察與集合或會議各占 8%，其他不到 5% 的設計元素還有自由移動、使用者互動產生的內容、虛擬獎勵、角色管理和知識測試。設計元素與知識類型的採用上，「基本互動」及「逼真環境」是所有知識類型都會採用的設計元素，這兩個設計特性是提升沉浸效果的重要基本元素。「基本互動」最常搭配使用的知識類型為程序性知識，其次是陳述性知識 (Němec et al., 2017; Rosenfield et al., 2018; Zhang et al., 2017)，再來是分析及問題解決。而「逼真環境」最常應用在程序性知識 (Smith et al., 2018) 及陳述性知識。而整合、立即回饋及說明這 3 個設計要素則多應用在程序性知識 (Radianti et al., 2020)。由此可知過去研究亦認為在不同知識類型下，IVR 教材最常被採用跟重視的設計元素可能有所差異。因此，本研究在進行指標重要性的檢核時，將同步探討設計元素的重要性是否因知識類型不同而有差異。

從過去對於 IVR 的相關研究設計元素中發現，最基本的設計元素是：基本互動及即時回饋 (Coelho et al., 2006; Lee et al., 2019)。對學習成效有顯著影響的則有與視覺回饋有關的逼真程度及畫面的品質，如圖像的品質、解析度都會影響沉浸程度，而間接影響學習成效 (Jensen & Konradsen, 2018; Maresky et al., 2019; Radianti et al., 2020)。除此之外，額外的感官刺激則是增加沉浸程度及互動的重要設計 (Webster, 2016)。IVR 環境中所呈現的資訊內容及品質相當重要之外，其呈現的數量也應適宜，否則將造成認知負荷，使用者將在虛擬的環境中迷失，也都會降低使用者的沉浸感 (Kalawsky, 2000)。因此，IVR 教材在介面設計應注重圖像品質、資訊內容的數量及難易度。

關於 IVR 設計元素，參考 Radianti 等人彙整 (2020) 並納入其他相關文獻提出的元素，作為本研究 IVR 特性構面中檢核指標的重要項目。文獻中特別提到 IVR 彙整的設計元素有：(一) 逼真環境；(二) 基本



互動；（三）即時回饋；（四）學習指引；（五）虛擬獎勵；（六）自由移動；（七）與其他使用者互動；（八）被動觀察；（九）知識測驗，彙整如表 2。其中最多研究認為必要的 IVR 設計元素有：擬真環境、基本互動、即時回饋及學習指引。此 4 個設計元素都有 4 篇以上文獻支持，將納入檢核指標初稿。其他研究提到的設計元素還有虛擬獎勵、自由移動、與其他使用者互動、被動觀察及知識測驗等。由於 IVR 為本研究的關鍵特性，部分特性涉及教學設計或介面設計，因此在初稿階段將調整上列設計元素納入各構面中。

綜合關於 IVR 教材品質檢核的項目，其中教學內容、教學設計的項目多與原有之數位教材內容相似，但在介面設計及互動回饋部分，因 IVR 特性應略微調整檢核指標，因而將上述 4 個構面之外的 IVR 特性獨立為一構面。

表 2 IVR 設計元素彙整表

設計元素	說明	來源文獻
1. 擬真環境	虛擬環境具有很高畫質品質的圖形，設計用於在現實世界中複製特定環境。	Hickman 與 Akdere (2018)；Kalawsky (2000)；Radianti 等人 (2020)；Smith 等人 (2018)；Zhang 等人 (2017)
2. 基本互動	使用者可以選擇虛擬對象，並以不同的管道與之互動。這包括以書面或口頭形式檢索有關對象的附加資訊、獲取和旋轉對象、放大對象以查看更多細節，以及更改對象的顏色或形狀。	Doležal (2017)；Hu 等人 (2016)；Lee 等人 (2019)；Němec 等人 (2017)；Román-Ibáñez 等人 (2018)；Rosenfield 等人 (2018)；Zhang 等人 (2017)
3. 即時回饋	使用者會收到即時的文字、聽覺或觸覺回饋。回饋告訴使用者是否正確地解決了學習任務，以及與虛擬對象的互動是否成功。	Doležal (2017)；Hickman 與 Akdere (2018)；Hu 等人 (2016)；Radianti 等人 (2020)；Román-Ibáñez 等人 (2018)

(續)



表 2 IVR 設計元素彙整表 (續)

設計元素	說明	來源文獻
4. 學習指引	使用者可以獲得有關如何使用虛擬實境應用程序以及如何執行學習任務的教程或說明。當使用者必須發現如何使用虛擬環境或如何獨立完成學習任務時，此設計元素不適用。	Doležal (2017) ; Egea-Vivancos 與 Arias-Ferrer (2020) ; Johnson-Glenberg (2018) ; Radianti 等人 (2020)
5. 虛擬獎勵	成功完成學習任務的使用者可以獲得虛擬獎勵。使用者可以透過獲得成就、徽章或更高級別能解鎖專有內容等來獲得虛擬獎勵。	Hu 等人 (2016) ; Radianti 等人 (2020) ; Zhang 等人 (2017)
6. 自由移動	使用者可以通過傳送或飛行來探索虛擬環境。	Doležal (2017) ; Radianti 等人 (2020)
7. 與其他使用者互動	使用者可以與其他使用者互動。互動可以以化身的形式並且經由諸如即時消息傳遞或語音聊天之類的通信工具進行。	Doležal (2017) ; Radianti 等人 (2020)
8. 被動觀察	使用者可以環視虛擬環境。或使用者可以沿著預定義的路徑移動，並可環顧四周。但是不能自己移動，也不能與虛擬對象或其他使用者互動。	Hickman 與 Akdere (2018) ; Radianti 等人 (2020)
9. 知識測驗	使用者可以通過知識測試、測驗或挑戰來檢查學習進度。	Radianti 等人 (2020) ; Zhang 等人 (2017)

### 三、IVR 教材的知識類型

從過去的回顧研究中探討適合使用 VR 的知識類型，在高等教育中最常被用於：（一）程序性—實踐性知識（procedural-practical knowledge），如依步驟完成滅火程序（Zhang et al., 2017）；（二）陳述性知識（declarative knowledge），如學習行星名稱（Papachristos et al., 2017）；（三）分析和解決問題的技能（analysis and problem-solving），如診斷患者（Harrington

et al., 2018) 或學習如何寫程式 (Román-Ibáñez et al., 2018)。其他學習內容類別包括交流、合作和軟技能 (10%)、行為影響 (6%) 和學習語言 (2%)。其他和未說明的類別分別占 6% 和 4%。

從過去研究可知 IVR 對於程序性—實踐性知識、陳述性知識及分析和解決問題的技能都有顯著的效果，而影響效果的關鍵在於教材的圖像品質以及設計內容是否符合教學目標。由此可見 IVR 的教材在進行設計時，除了仍應符合數位教材原有的教學設計、教學內容要項之外，其在介面設計宜特別注意其畫面品質。

在早期開發模擬教材時，Clark 與 Voogel (1985) 認為程序性知識適合高擬真性的教學模擬，例如，學習模擬飛行，就應將每個步驟具體設計得越接近真實情境越好。而陳述性知識則可以採用低擬真性的模擬就足夠，例如，間諜訓練只需要將「相關策略」及「重點」完整敘述即可，不需與真實情境完全一樣。在各項可能影響指標重要性的特性中，知識類型在教材製作上對設計元素的差異較為明顯，在教學活動中，認知過程必須依據知識類型進行設計，例如，陳述性知識需包含記憶理解，程序性知識需包含操作運用，條件性知識需包含分析與創造。而部分教材指標將因知識類型不同，其重要性也不盡相同。因此，在指標分析時亦將調查在陳述性知識、程序性知識及條件性知識 3 種知識類型，在各項指標的重要程度是否有差異。

#### 四、IVR 教材品質檢核指標初稿

皮連生與卞春麒 (1991) 分析知識分類與教學設計時指出，若教學內容為陳述性知識時，學習內容若沒有直接關聯性，則不需有固定的學習順序；若學習內容為程序性知識時，因為學習內容由簡至繁遞增，學習任務必須依由簡單到艱難的順序設計；但若為條件性知識時，學習者需能彙整所學知識進行判斷及選擇。上官水雨 (2019) 探究不同知識類型在圖文順序的影響發現，陳述性知識適合先文本後圖片，而程序性知識適合先圖片後文本，且其順序對學習效果是有影響的。因此，在

教學設計構面中的「學習任務有提供適當的探索機會」及「學前預備具有清楚且正確的指引」2項指標，以及互動回饋構面中的「學習任務安排具有合理的順序」與「學習者能與素材進行基本互動」2項指標，因涉及學習的順序或探索，均可能會因知識類型而有不同的重要性。Makransky 等人（2021）發現 IVR 能提升程序性知識與條件性知識上的學習效果與知識遷移，但在陳述性知識沒有顯著差異。

程序性知識及條件性知識被認為透過 IVR 的高沉浸感對學習有顯著的效果（Bertram et al., 2015; Çakiroğlu & Gökoğlu, 2019），透過 IVR 學習陳述性知識的學習內容，沒有太大的學習意義及效果，甚至可能會造成認知負荷（Makransky et al., 2019; Parong & Mayer, 2018）。Meyer 與 Pfeiffer（2020）則認為 VR 用在陳述性知識內容有較佳的學習效果，可見專家學者對於何種知識類型適合 IVR 教材有不同的看法，因此在沉浸設計構面中的「學習者能與其他虛擬角色互動」、「內容以第一人稱視角進行」、「提供多感官的互動功能」、「學習者能在虛擬環境中自由移動」及「學習者能在虛擬環境中被動觀察」5項指標，皆有可能會因知識類型而有不同的重要性。因此，在發展德菲法問卷時，上述9項指標將提供不同知識類型提供專家審視，透過彙整專家意見確認不同知識類型在這些指標中是否有不同的重要程度。依據上述文獻探討，初擬德菲法問卷初稿共有5個構面22指標，如表3所示。

表3 初擬德菲法構面及指標

構面	指標	指標說明
教材內容	內容正確性	內容沒有錯誤，沒有可能誤導學習者的偏見或遺漏資訊
	內容深度及廣度符合學習者程度	教材學習內容與學習目標訂定之學習者程度相符

（續）

表 3 初擬德菲法構面及指標（續）

構面	指標	指標說明
教材內容	內容及學習任務能達成預定的學習目標	內容及學習任務符合教材設計之學習目標，學習任務之設計能夠達成學習目標
	內容使用的文字敘述及圖像標示清楚且易於理解	1. 呈現學習內容之文字敘述語句順暢、清楚 2. 圖像能清楚表達學習內容，並輔以適當的文字說明
介面設計	介面功能容易操作與使用	學習者可清楚看見操作索引鍵，並可輕易對按鍵進行動作。最小化學習者的視覺蒐索
	介面設計具有一致性，在類似的動作有相同的活動方式	學習任務中移動、選取或進行動作的方式相同瀏覽是容易的、直觀的，使用者介面的行為是一致的和可預測的
	虛擬畫面為擬真的虛擬環境	虛擬畫面模擬真實環境，學習者能夠瞭解且模擬為第一人稱情境的環境
	虛擬畫面具備視覺沉浸的品質	虛擬畫面清楚，無模糊不清或無法辨識之畫面。文字清晰可辨。圖形和圖表有標籤、沒有雜亂
	擬真效果呈現訊息數量適宜	每個學習任務所呈現的訊息數量適宜，不會造成學習者認知負荷
教學設計	學習目標、教材內容、學習任務、評量機具一致性	清楚說明學習目標，學習活動、內容和評量與說明的目標一致，且學習任務能夠促使達成學習目標
	學習任務份量合理且明確	每個單元的學習目標與任務清楚且份量符合學習者
	學習任務有提供適當的探索機會*	學習者具有主導的空間，能夠在學習任務中自由探索
	學前預備具有清楚且正確的指引*	進入學習任務前有清楚的說明學習目標，並且在每個任務前有清楚正確的學習指引
	學習任務安排具有合理的順序*	學習任務的順序與學習目標一致，並且依由易至難邏輯排序

(續)

表 3 初擬德菲法構面及指標（續）

構面	指標	指標說明
互動回饋	學習任務有提供即時說明	學習者在任務中的每個動作均可以獲得有關如何執行學習任務的教學或說明
	學習任務有提供適當且清楚的回饋	學習者在任務中會收到視覺、聽覺或觸覺等感官回饋，得到的回應及互動資訊清楚，且數量適宜，不會造成學習者認知負荷
	學習者能與素材進行基本互動 *	學習者能夠與虛擬畫面中的各項素材進行各種形式的互動，並獲得回應。例如，檢視素材的附加資訊、選取、移動或旋轉素材等
	學習者能與其他虛擬角色互動 *	學習者在虛擬環境中能夠與其他虛擬角色進行互動
沉浸設計	內容以第一人稱視角進行 *	學習者能夠以第一人稱視角進行所有活動及任務
	提供多感官的互動功能 *	具視覺及聽覺的互動，及其他身體動作之互動功能
	學習者能在虛擬環境中自由移動 *	學習者能夠在虛擬環境中依個人意志，以第一人稱視角隨意移動，畫面根據學習者不同的移動，顯示不同畫面
	學習者能在虛擬環境中被被動觀察 *	學習者在虛擬環境中能夠以第一人稱視角被動觀察環境中的事件

註：\* 代表其重要性與知識類型有關。

## 參、研究方法

本研究主要研究目的為：（一）發展 IVR 教材品質檢核構面及指標；（二）分析 IVR 教材構面及指標權重。需藉由專家的專業知識與實務經驗之分享與共同判斷，提供不同領域的多重觀點，以使研究結果更為嚴謹。德菲法是一種群體決策的專家預測法，主要透過專家對特定主題的意見，藉由反覆確認以獲取專家對該主題的一致性共識，讓

不同專家對複雜的議題集思廣益，得到一個客觀且具代表性的共識結果（Noorderhaven, 1995），傳統德菲法在操作上可能有蒐集專家意見耗時、成本高、回收率低、未考慮意見處理過程的模糊性（一致性），以及專家意見難免出現前後矛盾與結論大多較籠統等缺點（徐村和，1998；張紹勳，2012）。Murray 等人（1985）提出將模糊概念導入德菲法的運用可以減少德菲法的回合，且能夠解決因語意模糊而影響專家共識等優點。傳統德菲法會以平均數概念呈現專家意見的共識值，若以函數表示，則不同的共識函數會出現不同的幾何平均數、最大平均數、最小平均數、調和平均數等函數關係。FDM 以幾何函數代表專家評估之共識，透過專家問卷評估值建立三角模糊函數，建立累積次數分配的最大及最小值（max-min）與模糊積分（fuzzy integration），最後研究者依研究目的決定門檻值，選出適當的評估因子（Ishikawa et al., 1993）。

為能有效率匯集專家之共識，本研究以 FDM 進行資料蒐集，將透過邀請最貼近教材設計與使用的教學設計師及教材製作專家所組成的德菲法專家小組，接著邀請專家小組委員進行 FDM 問卷調查，其先將教學設計師、教材製作專家及教學現場教師的意見轉換為模糊數後，且將採用累積次數分配法作為篩選各層級指標的方法，以求得所有專家小組委員的模糊數，以分析團體的共識情形。

AHP 是一套有系統之決策模式，將複雜的問題逐層分解，並將問題各個考慮層面予以層級化的架構，以協助決策者對於事物的整體瞭解，同時利用層級形式建構評估要素，使決策者能條理分明地分析問題，以提供充分資訊給決策者選擇最適當方案，並透過量化的方法，尋脈絡加以綜合評估，以提供決策者選擇適當的方案。主要應用於不確定情況及具有多數評估準則的決策問題上，AHP 將複雜問題予以系統化，決策者可以有結構地分析問題，系統性的理出優先順序的方法（鄧振源、曾國雄，1989；Saaty & Vargas, 2012）。愈來愈多研究採用 FDM 及 AHP 進行指標建構的研究（李宜學，2019；吳錦森，2014）。為能有效建構出 IVR 教材品質檢核指標內容，以求指標內涵能整合專家學者的

意見，並確實反應社會科學中模糊不確定的特質，也爲了能提高研究參與者的參與意願與節省專家調查研究次數與時間，本研究將採用 FDM 及 AHP 進行指標建構。先將發展之間卷進行內容效度之檢核，再透過 FDM 分析，歸納出 IVR 教材評估的構面與指標。再透過層級分析法分析各構面及指標之權重。

## 一、發展 IVR 教材品質檢核構面及指標

本研究採用下列方式發展 IVR 教材品質評估構面及指標：（一）發展 FDM 調查問卷：本研究藉由文獻探討，以徐新逸與郭盈芝（2020）發展之虛擬實境教材品質確保之 4 構面 31 項評估指標爲基礎，探討並分析國內外近年對 IVR 教材特性研究的結果，重新整理並發展成表 3 的「IVR 教材評估指標建構問卷」。（二）透過 FDM 發展教材評估構面與指標：本研究將上述發展之間卷，提供給「教材開發」及「教學設計」之專家小組，進行專家諮詢。先將發展之間卷進行內容效度之檢核，再透過 FDM 分析，歸納出 IVR 教材評估的構面與指標。

## 二、分析 IVR 教材構面及指標權重

藉由 AHP 分析發展教材評估指標的權重：在進行 FDM 的資料蒐集與分析之後，確認 IVR 教材檢核構面與指標，據以進行 AHP 分析，發展出 IVR 教材評估構面與指標權重表，確認 IVR 教材構面及指標權重。

## 三、研究對象

本研究旨在建立 IVR 教材評估之指標，重要關係人有教材開發者及教學設計師，在專家學者選取上屬於同質性較低的情形，爲能有效率的達成專家共識，各領域分別邀請 5~7 位專家，共邀請 12 位專家參與，專家背景如表 4 所示。



表 4 FDM 專家資料表

編號	代表身分	研究領域
專家 1	開發者	三維重建、深度學習、大數據分析、視訊通訊、影像處理
專家 2	開發者	動畫模擬、人工智慧
專家 3	開發者	虛擬實境、遊戲設計與開發、遊戲設計架構研究
專家 4	開發者	遊戲式教具設計、AI 學習系統設計開發、多媒體展示科技教育應用設計開發
專家 5	開發者	虛擬實境、擴增實境、混合實境、模擬計算、模擬系統建置、電腦圖學
專家 6	開發者	虛擬實境、擴增實境、遊戲設計與開發
專家 7	教學設計師	遠距教學、教學設計、數位學習
專家 8	教學設計師	教育科技、網路教學、資訊科技融入教學、行動學習、數位課程發展
專家 9	教學設計師	數位遊戲設計、多媒體互動教材開發、行動學習、科技輔助翻轉教學應用
專家 10	教學設計師	教學與學習科學、數位學習與評量、創新科技的開發與應用、認知負荷
專家 11	教學設計師	認知科學、學習科技智慧生活科技、人因與使用研究
專家 12	教學設計師	數位教學理論與策略、數位學習策略、虛擬／擴增實境開發與應用

## 肆、研究結果

### 一、IVR 教材品質檢核構面及指標結果分析

本次正式問卷共發出 12 份，回收有效問卷共 12 份，回收率為 100%。回收後，應用雙三角模糊數統計整合專家的意見，並以模糊關係之灰色地帶檢驗值確認專家的意見是否收斂達共識程度，如圖 1（張

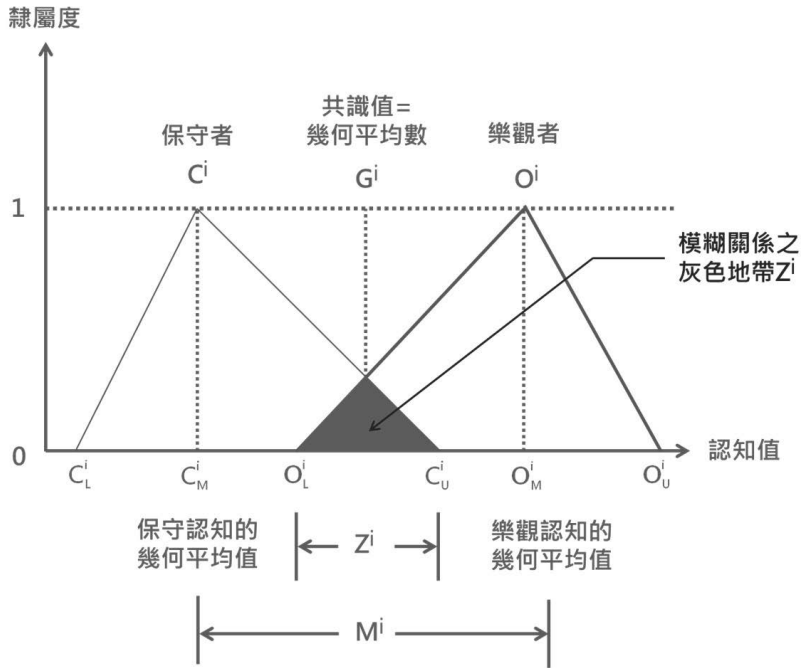


圖 1 雙三角模糊數檢驗方式

資料來源：張紹勳（2012，頁 361）。

紹勳，2012）。使用 Excel 做為分析工具，將各指標之雙三角模糊數之最大值、最小值輸入後，分別計算幾何平均數（ $M_i$ ）、專家意見收斂檢驗值（ $Z_i$ ）及專家共識值（ $G_i$ ）。然後採用灰色地帶檢驗值確認專家學者對指標的意見是否達共識，若指標因為專家意見相差過大而使意見分歧發散、未達收斂標準，因受研究時程限制，將不再進行反覆問卷調查直至收斂，以刪除代替之。

關於專家意見已達收斂之指標，將進行專家共識程度的判斷，以決定是否刪除該項指標。為使篩選結果更具檢驗性，除了未達收斂標準的指標予以刪除外，進一步應用專家共識值線型圖進行陡坡分析（scree test），依據線型圖的陡降處，選定專家共識門檻值為 0.76。評估指標雙三角模糊數結果列表如表 5。

表 5 評估指標雙三角模糊數結果列表

構面	評估指標	幾何平均數 M			Zi	重疊現象	檢定值	專家共識值
		Ci	Oi	ai			Mi-Zi	Gi
教材內容	教材內容正確性	0.94	1.00	1.00	0.00	無	0.06	0.97 >0.76
	教材內容深度及廣度符合目標學習者程度	0.74	0.97	0.91	0.00	無	0.24	0.85 >0.76
	教材內容的學習任務符合預定的學習目標	0.74	0.95	0.92	0.20	有	0.01	0.87 >0.76
	教材內容的文字敘述及圖像標示清楚易懂	0.78	0.96	0.91	0.10	有	0.07	0.92 >0.76
介面設計	教材的介面功能容易操作使用	0.73	0.96	0.93	0.00	無	0.23	0.84 >0.76
	教材的介面設計具有一致性	0.72	0.97	0.89	0.00	無	0.25	0.84 >0.76
	虛擬環境的畫面具擬真性	0.64	0.91	0.80	0.10	有	0.16	0.83 >0.76
	虛擬環境能提供具沉浸感的畫面品質	0.68	0.93	0.83	0.10	有	0.16	0.84 >0.76
	虛擬環境呈現之訊息量適宜	0.65	0.91	0.82	0.00	無	0.25	0.78 >0.76
教學設計	學習目標、教材內容與評量機制具一致性	0.87	1.00	0.97	0.00	無	0.13	0.93 >0.76
	學習任務份量合理且明確	0.73	0.95	0.90	0.10	有	0.12	0.85 >0.76
	學習任務有提供適當的探索機會——陳述	0.54	0.87	0.79	0.20	有	0.14	0.76 =0.76
	學習任務有提供適當的探索機會——程序	0.69	0.92	0.84	0.10	有	0.12	0.84 >0.76

(續)

表 5 評估指標雙三角模糊數結果列表 (續)

構面	評估指標	幾何平均數 M			Zi	重疊現象	檢定值	專家共識值
		Ci	Oi	ai			Mi-Zi	Gi
教學設計	學習任務有提供適當的探索機會——條件	0.69	0.94	0.92	0.10	有	0.15	0.84 > 0.76
	學習指引具有清楚且正確的說明——陳述	0.71	0.95	0.84	0.10	有	0.14	0.84 > 0.76
	學習指引具有清楚且正確的說明——程序	0.76	0.97	0.88	0.00	無	0.21	0.86 > 0.76
	學習指引具有清楚且正確的說明——條件	0.78	0.97	0.94	0.00	無	0.19	0.88 > 0.76
	學習任務安排具有合理的順序——陳述	0.77	0.94	0.83	0.20	有	-0.04	未收斂
	學習任務安排具有合理的順序——程序	0.78	0.93	0.86	0.20	有	-0.05	未收斂
	學習任務安排具有合理的順序——條件	0.77	0.93	0.87	0.20	有	-0.04	未收斂
互動回饋	學習任務有提供即時說明	0.63	0.89	0.79	0.30	有	-0.04	未收斂
	學習任務有提供適當且清楚的回饋	0.76	0.96	0.90	0.10	有	0.10	0.92 > 0.76
	學習者能與素材進行互動* ——陳述	0.71	0.92	0.76	0.20	有	0.00	0.86 > 0.76
	學習者能與素材進行互動* ——程序	0.83	0.95	0.85	0.10	有	0.02	0.92 > 0.76
	學習者能與素材進行互動——條件	0.84	0.96	0.91	0.10	有	0.02	0.93 > 0.76
	學習者能與其他虛擬角色互動* ——陳述	0.45	0.70	0.58	0.30	有	-0.05	未收斂

(續)

表 5 評估指標雙三角模糊數結果列表 (續)

構面	評估指標	幾何平均數 M			Zi	重疊現象	檢定值	專家共識值
		Ci	Oi	ai			Mi-Zi	Gi
互動回饋	學習者能與其他虛擬角色互動* ——程序	0.50	0.72	0.61	0.40	有	-0.18	未收斂
	學習者能與其他虛擬角色互動——條件	0.49	0.73	0.61	0.30	有	-0.07	未收斂
沉浸設計	學習任務以第一人稱視角進行* ——陳述	0.54	0.77	0.57	0.70	有	-0.47	未收斂
	學習任務以第一人稱視角進行* ——程序	0.72	0.91	0.85	0.40	有	-0.21	未收斂
	學習任務以第一人稱視角進行——條件	0.71	0.90	0.83	0.40	有	-0.21	未收斂
	操作使用設計提供多感官的互動功能* ——陳述	0.61	0.80	0.75	0.40	有	-0.21	未收斂
	操作使用設計提供多感官的互動功能* ——程序	0.65	0.88	0.79	0.30	有	-0.07	未收斂
	操作使用設計提供多感官的互動功能——條件	0.64	0.88	0.77	0.30	有	-0.06	未收斂
	學習者能以第一人稱視角在虛擬環境中自由行動* ——陳述	0.64	0.65	0.49	0.80	有	-0.79	未收斂
	學習者能以第一人稱視角在虛擬環境中自由行動* ——程序	0.73	0.78	0.58	0.70	有	-0.65	未收斂
學習者能以第一人稱視角在虛擬環境中自由行動——條件	0.71	0.76	0.57	0.70	有	-0.66	未收斂	

(續)

表 5 評估指標雙三角模糊數結果列表（續）

構面	評估指標	幾何平均數 M			Zi	重疊現象	檢定值	專家共識值
		Ci	Oi	ai			Mi-Zi	Gi
沉浸設計	學習者以第一人稱視角被動觀察虛擬環境中呈現的教材內容* —— 陳述	0.58	0.84	0.43	0.40	有	-0.14	未收斂
	學習者以第一人稱視角被動觀察虛擬環境中呈現的教材內容* —— 程序	0.57	0.84	0.42	0.40	有	-0.12	未收斂
	學習者以第一人稱視角被動觀察虛擬環境中呈現的教材內容——條件	0.55	0.84	0.41	0.40	有	-0.10	未收斂

註：\* 代表其重要性與知識類型有關。

文獻探討初擬之 IVR 教材品質檢核共有 5 個構面及 22 項指標，原歸納 IVR 教材品質檢核構面有「教材內容」、「介面設計」、「教學設計」、「互動回饋」及「沉浸設計」5 個構面，其中「沉浸設計」構面當中的「學習任務以第一人稱視角進行」、「操作使用設計提供多感官的互動功能」、「學習者能以第一人稱視角在虛擬環境中自由行動」及「學習者以第一人稱視角被動觀察虛擬環境中呈現的教材內容」4 項指標，在雙三角模糊數均有重疊現象，檢定值亦均為負數且差異大，亦即專家對於指標意見差距甚大，不具共識予以刪除。因此，構面部分在經過 FDM 的篩選後，達到收斂具專家共識共有「教材內容」、「介面設計」、「教學設計」及「互動回饋」4 個構面。

在指標部分，達到收斂具專家共識的指標共有「教材內容正確性」、「教材內容深度及廣度符合目標學習者程度」、「教材內容的學習任務能符合預定的學習目標」、「教材內容的文字敘述及圖像標示清楚易

懂」、「教材的介面功能容易操作使用」、「教材的介面設計具有一致性」、「虛擬環境的畫面具擬真性」、「虛擬環境能提供具沉浸感的畫面品質」、「虛擬環境呈現之訊息量適宜」、「學習目標、教材內容與評量機制具一致性」、「學習任務份量合理且明確」、「學習任務有提供適當的探索機會」、「學習指引具有清楚且正確的說明」、「學習任務有提供適當且清楚的回饋」及「學習者能與素材進行互動」15項指標。

在FDM的階段，共有7項指標的重要性意見不具共識，分別是「學習任務安排具有合理的順序」、「學習任務有提供即時說明」、「學習者能與其他虛擬角色互動」、「學習任務以第一人稱視角進行」、「操作使用設計提供多感官的互動功能」、「學習者能以第一人稱視角在虛擬環境中自由行動」及「學習者以第一人稱視角被動觀察虛擬環境中呈現的教材內容」，專家對前述指標的共識未達收斂門檻，因此予以刪除。

在沉浸設計構面中，專家1、專家2、專家5、專家10及專家12意見認為「學習任務以第一人稱視角進行」、「操作使用設計提供多感官的互動功能」、「學習者能以第一人稱視角在虛擬環境中自由行動」及「學習者以第一人稱視角被動觀察虛擬環境中呈現的教材內容」等指標，無論是多感官的互動功能，或是第一人稱視角，都應為IVR的必要條件，若不具備這些項目，就非IVR的定義，自然不適用此項品質檢核工具。沉浸設計構面的4項指標在FDM的結果也都未達共識標準而刪除。

## 二、IVR 教材品質檢核指標權重結果分析

依據上述第一節所篩選的檢核指標，本研究透過AHP問卷建構指標的權重體系。本次正式AHP問卷共發出12份，回收有效問卷共11份，回收率為91.67%。



整體 AHP 集體共識比率為 84.1%，表示專家填答結果具有高度的群體共識。在面向層級的 C.R. 值為 0.004，集體共識比率為 71.3%，符合一致性標準，表示專家對於 4 個構面的意見亦具高度的群體共識。表 6 顯示，在四個構面當中，「教材內容」權重為 29.4% 最重，排序第一。其次為「教學設計」權重 28.8%，排序第二。排序第三為「互動回饋」，權重為 23%。最後則為「介面設計」，權重為 18.8%。

#### (一) 「教材內容」構面指標權重分析

在「教材內容」構面的 C.R. 值為 0.007，集體共識比率為 81.7%，符合一致性標準，表示專家對「教材內容」的意見亦具高度的群體共識。表 7 顯示，在此構面中，「教材內容正確性」權重為 58.2% 最重，排序第一。其次為「教材內容的學習任務能符合預定的學習目標」權重 18.6%，排序第二。排序第三為「教材內容深度及廣度符合目標學習者程度」，權重為 14%。最後則為「教材內容的文字敘述及圖像標示清楚易懂」，權重為 9.2%。

表 6 構面 AHP 矩陣權重排序表

構面	教材內容	介面設計	教學設計	互動回饋	權重	排序
教材內容	1.00	1.53	1.03	1.29	29.4%	1
介面設計	0.65	1.00	0.63	0.83	18.8%	4
教學設計	0.97	1.60	1.00	1.22	28.8%	2
互動回饋	0.77	1.21	0.82	1.00	23.0%	3

註：C.R.=0.004/AHP 集體共識比率：71.3% 中度共識。

表 7 教材內容 AHP 矩陣權重排序表

教材內容構面	教材內容正確性	教材內容深度及廣度符合目標學習者程度	教材內容的學習任務能符合預定的學習目標	教材內容的文字敘述及圖像標示清楚易懂	權重 (%)	排序
教材內容正確性	1.00	4.04	3.56	5.73	58.2%	1
教材內容深度及廣度符合目標學習者程度	0.25	1.00	0.81	1.38	14.0%	3
教材內容的學習任務能符合預定的學習目標	0.28	0.23	1.00	2.46	18.6%	2
教材內容的文字敘述及圖像標示清楚易懂	0.17	0.72	0.41	1.00	9.2%	4

註：C.R.=0.007/AHP 群體共識比率：81.7% 高度共識。

## (二) 「介面設計」構面指標權重分析

在「介面設計」構面的 C.R. 值為 0.005，集體共識比率為 65.1%，雖符合一致性標準，但專家對「介面設計」中的各項指標僅有中度的群體共識，但仍在可接受範圍。表 8 顯示，在此構面中，「教材的介面功能容易操作使用」權重為 26.7% 最重，排序第一。其次為「教材的介面設計具有一致性」權重 20.6%，排序第二。排序第三為「虛擬環境能提供具沉浸感的畫面品質」，權重為 19.8%。排序第四為「虛擬環境呈現之訊息量適宜」，權重為 18.6%。最後則為「虛擬環境的畫面具擬真性」，權重為 14.3%。

表 8 介面設計 AHP 矩陣權重排序表

介面設計構面	教材的介面功能容易操作使用	教材的介面設計具有一致性	虛擬環境的畫面擬真性	虛擬環境能提供具沉浸感的畫面品質	虛擬環境呈現之訊息量適宜	權重	排序
教材的介面功能容易操作使用	1.00	1.41	1.84	1.37	1.34	26.7%	1
教材的介面設計具有一致性	0.71	1.00	1.34	0.99	1.35	20.6%	2
虛擬環境的畫面擬真性	0.54	0.75	1.00	0.63	0.83	14.3%	5
虛擬環境能提供具沉浸感的畫面品質	0.73	1.01	1.60	1.00	0.88	19.8%	3
虛擬環境呈現之訊息量適宜	0.75	0.74	1.20	1.13	1.00	18.6%	4

註：C.R.=0.005/AHP 群體共識比率：65.1% 中度共識。

### (三) 「教學設計」構面指標權重分析

在「教學設計」構面的 C.R. 值為 0.003，集體共識比率為 65.8%，雖符合一致性標準，專家對「教學設計」中的各項指標僅有中度的群體共識，但仍在可接受範圍。表 9 顯示，在此構面中，「學習目標、教材內容與評量機制具一致性」權重為 35.8% 最重，排序第一。其次為「學習指引具有清楚且正確的說明」權重 28.2%，排序第二。排序第三為「學習任務有提供適當的探索機會」，權重為 19.5%。最後則為「學習任務份量合理且明確」，權重為 16.4%。

表 9 教學設計 AHP 矩陣權重排序表

教學設計構面	學習目標、教材內容與評量機制具一致性	學習任務份量合理且明確	學習任務有提供適當的探索機會	學習指引具有清楚且正確的說明	權重	排序
學習目標、教材內容與評量機制具一致性	1.00	2.35	1.71	1.26	35.8%	1
學習任務份量合理且明確	0.43	1.00	0.95	0.56	16.4%	4
學習任務有提供適當的探索機會	0.59	1.05	1.00	0.72	19.5%	3
學習指引具有清楚且正確的說明	0.79	1.80	1.38	1.00	28.2%	2

註：C.R.=0.003/AHP 群體共識比率：65.8% 中度共識。

#### (四) 「互動回饋」構面指標權重分析

在「互動回饋」構面的 C.R. 值為 0.000，集體共識比率為 73.6%，符合一致性標準，表示專家對「互動回饋」填答結果具有高度的群體共識。表 10 顯示，在此構面中，「學習任務有提供適當且清楚的回饋」權重為 51.2% 最重，排序第一。其次為「學習指引具有清楚且正確的說明」權重 48.8%，排序第二。

表 10 互動回饋 AHP 矩陣權重排序表

互動回饋構面	學習任務有提供適當且清楚的回饋	學習者能與素材進行互動	權重	排序
學習任務有提供適當且清楚的回饋	1.00	1.05	51.2%	1
學習者能與素材進行互動	0.95	1.00	48.8%	2

註：C.R.=0.000/AHP 群體共識比率：73.6% 中度共識。

### (五) 小結

在文獻探討彙整後的指標初稿共有 22 項指標，經過 FDM 的篩檢後，共留下教材內容構面的 4 項指標、介面設計的 5 項指標、教學設計的 4 項指標及互動回饋有 2 項指標，總共 15 項指標，如表 11。

整體權重在構面部分以「教材內容」37.5% 為最多，其次為「教學設計」34.0%，接著為「互動回饋」17.9%，最後為「介面設計」10.6%。意即專家在兩兩比較後的共識中，認為「教材內容」構面相對最為重要，「介面設計」構面相對較不重要。若以構面權重平均 25% 為基準，「教材內容」的 37.5% 及「教學設計」34.0% 均超過平均，且兩個構面相加的權重超過 7 成，可見在 4 個構面當中，「教材內容」與「教學設計」的重要性程度相當顯著。

在檢核指標部分，專家共識認為「教材內容正確性」最為重要，且重要程度權重占有所有指標的 21.8%，其權重幾乎為所有其他指標的 2 倍以上。重要程度第二為「學習目標、教材內容與評量機制具一致性」，重要程度權重占有所有指標的 12.2%。若以指標的平均權重 6.7% 為基準，依序有「教材內容正確性」、「學習目標、教材內容與評量機制具一致性」、「學習指引具有清楚且正確的說明」、「學習任務有提供適當且清楚的回饋」、「學習者能與素材進行互動」及「教材內容的學習任務能符合預定的學習目標」6 項指標超過平均權重，分別於「教材內容」、

「教學設計」及「互動回饋」構面當中，且「互動回饋」的兩項指標的重要性權重，均超過平均權重。

表 11 IVR 教材檢核指標權重排序表

構面	檢核指標	指標權重 (%)	指標排序	構面權重 (%)	構面排序
教材內容	教材內容正確性	21.8%	1	37.5%	1
	教材內容深度及廣度符合目標學習者程度	5.2%	9		
	教材內容的學習任務能符合預定的學習目標	7.0%	6		
	教材內容的文字敘述及圖像標示清楚易懂	3.5%	10		
介面設計	教材的介面功能容易操作使用	2.8%	11	10.6%	4
	教材的介面設計具有一致性	2.2%	12		
	虛擬環境的畫面具擬真性	1.5%	15		
	虛擬環境能提供具沉浸感的畫面品質	2.1%	13		
	虛擬環境呈現之訊息量適宜	2.0%	14		
教學設計	學習目標、教材內容與評量機制具一致性	12.2%	2	34.0%	2
	學習任務分量合理且明確	5.6%	8		
	學習任務有提供適當的探索機會	6.6%	7		
	學習指引具有清楚且正確的說明	9.6%	3		
互動回饋	學習任務有提供適當且清楚的回饋	9.2%	4	17.9%	3
	學習者能與素材進行互動	8.7%	5		
合計		100%		100%	

## 伍、討論

### 一、IVR 教材品質檢核構面及指標之研究發現

經過 FDM 的分析後，IVR 教材品質檢核指標共有 4 個構面達到收斂標準具專家共識，分別為：「教材內容」、「介面設計」、「教學設計」及「互動回饋」。在指標部分，達到收斂具專家共識的指標共有「教材內容正確性」、「教材內容深度及廣度符合目標學習者程度」、「教材內容的學習任務能符合預定的學習目標」、「教材內容的文字敘述及圖像標示清楚易懂」、「教材的介面功能容易操作使用」、「教材的介面設計具有一致性」、「虛擬環境的畫面具擬真性」、「虛擬環境能提供具沉浸感的畫面品質」、「虛擬環境呈現之訊息量適宜」、「學習目標、教材內容與評量機制具一致性」、「學習任務份量合理且明確」、「學習任務有提供適當的探索機會」、「學習指引具有清楚且正確的說明」、「學習任務有提供適當且清楚的回饋」及「學習者能與素材進行互動」15 項指標。從研究結果中彙整 4 項研究發現。

(一) 沉浸設計構面應是 IVR 教材的基本具備條件，不宜當成指標

在 FDM 的篩選結果中，沉浸設計構面的 4 項指標專家意見都未達共識標準而刪除，因而使原本文獻歸納的「沉浸設計」構面也因沒有指標而刪除。過去數位教材品質評估的構面，最受重視的仍為「教學設計」、「教材內容」、「互動回饋」及「介面設計」（教育部遠距教學交流暨認證網，2019；數位學習品質服務中心，無日期；ASTD, n.d.; KERIS, 1998; MERLOT, 2019; Nesbit et al., 2003），研究結果顯示 IVR 教材品質檢核構面與過去數位教材品質評估構面相同。

過去研究指出「學習者能以第一人稱視角在虛擬環境中自由行動」（Doležal et al., 2017; Radianti et al., 2020）及「學習者以第一人稱視角被動觀察虛擬環境中呈現的教材內容」（Hickman & Akdere, 2018; Radianti et al., 2020）是重要的設計元素。分別檢視被刪除的 4 項指標



發現專家意見差異甚鉅，專家 3、專家 4、專家 7、專家 8、專家 9 及專家 11 認為此 4 項指標在 IVR 教材當中非常重要，專家 1、專家 2、專家 5、專家 6 及專家 12 則認為非常不重要。為能瞭解原因，特別電訪對此 4 項指標意見均為非常不重要極端值的專家 5 及專家 6，其認為在「沉浸設計」構面當中的「學習任務以第一人稱視角進行」及「操作使用設計提供多感官的互動功能」等指標，無論是多感官的互動功能，或是第一人稱視角，都應為 IVR 的必要條件，若不具備這些項目，就非 IVR 的定義，自然不適用此項品質檢核工具。

因此，本研究結果「沉浸設計」構面及其所含的 4 項指標雖被刪除，但刪除原因卻與過去研究結果相同，亦即沉浸設計相當重要，但其已被認為是 IVR 應備的條件，因而不列入指標中被檢核，反而是在採用檢核指標前，即可參照沉浸設計標準判斷是否為 IVR 教材。

### （二）依序安排學習任務在 IVR 教材當中並非為必要項目

「學習任務安排具有合理的順序」是數位教材在進行教學設計常列入考量的要素之一（王怡萱、余佳蓁，2020；Firth, 2021）。但本研究結果專家在「學習任務安排具有合理的順序」指標的意見分歧，未達收斂門檻而刪除。結果顯示在 IVR 教材當中，「探索」可能是教材的刻意設計，也是 IVR 的特色之一，因此，有時候學習任務順序的合理性，是因為所呈現事件的先後發生順序，而這些順序將會因學習者的探索而有不同。因而「學習任務安排具有合理的順序」指標雖在過去數位教材當中被認為是重要的指標，但在 IVR 教材當中，則會因為教材任務的特性或教學目標有所差異，不適合列為標準指標。

### （三）與其他虛擬角色互動非 IVR 教材的必要條件，但「學習者能與素材進行互動」則是必要條件

Doležal 等人（2017）及 Radianti 等人（2020）認為在虛擬環境中與其他使用者互動是重要的設計元素，認為使用者能以化身的形式，並且經由諸如即時消息傳遞或語音聊天等通信工具進行互動。但在本研究

結果與過去研究不同，專家 1、專家 10 及專家 12 認為許多 IVR 教材並不會有虛擬角色的存在，例如，虛擬實驗室大多以個人自學方式進行，當中學習者已為虛擬實驗室中的唯一角色，因此其他虛擬角色沒有存在的必要。在 Checa 與 Bustillo (2020) 研究 IVR 的嚴肅遊戲型態中，互動設計可分為探索性互動、探索、互動體驗跟被動體驗 4 種類型，是否需要虛擬角色的設計，則與該教材的教學目的與設計有關。顯現此項指標雖不列為 IVR 的必要項目，但其必要性則應視教材之設計型態調整。

本研究結果與過去不全然相同，但其實結果並非衝突，因為另一相似指標「學習者能與素材進行互動」達共識並保留，因為專家並非認為互動不重要，而是在 IVR 自學教材的設計當中，有些教材設計並不會有其他虛擬角色的存在，因此，「與其他虛擬角色互動」將會因教材內容進行方式而有不同，但「學習者能與素材進行互動」則是必要條件。

#### (四) IVR 教材品質指標並不會因不同知識類型而有差異

過去有研究認為不同知識類型在 IVR 教材的學習效果有差異，多數認為程序性知識及條件性知識因 IVR 的高沉浸感而對學習有顯著的效果 (Bertram et al., 2015; Çakiroğlu & Gököğlü, 2019)，但透過 IVR 學習陳述性知識的學習內容，並沒有太大的學習意義及效果，甚至可能會造成認知負荷 (Makransky et al., 2019)。因此在文獻探討後，本研究假設有 8 項指標在陳述性知識、程序性知識及條件性知識下，其對 IVR 教材的重要性可能會有差異。在經過 FDM 的問卷結果檢驗後，發現在「學習任務有提供適當的探索機會」及「學習指引具有清楚且正確的說明」中，3 種知識類型的重要性並無差異。在「學習任務安排具有合理的順序」、「學習者能與素材進行互動」、「學習者能與其他虛擬角色互動」、「學習任務以第一人稱視角進行」、「操作使用設計提供多感官的互動功能」及「學習者能以第一人稱視角在虛擬環境中自由行動」6 項指標，專家在 3 種知識類型的意見也都未收斂而刪除，如表 12。

表 12 不同知識類型可能具差異指標

構面	指標	重疊現象	檢定值	專家共識值	研究結果
教學設計	學習任務安排具有合理的順序 *	有	-0.04	未收斂	指標刪除
互動回饋	學習任務有提供即時說明	有	-0.04	未收斂	指標刪除
	學習者能與其他虛擬角色互動 *	有	-0.10	未收斂	指標刪除
沉浸設計	學習任務以第一人稱視角進行 *	有	-0.57	未收斂	指標刪除
	操作使用設計提供多感官的互動功能 *	有	-0.18	未收斂	指標刪除
	學習者能以第一人稱視角在虛擬環境中自由行動 *	有	-0.70	未收斂	指標刪除

註：\* 代表其重要性與知識類型有關。

本研究結果顯示，專家認為知識類型影響 IVR 教材品質的重要性並無共識。「學習任務有提供適當的探索機會」及「學習指引具有清楚且正確的說明」，無論何種知識類型，在 IVR 教材當中均為重要指標。其餘 6 項指標專家意見相當分歧，雖過去文獻對不同知識類型的討論大多為學習效果之差異，例如，陳述性知識採用 IVR 的設計可能不會提升學習效果 (Parong & Mayer, 2018)。因此，知識類型的差異，可能在於進行教材設計前即需考量是否適合使用 IVR 開發，而非在教材開發階段考量的指標項目。宜於教材的教學設計階段，應需考量知識類型的差異。在本研究結果可知，無論何種知識類型，若為 IVR 教材，此 15 項指標均為檢核的重要指標。

## 二、IVR 教材品質檢核指標權重之研究發現

整體權重在構面部分以「教材內容」37.5%為最多，其次為「教學設計」34.0%，接著為「互動回饋」17.9%，最後為「介面設計」10.6%。「教材內容」及「教學設計」構面權重相加超過70%，可見在4個構面當中，「教材內容」與「教學設計」構面在IVR教材品質指標檢核相當重要。

在檢核指標部分，「教材內容正確性」重要程度權重占所有指標的21.8%，「學習目標、教材內容與評量機制具一致性」，重要程度權重占所有指標的12.2%。「互動回饋」構面中「學習任務有提供適當且清楚的回饋」及「學習者能與素材進行互動」兩項指標的重要性權重，均超過平均權重，權重達9.2%及8.7%。從研究結果彙整2項研究發現。

(一)「教材內容」與「教學設計」仍為最重要之構面，「互動回饋」在IVR教材當中是不可或缺的元素

在4個構面當中，「教材內容」權重為29.4%最重，排序第一，其次為「教學設計」權重28.8%，排序第二。過去VR品質確保的指標「教學設計」最重要，第二為「教材內容」（徐新逸、郭盈芝，2020），且2個構面的權重都超過整體一半以上，可見此2項構面在VR教材的重要性不可忽視。

在徐新逸與郭盈芝（2020）對VR指標的初探結果顯示，互動回饋包含6項指標，但總權重僅有11.5%，重要性並不顯著。但在本研究結果顯示「互動回饋」構面當中僅有「學習任務有提供適當且清楚的回饋」及「學習者能與素材進行互動」2項指標，其權重分別為9.2%及8.7%，分別在15項指標當中列為第4及第5重要之指標，總權重達17.9%，可見互動回饋在IVR教材的設計元素中相當重要。

## （二）IVR 與 VR 教材標準有所差異

過去研究雖有針對 VR 或針對 IVR 探討教學效果，但較少研究將 VR 或 IVR 的要素作區別，徐新逸與郭盈芝（2020）曾彙整 VR 教材有 4 面向、8 向度及 31 項檢核項目，然其關注範圍較廣，本研究聚焦於使用具互動功能的頭盔顯示器，並由學習者自行進行模擬體驗或操作演練過程的數位自學教材，研究結果確認在 IVR 教材品質檢核僅有 4 構面及 15 項指標，與一般 VR 所應關注的指標確有差異。「虛擬環境的畫面擬真性」、「虛擬環境能提供具沉浸感的畫面品質」、「虛擬環境呈現之訊息量適宜」及「學習者能與素材進行互動」4 項指標都是過去指標未納入的。而這幾項指標所強調的沉浸感與互動，正是 IVR 的重要特色。

過去 VR 教材檢核項目在互動與回饋共有 6 項指標，但其僅占總權重的 11.5%（徐新逸、郭盈芝，2020），而在本研究的互動回饋僅有「學習任務有提供適當且清楚的回饋」及「學習者能與素材進行互動」2 項指標，分別占總權重 9.2% 及 8.7%，可見互動回饋在 IVR 教材品質檢核指標當中相當重要，但在一般的 VR 可能不是必要的項目，例如：簡易的手機嵌入型 VR 裝置，此類的 VR 教材在互動的設計上就非必要項目。

過去研究認為沉浸設計是 IVR 教材的重要特色且在教學的應用效果也較 VR 好（Howard-Jones et al., 2015; Laura & Michela, 2015; Murcia-López & Steed, 2016），本研究結果卻顯示該構面未達共識而刪除，結果也顯示在 IVR 教材品質檢核當中，「沉浸」為必要條件，不需要透過指標來規範，亦即沉浸設計並非不重要，而是在使用 IVR 教材評估前，即應先確認受評教材是否具備沉浸設計，若無，則非為 IVR 教材，即不適合採用本評量工具進行評估，可見 VR 教材與 IVR 教材確實應分別為不同類型，其在進行設計或品質檢核時所需關注的項目亦不相同，IVR 教材檢核品質時，應使用專屬的檢核評量工具。

## 陸、對 IVR 教材開發之建議

教材的品質對教學影響甚大。本研究提出 IVR 教材品質指標及重要性權重，可作為未來教師選擇教材、研發團隊開發教材及主管單位進行評鑑或認證教材時的檢核標準。以下提出本研究結果的採用建議及未來研究方向。

### 一、對 IVR 教材開發或評量者之建議

(一) 在教材開發前先確認 IVR 教材品質檢核指標有助於提升教材品質

從研究結果已確認 4 項構面及 15 項指標為 IVR 教材品質檢核的重要標準。從試評結果也發現，受評為優良或特優的教材，各構面均能達符合或部分符合。因此，在進行 IVR 教材開發之前，若能先瞭解檢核指標及其內涵，再進行教材設計及開發，則能有效提升 IVR 教材的品質。

(二) 開發教材或評量教材前，應先確認教材是否屬於 IVR 教材範疇

本研究原列為沉浸設計之指標：(1) 學習任務以第一人稱視角進行；(2) 操作使用設計提供多感官的互動功能；(3) 學習者能以第一人稱視角在虛擬環境中自由行動；(4) 學習者以第一人稱視角被動觀察虛擬環境中呈現的教材內容等 4 項，如研究結論所述「應為 IVR 教材的基本具備條件，不宜當成指標」，亦即在採用本研究檢核指標或評量工具時，應先確認該教材是否屬於 IVR 教材範疇，前述 4 項指標可做為判斷沉浸設計之參考，未來亦可發展 IVR 教材判定之檢核表，以更能協助教材開發者確認其適用範疇。

### 二、對未來研究之建議

(一) 研究主題方面

目前彙整出 4 個構面 15 項指標，且均列為必要指標。但部分構面

的指標數較少，容易對評量結果的影響較大。除了必要指標，在不同領域或學科主題之下，可能有其他可列為備選的指標，後續研究可對不同領域或學科主題進行增列重要指標的探討。此外，IVR 教材的呈現方式已有多種設計型態，指標的重要性在不同的設計型態差異甚鉅，未來可就不同設計型態作細部指標的分析。

IVR 教材多為自學教材，然部分 IVR 教材可能需搭配線上或實體教學，本研究是「開發自學教材類型」的 IVR 品質檢核指標，未來可針對其他類型的 IVR 教材進行開發。

可開發不同教學方法之 IVR 教材之檢核指標，例如遊戲式與非遊戲式 IVR 教材所關注的指標不同，因此未來可針對不同教材教法進行品質要素進行探討。

在訂定權重時，敏感度分析能讓採用者調整不同構面或指標的重要性，而產生出更符合使用者的權重表。未來可依據不同學者或業者的評選需求，透過敏感度分析做出不同權重分配的參考標準。

## （二）研究對象方面

專家背景可能會影響對指標的重要性之判斷，教材開發專家可能較重視技術的呈現，教學設計專家可能較重視教學方法及內容的安排。因此，不同的專家背景在指標的重要性上或許有不同看法。未來若有更多的專家群投入 IVR 領域的開發或研究，可針對不同領域進行指標重要性的差異分析，可瞭解不同領域的差異，在不同教材主題可有不同的權重差別。

本研究因受限於目前國內投入 IVR 教材開發或評量的專家人數較少，各階段均以符合該階段任務屬性進行專家的挑選，但仍有部分專家重複參與不同階段研究。未來開發及評量階段的專家數若足夠，或可邀請更多不同專業背景之專家，以廣納更多意見，找出更多異同之處。



## 參考文獻

- 上官水雨（2019）。圖文順序及線索對不同類型知識多媒體學習影響的研究。（未出版之碩士論文）。天津師範大學教育技術系。
- [Shangguan, S.-Y. (2019). *The effects of the order of pictures and text and clues on multimedia learning of different types of knowledge* [Unpublished master's thesis]. Department of Education Technology, Tianjin Normal University.]
- 王怡萱、余佳蓁（2020）。探討應用數位遊戲教材輔助音樂節奏學習之成效。*教育傳播與科技研究*，**124**，37-51。https://doi.org/10.6137/RECT.202012\_(124).0003
- [Wang, Y.-H., & Yu, J.-Z. (2020). Investigating the effectiveness of using digital game materials to assist music rhythm learning. *Educational Communication and Technology Research*, *124*, 37-51. https://doi.org/10.6137/RECT.202012\_(124).0003]
- 皮連生、卞春麒（1991）。論知識的分類與教學設計。*蘇州科技學院學報：社會科學版*，**2**，81-91。
- [Pi, L.-S., & Bian, C.-Q. (1991). On the classification of knowledge and instructional design. *Journal of University of Science and Technology of Suzhou: Social Science*, *2*, 81-91.]
- 李宜學（2019）。中小學融合教育推動成效評估指標建構之研究（未出版之博士論文）。國立臺南大學特殊教育學系。
- [Li, Y.-X. (2019). *A study on the construction of evaluation indicators for the promotion of primary and secondary school integration education* [Unpublished doctoral dissertation]. Department of Special Education, National University of Tainan.]
- 吳錦森（2014）。國民小學教育服務品質指標建構之研究（未出版之博士論文）。國立臺北教育大學教育經營與管理學系。
- [Wu, J.-S. (2014). *The construction of education service quality indicators for national primary schools* [Unpublished doctoral dissertation]. Department of Education Management, National Taipei University of Education.]
- 徐新逸、郭盈芝（2020）。建構虛擬實境教材品質確保之評估指標。*教育傳播與科技研究*，**123**，1-19。https://doi.org/10.6137/RECT.202008\_(123).0001
- [Shyu, H.-Y., & Kuo, Y.-C. (2020). Constructing evaluation indicators for ensuring the quality of virtual reality teaching materials. *Educational Communication and Technology Research*, *123*, 1-19. https://doi.org/10.6137/RECT.202008\_(123).0001]
- 徐村和（1998）。模糊德菲層級分析法。*模糊系統學刊*，**4**（1），59-72。
- [Hsu, T.-H. (1998). The fuzzy Delphi analytic hierarchy process. *Journal of Fuzzy Systems*, *4*(1), 59-72.]
- 張紹勳（2012）。模糊多準則評估法及統計。五南。
- [Chang, S.-H. (2012). *Fuzzy multicriteria decision making and statistics*. Wunan]



- 鄧振源、曾國雄（1989）。層級分析法（AHP）的內涵特性與應用（上）。*中國統計學報*，27（7），13767-13786。
- [Teng, Z.-Y., & Tseng, K.-H. (1989). The nature and application of the analytic hierarchy process (AHP). *Chinese Journal of Statistics*, 27(7), 13767-13786.]
- 教育部遠距教學交流暨認證網（2019）。數位教材認證。https://ace.moe.edu.tw/ [Ministry of Education Distance Learning Exchange and Certification Network. (2019). *Digital teaching material certification*. https://ace.moe.edu.tw/]
- 數位學習品質服務中心（無日期）。數位學習產品證明標章。https://museum02.digitalarchives.tw/teldap/2008/elq-csd/www.elq.org.tw/quality\_mark001.html [Digital Learning Quality Service Center. (n.d.). *Digital learning product certification mark*. https://museum02.digitalarchives.tw/teldap/2008/elq-csd/www.elq.org.tw/quality\_mark001.html]
- American Society for Training and Development. (n.d.). ASTD - American society for training & development. https://thetranslationcompany.com/translation-directory/translation-associations/american-society-training-development/
- Bertram, J., Moskaliuk, J., & Cress, U. (2015). Virtual training: Making reality work? *Computers in Human Behavior*, 43, 284-292. https://doi.org/10.1016/j.chb.2014.10.032
- Bharathi, A. K. B. G., & Tucker, C. S. (2015, August 2-5). *Investigating the impact of interactive immersive virtual reality environments in enhancing task performance in online engineering design activities* [Paper presentation]. ASME 2015 International Design Engineering Technical Conferences and Computers and Information in Engineering Conference, Boston, MA, United States. https://doi.org/10.1115/DETC2015-47388
- Çakiroğlu, Ü., & Gökoğlu, S. (2019). Development of fire safety behavioral skills via virtual reality. *Computers & Education*, 133, 56-68. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.01.014
- Checa, D., & Bustillo, A. (2020). A review of immersive virtual reality serious games to enhance learning and training. *Multimedia Tools and Applications*, 79(4), 5501-5527. https://doi.org/10.1007/s11042-019-08348-9
- Chen, L.-W., Tsai, J.-P., Kao, Y.-C., & Wu, Y.-X. (2019). Investigating the learning performances between sequence- and context-based teaching designs for virtual reality (VR)-based machine tool operation training. *Computer Applications in Engineering Education*, 27(5), 1043-1063. https://doi.org/10.1002/cae.22133
- Clark, R. E., & Voogel, A. (1985). Transfer of training principles for instructional design. *Educational Technology Research and Development*, 33(2), 113-123. https://doi.org/10.1007/BF02769112
- Coelho, C., Tichon, J., Hine, T. J., Wallis, G., & Riva, G. (2006). Media presence and inner presence: The sense of presence in virtual reality technologies. In G. Riva, M. T. Anguera, B. K. Wiederhold, & F. Mantovani (Eds.), *From communication to presence*:

- Cognition, emotions and culture towards the ultimate communicative experience: Festschrift in honor of Luigi Anolli* (pp. 25-45). IOS.
- Doležal, M., Chmelík, J., & Liarokapis, F. (2017, September 6-8). *An immersive virtual environment for collaborative geovisualization* [Paper presentation]. 2017 9th International Conference on Virtual Worlds and Games for Serious Applications (VS-GAMES), Athens, Greece. <https://doi.org/10.1109/VS-GAMES.2017.8056613>
- Egea-Vivancos, A., & Arias-Ferrer, L. (2020). Principles for the design of a history and heritage game based on the evaluation of immersive virtual reality video games. *E-Learning and Digital Media*, 18(4), 383-402. <https://doi.org/10.1177/2042753020980103>
- Firth, J. (2021). Boosting learning by changing the order and timing of classroom tasks: Implications for professional practice. *Journal of Education for Teaching*, 47(1), 32-46. <https://doi.org/10.1080/02607476.2020.1829965>
- Harrington, C. M., Kavanagh, D. O., Quinlan, J. F., Ryan, D., Dicker, P., O'Keeffe, D., Traynor, O., & Tierney, S. (2018). Development and evaluation of a trauma decision-making simulator in Oculus virtual reality. *The American Journal of Surgery*, 215(1), 42-47. <https://doi.org/10.1016/j.amjsurg.2017.02.011>
- Hickman, L., & Akdere, M. (2018, February 25-26). *Developing intercultural competencies through virtual reality: Internet of things applications in education and learning* [Paper presentation]. 2018 15th Learning and Technology Conference (L&T), Jeddah, Saudi Arabia. <https://doi.org/10.1109/LT.2018.8368506>
- Howard-Jones, P., Ott, M., van Leeuwen, T., & De Smedt, B. (2015). The potential relevance of cognitive neuroscience for the development and use of technology-enhanced learning. *Learning, Media and Technology*, 40(2), 131-151. <https://doi.org/10.1080/17439884.2014.919321>
- Hu, X., Su, R., & He, L. (2016, July 19-21). *The design and implementation of the 3D educational game based on VR headsets* [Paper presentation]. 2016 International Symposium on Educational Technology (ISE'T), Beijing, China. <https://doi.org/10.1109/ISE'T.2016.15>
- Ishikawa, A., Amagasa, T., Tamizawa, G., Totsuta, R., & Mieno, H. (1993). The max-min Delphi method and fuzzy Delphi method via fuzzy integration. *Fuzzy Sets and Systems*, 55(3), 241-253. [https://doi.org/10.1016/0165-0114\(93\)90251-C](https://doi.org/10.1016/0165-0114(93)90251-C)
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *Education and Information Technologies*, 23(4), 1515-1529. <https://doi.org/10.1007/s10639-017-9676-0>
- Johnson-Glenberg, M. (2018). Immersive VR and education: Embodied design principles that include gesture and hand controls. *Frontiers in Robotics and AI*, 5. <https://doi.org/10.3389/frobt.2018.00081>
- Kalawsky, R. S. (2000, March 22). *The validity of presence as a reliable human performance*

- metric in immersive environments* [Paper presentation]. 3rd International Workshop on Presence, Delft, Netherlands.
- Korea Education and Research Information Service. (1998). *1998 white paper on ICT in education*. <https://www.keris.or.kr/main/na/ntt/selectNttList.do>
- Laura, F., & Michela, O. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. In I. Roceanu (Ed.), *The 11th international scientific conference elearning and software for education: Rethinking education by leveraging the elearning pillar of the digital agenda for Europe* (Vol. 1, pp. 133-141). 'Carol I' National Defence University. <https://doi.org/10.12753/2066-026X-15-020>
- Lee, J., Eden, A., Ewoldsen, D. R., Beyea, D., & Lee, S. (2019). Seeing possibilities for action: Orienting and exploratory behaviors in VR. *Computers in Human Behavior*, *98*, 158-165. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2019.03.040>
- Makransky, G., Andreasen, N. K., Baceviciute, S., & Mayer, R. E. (2021). Immersive virtual reality increases liking but not learning with a science simulation and generative learning strategies promote learning in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, *113*(4), 719-735. <https://doi.org/10.1037/edu0000473>
- Makransky, G., Borre-Gude, S., & Mayer, R. E. (2019). Motivational and cognitive benefits of training in immersive virtual reality based on multiple assessments. *Journal of Computer Assisted Learning*, *35*(6), 691-707. <https://doi.org/10.1111/jcal.12375>
- Maresky, H. S., Oikonomou, A., Ali, I., Ditkofsky, N., Pakkal, M., & Ballyk, B. (2019). Virtual reality and cardiac anatomy: Exploring immersive three-dimensional cardiac imaging, a pilot study in undergraduate medical anatomy education. *Clinical Anatomy*, *32*(2), 238-243. <https://doi.org/10.1002/ca.23292>
- Meyer, L., & Pfeiffer, T., (2020). Comparing virtual reality and screen-based training simulations in terms of learning and recalling declarative knowledge. In R. Zender, D. Ifenthaler, T. Leonhardt, & C. Schumacher (Eds.), *DELFI 2020: Die 18. fachtagung bildungstechnologien der gesellschaft für informatik e.v.* (pp. 55-66). Gesellschaft für Informatik e.V..
- Multimedia Education Resource for Learning and Online Teaching. (2019). MERLOT peer review report form (V 17.6). [https://info.merlot.org/merlohelp/assets/docs/Peer\\_Review\\_form\\_CC\\_0519.pdf](https://info.merlot.org/merlohelp/assets/docs/Peer_Review_form_CC_0519.pdf)
- Murcia-López, M., & Steed, A. (2016). The effect of environmental features, self-avatar, and immersion on object location memory in virtual environments. *Frontiers in ICT*, *3*. <https://doi.org/10.3389/fict.2016.00024>
- Murray, T. J., Pipino, L. L., & Van Gigch, J. P. (1985). A pilot study of fuzzy set modification of Delphi. *Human Systems Management*, *5*(1), 76-80. <https://doi.org/10.3233/HSM-1985-5111>

- Němec, M., Fasuga, R., Trubač, J., & Kratochvíl, J. (2017, October 26-27). *Using virtual reality in education* [Paper presentation]. 2017 15th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), Starý Smokovec, the High Tatras, Slovakia. <https://doi.org/10.1109/ICETA.2017.8102514>
- Nesbit, J. C., Belfer, K., & Leacock, T. (2003). *Learning object review instrument (LORI)*. [https://www.academia.edu/7927907/Learning\\_Object\\_Review\\_Instrument\\_LORI](https://www.academia.edu/7927907/Learning_Object_Review_Instrument_LORI)
- Noorderhaven, N. G. (1995). Strategic decision making. *Addison-Wesley*.
- Nuguri, S. S., Calyam, P., Oruche, R., Gulhane, A., Valluripally, S., Stichter, J., & He, Z. (2020). VSocial: A cloud-based system for social virtual reality learning environment applications in special education. *Multimedia Tools and Applications*, 80, 16827-16856. <https://doi.org/10.1007/s11042-020-09051-w>
- Papachristos, N. M., Vrellis, I., & Mikropoulos, T. A. (2017, July 3-7). *A comparison between oculus rift and a low-cost smartphone VR headset: Immersive user experience and learning* [Paper presentation]. 2017 IEEE 17th International Conference on Advanced Learning Technologies (ICALT), Timisoara, Romania. <https://doi.org/10.1109/ICALT.2017.145>
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, 110(6), 785-797. <https://doi.org/10.1037/edu0000241>
- Radianti, J., Majchrzak, T. A., Fromm, J., & Wohlgenannt, I. (2020). A systematic review of immersive virtual reality applications for higher education: Design elements, lessons learned, and research agenda. *Computers and Education*, 147. <https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.103778>
- Román-Ibáñez, V., Pujol-López, F. A., Mora-Mora, H., Pertegal-Felices, M. L., & Jimeno-Morenilla, A. (2018). A low-cost immersive virtual reality system for teaching robotic manipulators programming. *Sustainability*, 10(4), 1102. <https://doi.org/10.3390/su10041102>
- Rosenfield, P., Fay, J., Gilchrist, R. K., Cui, C., Weigel, A. D., Robitaille, T., Otor, O. J., & Goodman, A. (2018). AAS worldwide telescope: A seamless, cross-platform data visualization engine for astronomy research, education, and democratizing data. *The Astrophysical Journal Supplement Series*, 236(22), 1-16. <https://doi.org/10.3847/1538-4365/aab776>
- Saaty, T. L., & Vargas, L. G. (2012). The possibility of group choice: Pairwise comparisons and merging functions. *Social Choice and Welfare*, 38(3), 481-496. <https://doi.org/10.1007/s00355-011-0541-6>
- Sankaranarayanan, S., Balaji, Y., Castillo, C. D., & Chellappa, R. (2018, June 18-23). *Generate to adapt: Aligning domains using generative adversarial networks* [Paper presentation]. 2018 IEEE/CVF Conference on Computer Vision and Pattern Recognition (CVPR), Salt Lake City, UT, United States. <https://doi.org/10.1109/CVPR.2018.00887>

- Shih, S.-L., Ou, S.-J., Huang, Y.-C., & Mu, Y.-C. (2019). The difficulties and countermeasures of applying virtual reality to industrial design education. In Association for Computing Machinery (Ed.), *ICEMT '19: Proceedings of the 3rd international conference on education and multimedia technology* (pp. 269-272). Association for Computing Machinery. <https://doi.org/10.1145/3345120.3345150>
- Slater, M., & Sanchez-Vives, M. V. (2016). Enhancing our lives with immersive virtual reality. *Frontiers in robotics and AI*, 3. <https://doi.org/10.3389/frobt.2016.00074>
- Smith, S. J., Farra, S. L., Ulrich, D. L., Hodgson, E., Nicely, S., & Mickle, A. (2018). Effectiveness of two varying levels of virtual reality simulation. *Nursing Education Perspectives*, 39(6), E10-E15. <https://doi.org/10.1097/01.NEP.0000000000000369>
- Snelson, C., & Hsu, Y.-C. (2020). Educational 360-degree videos in virtual reality: A scoping review of the emerging research. *TechTrends*, 64, 404-412. <https://doi.org/10.1007/s11528-019-00474-3>
- Sun, C., Hu, W., & Xu, D. (2019). Navigation modes, operation methods, observation scales and background options in UI design for high learning performance in VR-based architectural applications. *Journal of Computational Design and Engineering*, 6(2), 189-196. <https://doi.org/10.1016/j.jcde.2018.05.006>
- Webster, R. (2016). Declarative knowledge acquisition in immersive virtual learning environments. *Interactive Learning Environments*, 24(6), 1319-1333. <https://doi.org/10.1080/10494820.2014.994533>
- Xie, K., & Luthy, N. (2017, June 26). *Textbooks in the digital world*. The Conversation. <https://theconversation.com/textbooks-in-the-digital-world-78299>
- Yang, F.-C. O., Chen, H.-H., & Liao, C.-J. (2018, July 8-13). *Exploring the effects of multimedia design in a life English VR serious game* [Paper presentation]. 2018 7th International Congress on Advanced Applied Informatics (IIAI-AAI), Yonago, Japan. <https://doi.org/10.1109/IIAI-AAI.2018.00194>
- Yoganathan, S., Finch, D. A., Parkin, E., & Pollard, J. (2018). 360° virtual reality video for the acquisition of knot tying skills: A randomised controlled trial. *International Journal of Surgery*, 54, 24-27. <https://doi.org/10.1016/j.ijssu.2018.04.002>
- Zhang, A., Wang, K.-C., Li, B., Yang, E., Dai, X., Peng, Y., Fei, Y., Liu, Y., Li, J.-Q., & Chen, C. (2017). Automated pixel-level pavement crack detection on 3D asphalt surfaces using a deep-learning network. *Computer-Aided Civil and Infrastructure Engineering*, 32(10), 805-819. <https://doi.org/10.1111/mice.12297>
- Zhao, J., Lafemina, P., Carr, J., Sajjadi, P., Wallgrun, J. O., & Klippel, A. (2020, March 22-26). *Learning in the field: Comparison of desktop, immersive virtual reality, and actual field trips for place-based STEM education* [Paper presentation]. 2020 IEEE Conference on Virtual Reality and 3D User Interfaces (VR), Atlanta, GA, United States. <https://>

[doi.org/10.1109/VR46266.2020.00012](https://doi.org/10.1109/VR46266.2020.00012)

Zizza, C., Starr, A., Hudson, D., Nuguri, S. S., Calyam, P., & He, Z. (2018, January 12-15). *Towards a social virtual reality learning environment in high fidelity* [Paper presentation]. 2018 15th IEEE Annual Consumer Communications & Networking Conference (CCNC), Las Vegas, NV, United States. <https://doi.org/10.1109/CCNC.2018.8319187>