

教育部教學實踐研究計畫成果報告
Project Report for MOE Teaching Practice Research Program

計畫編號/Project Number：PBM1122161

學門專案分類/Division：商業及管理

計畫年度：112 年度一年期 111 年度多年期

執行期間/Funding Period：2023.08.01 – 2024.07.31

沉浸式學習對學生學習成效、心流體驗與認知負荷影響之探討：

以商展行銷課程為例

商展行銷課程

計畫主持人(Principal Investigator)：姚政文

協同主持人(Co-Principal Investigator)：

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：致理科技大學／國貿系

成果報告公開日期：立即公開 延後公開

繳交報告日期(Report Submission Date)：2024 年 9 月 8 日

沉浸式學習對學生學習成效、心流體驗與認知負荷影響之探討：以商展行銷課程為例

一、本文 (Content)

1. 研究動機與目的 (Research Motive and Purpose)

商展行銷課程採用的教育與學習方式，多以課程講授法配合影像、圖片教學的學習方式。此種教學方式最大優點在於內容具一致性、授課方便且易於評量，通常一位教師即可對大量學習者授課。其搭配的影像、圖片教學方式，也以平面圖解影像的呈現為主。然而，對於具有高度變化性、實用性、產業應用性的商展行銷而言，課程講授方式較難與職場實際應用產生連結，對於滿足工作需求與跨產業運用直接幫助不大。

研究者於商展行銷課程現行的教授方式，仍以課程講授法搭配影像、圖片教學進行，學生學習過程與成效反應出下列不足之處：

(1)知識與應用較易產生差異

應用於商展行銷的知識與技術，具有較高的複合性、可變性，現行商展行銷課程所採行學理講述與書面練習操作，難以將所學運用在職場上，導致即使學習成績優異的同學，也無自信可以從事完整的商展行銷執行。商展行銷是多種產業新型態、新內容的實踐工具，其在學習上應更貼近真實場域。

(2)學習與情境脫鉤

商展行銷的應用，通常以團隊方式進行，著重在主題導向或任務導向，其運作常因展覽特性而更加多工、彈性。現行商展行銷課程以學生為獨立、清楚定義的個人，經由模型範例與課本練習的方式來學習，無法讓學生體驗真實情境中的狀況與資訊。

(3)學生缺乏參與機會

現在商展行銷課程採用的講授法，大多以課堂內靜態內容呈現與學習過程，學生很少有參觀實際展覽的機會，較難將知識內容與實際情境完整且有效串連。參與感的不足減低同學的學習動機與興趣，造成同學僅能記憶式學習。

(4)無法有效整合學習內容

展覽在企業的應用，通常不是單點式執行，而是涉及一個行銷任務的完整商業流程，因此，了解真實情境以刺激整體、多面向思考是重要的。

現在商展行銷課程內容較偏重在概念、規則的講授，較少論及其背後的设计原理、考量與執行限制，更遑論如何評估與執行其結合運作的方法。

為有效提升學生學習商展行銷課程成效，增加學生參與課程動機，幫助學生具備現代國際貿易職場所需之技能。故本計畫規劃導入虛擬實境科技於商展行銷課程教學中，並採用三階段學習環設計與發展教材，以探討結合三階段學習環與虛擬實境科技對學生學習成效、心流體驗與認知負荷的影響，作為未來使用虛擬實境教材於商展行銷課程的立論基礎。

2. 研究問題 (Research Question)

在目前的展會行銷課程中，由於實際操作時間與空間的限制，以及實際展示參訪有交通與課程結合的困難，阻礙了學生近距離觀察的機會，因此大多只能透過觀看影片、圖片、文字等方式學習，造成學生在會展構思、展場規劃、展攤設計等學習內容上，僅能透過文本資料進行想像與學習，故而在學習上產生局限。而虛擬實境(Virtual reality)可打破時間與空間的限制，將學習的場景帶到學習者的面前，讓學習者能以強調互動與探索的方式進行學習(Cheng & Tsai, 2019)。

資訊技術的快速發展，使得虛擬實境的應用日益廣泛，其技術的逐漸成熟也讓其使用更加普及與貼近真實情境。近年來，越來越多的教學場域開始採用虛擬實境科技，讓學習者能沉浸在學習的環境中，以提高其學習興趣與成效(Anglin, Sugiyama, & Liew, 2017)。然而，過去的研究顯示，運用虛擬實境在教學現場時，不一定都能為學生學習帶來正面的效果。若虛擬實境同時提供太多的資訊與刺激，將對學生帶來較高的認知負荷，進而影響其學習意願與成效(Jensen & Konradsen, 2018; Parong & Mayer, 2018)。為降低虛擬實境應用於教學場域所可能帶給學生學上的認知負荷，教學者可藉由設計合適的教材內容與呈現方式，讓學生建構幫助其學習的基本架構，以有效的進行學習。

三階段學習環(Three-phase learning cycle)是一種引導學生發現與解決問題的教學方法，學生經由問題解決的過程，一方面獲得知識探究的經驗，另一方面學習到所需技能。三階段學習環以學生為主體，透過明確的教學步驟，幫助學生聚焦於所需學習的重要概念，降低學習時所產生的負荷(Lawson, 1988; Lawson, Abraham, & Renner, 1989)。因此，本計畫在應用虛擬實境科技於教學場域時，同時以三階段學習環概念設計教材內容與呈現方式，以引導學生進行知識學習時，與虛擬實境沉浸式的學習環境相輔相成，降低虛擬實境可能帶來的認知負荷，進而提升學生自發性學習與解決問題的能力。

研究資料顯示，使用擬真或沉浸的學習環境，會對學習者的心流體驗產生影響(Chang, Liang, Chou, & Lin, 2017;)，也可能影響學習者的學習負荷(Frederiksen et al., 2019; Makransky, Terkildsen, & Mayer, 2019; Howard & Gutworth, 2020)。故本計畫在運用虛擬實境教學時，亦同時衡量學生的心流體驗與認知負荷，以了解學生對虛擬實境教學的反應。

爰此，本計畫的研究主題為「沉浸式學習對學生學習成效、心流體驗與認知負荷影響之探討：以商展行銷課程為例」，其目的即為了解運用虛擬實境融入三階段學習環所設計的商展行銷學習環境，是否可增加學生的學習成效、心流體驗，並產生較低的認知負荷，同時發展出以下研究問題：

(1)使用虛擬實境學習方式與傳統講述方式學習環境，對於學生在商展行銷課程的學習成效是否有所差異。

(2)使用虛擬實境學習方式與傳統講述方式學習環境，對於學生在商展行銷課程的心流體驗是否有所差異。

(3)使用虛擬實境學習方式與傳統講述方式學習環境，對於學生在商展行銷課程的認知負荷是否有所差異。

3. 文獻探討 (Literature Review)

(1)心流體驗

學者 Csikszentmihalyi 於 1990 年提出沉浸理論(flow model)，沉浸(flow)指個人因為自己的興趣將注意力集中於所進行的活動或目標上，同時降低其他不相關的知覺。此時，個人產生一種完全專注在某個目標或活動的心理狀態，稱之為心流狀態。Pearce, Ainley 與 Howard(2005)提出心流體驗主要包含三個方面：樂趣(enjoyment)、專注(engagement)與控制(control)。樂趣，指學習者在學習過程中感受到愉悅的程度；專注，指學習者將注意力投入學習過程的程度；控制，指學習者操控學習環境與活動之能力程度。

學者的研究指出，心流體驗的提升有助於正面影響學習成效(Erchel & Jamet, 2019)與降低認知負荷(Chang, Liang, Chou, & Lin, 2017)。有鑑於心流體驗對於學習者的影響，越來越多的研究將心流體驗視為提升學習效果的教學考量之一(Hsieh, Lin, & Hou, 2016; Özhan & Kocadere, 2019)。學者們的研究發現，心流體驗對於增進學習成效(Esfahlani, Thompson, Parsa, Brown, & Cirstea, 2018)、學習動機(Pirker, Holly, Lesjak, Kopf, & Gütl, 2019)、專注力(Suh & Prophet, 2018)與創造力(Yang, Lin, Cheng, Yang, Ren, & Huang, 2018)等，有著正向的影響。

學者的研究結果發現，運用多媒體的教學方式，有助於強化國小學生的知識學習與心流體驗(Hong, Hwang, Tai, Lin, & Lin, 2019)。隨著資訊技術的進步，心流體驗研究由電腦遊戲(Hsieh et al., 2016; Özhan & Kocadere, 2019)、擴增實境(Hsu, 2017; Huang & Liao, 2017)，逐漸發展到虛擬實境的領域(Kwon, 2019; Yang et al., 2018)，使用虛擬實境帶來了更高的心流體驗。

(2) 認知負荷

Sweller(1988)認為認知負荷可以用來表示當學習者執行任務時，所認知到的負荷。其後，Sweller、van Merriërboer 與 Paas(1998)進一步研究發現，當教材或學習強度超過學習者的工作記憶容量，將對其學習理解能力產生負面影響。學者將認知負荷的來源分為三類：(Paas, Renkl, & Sweller, 2003; Schnotz & Kürschner, 2007; Sweller, 2010; Sweller et al., 1998)

● 內在認知負荷(Intrinsic cognitive load)

來源主要來自於教材內容的難度，不會受到內容呈現方式的影響，Sweller 等學者(1998)認為內在認知負荷的程度與學習要素的互動性(element interactivity)有關。此處所謂的要素(element)，係指在學習中，學習者所需學習內容的最小單位知識，如果所需學習的要素較為複雜，工作記憶的處理需要較複雜的程序，會產生較高的內在認知負荷，此需要將要素適當的區隔，降低其間的相關性以降低內在認知負荷。

● 外在認知負荷(Extraneous cognitive load)

來源主要來自教材設計與呈現方式所帶來的影響(Sweller & Chandler, 1991)，如果教材的設計或呈現方式不佳，會增加學習者無關知識學習的認知資源負擔。因此，為了降低學習者的外在負荷，教學者需設計合適的教學與呈現方式，讓學習者處理與學習相關資訊的工作記憶空間是足夠的。

● 有效認知負荷(Germane cognitive load)

較降低外在認知負荷更進一步的作法，教學者藉由設計適當的教學與呈現方式，引導學生建構幫助其學習的基本架構，雖然仍會占用學習者的認知資源，但可幫助其進行有效的認知學習，且在認知負荷總負荷量未超出學習者的負荷量時，此即所謂的有效認知負荷(Sweller, 2010)。

(3) 小結

近年來，虛擬實境逐漸受到教育界的重視，尤以需要高度情境涉入學習的知識，例如機械操作組裝(Pandilov et al., 2015)、建築設計(Freitas & Ruschel, 2013)、醫療手術(Escobar-Castillejos, Noguez, Neri, Magana, &

Benes, 2016)與逃生訓練(Feng et al., 2018)等領域，多開始進行相關的教學應用。教師對於虛擬實境在教學環境的使用大都抱持正面的態度，認為可提高學生的學習興趣與效果(Markowitz, Laha, Perone, Pea, & Bailenson, 2018)。

虛擬實境為學習者帶來與環境的高互動性，提升其在學習環境中的融入感，使其彷彿置身真實的環境中學習，讓學習者可以在擬真的環境中探索、觀察與蒐集資訊，增進其學習動機(Buchanan, Pressick-Kilborn, & Maher, 2019)。虛擬實境擴充學習時間與空間的可能性，讓學生得以透過對仿真世界進行觀察與學習，提升學習成效(Bailenson, 2018)，其所具備的高沉浸性也可幫助學生提高學習的注意力與參與感(Tcha-Tokeym, Christmann, Loup-Escande, Loup, & Richir, 2018)。

然而，運用虛擬實境並非一定會帶來正面的學習效果(Ulrich, Helms, Frandsen, & Rafn 2019)。研究顯示，當多媒體工具降低學習的認知負荷時，能夠提升學習者的學習效果(Hong et al., 2019)，但也有研究指出，使用高度擬真的學習環境，反而容易增加認知負荷，從而降低學習成效(Frederiksen et al., 2019; Makransky et al., 2019; Zhao et al., 2020)，例如在頭戴式虛擬實境時，學習者除了眼前螢幕的資訊外，還需要同時接收3D立體環境的資訊，帶來了許多刺激與負擔(Jensen & Konradsen, 2018)。

Makransky 等學者(2019)比較大學生在採用頭戴式虛擬實境與桌機版模擬學習環境的學習狀況，結果發現在頭戴式虛擬實境學習時，雖然可以帶來較高的存在感，卻也產生較高的認知負荷，反而帶來比桌機版學習更低的學習效果。Frederiksen 等學者(2019)發現學生在頭戴式虛擬實境進行外科手術技能訓練時，雖較傳統的虛擬實境環境呈現出更符合真實現場的情況，但也帶來較高的外在認知負荷，進而對訓練產生負面的效果。因此，本計畫透過結合三階段學習環，運用配對、回饋等方式增進教材的互動性，以對學生內在、外在與有效認知負荷的影響做進一步探討。

4. 教學設計與規劃 (Teaching Planning)

(1)教學目標與方法

本研究預計於研究者所開設的「商展行銷」課程中進行，本課程重點包括展覽產業簡介、展覽架構、開發與規劃展覽的展覽行銷策略、實際展覽籌備到展前準備管理工作、展覽進退場及現場管理技巧、展後檢討與績效管理、危機管理實務與展覽整合行銷傳播，以幫助學生熟悉國際商展運作與行銷技巧。

本課程將分兩部分進行，第一部分為商展相關知識介紹，主題包括國

際會展活動的基本概念、或展活動關鍵相關業者及組織、國家(城市)行銷組織等；第二部分則為商展行銷企劃書撰寫，藉由指導同學撰寫商展企劃書之過程，協助同學了解商展活動之進行與應注意之細節等等。

由於本研究欲探討同學在接受虛擬實境結合三階段學習環之教學方法與三階段學習環之教學方法後之學習成效、心流體驗與認知負荷是否有差異，因此本次教學預定在第一部分進行實驗。本研究預計於介紹商展相關知識時，採用三階段學習環之架構進行教學，同時以六周時間進行實驗，針對每周介紹不同的主題，並於實驗組之教學媒介中採用虛擬實境方式進行，對照組則採用傳統的講授方式進行教學。

(2) 學生成績考核與學習成效評量工具

本課程成績考核與學習成效評量工具多元，包含期中考試(30%)、學習單(20%)、課程參與(20%)與企劃書成果發表(30%)。其中期中考試為傳統紙筆測驗，用以確同學對於商展行銷之概念與知識之理解程度；學習單包含有三，包含一次參展後反思學習單與兩次同學期末企畫書成果發表學習單，用以了解同學在實際參展與同儕企畫書發表後的心得與反思；課程參與則用以鼓勵同學課程投入與參與互動之程度，企畫書成果發表則用以評量同學經過一學期之學習後，用以實務運用的學習成效。

5. 研究設計與執行方法 (Research Methodology)

(1) 研究範圍目標

本研究採用以三階段學習環的概念進行課程內容設計，並探討學生在接受使用虛擬實境結合三階段學習環所設計的課程後，對其學習成效、心流體驗與認知負荷的影響。為了解沉浸式教學對學生學習的影響，本研究將研究對象分為採用虛擬實境教學法(實驗組)與課程講授法(對照組)兩個組別，以塑造不同的學習情境。

(2) 研究對象與場域

本研究以致理科技大學修讀商展行銷課程學生為對象，區分為實驗組與對照組。實驗組運用虛擬實境結合三階段學習環概念所設計之商展行銷教材；控制組則採用傳統課程投影片結合三階段學習環講述教學之方式授課。在教學內容上，研究對象均使用相同的教學內容，進行為期 6 週的教學實驗，每週之商展行銷課程為連續 2 節，每節課為 50 分鐘。

(3) 研究方法與工具

為了比較使用虛擬實境教學法與課程講授法對學生學習的差異，本研

究採用準實驗研究法，學生皆進行知識程度測驗，以及前測/後測施測，以了解學生在研究進行之前是否存在差異，以及在不同組別教學後學生改變的情況。研究對象為選修商展行銷課程的學生，設計的主要變因為是否採用虛擬實境教學，其中包括兩種不同的教學方式：

- 實驗組：採用虛擬實境教學法
- 對照組：採用課程講授法

實驗組與對照組受教者皆為選修商展行銷課程之學生，本研究測量工具為心流體驗量問卷與認知負荷問卷，由研究者所教授的班級中任選一班為實驗組，另一班則為對照組。兩組學生在授課前均接受前測，授課後均接受後測。前測評量的結果代表學生學習課程前的背景程度。透過前測/後測的作答情形與資料分析，進而比較在三階段學習環的教學方法下，採用虛擬實境對於學生學習成效、心流體驗與認知負荷的影響是否有差異。

6. 教學暨研究成果 (Teaching and Research Outcomes)

(1)教學過程與成果

本研究計畫應用 3D 虛擬教材結合三階段學習環於商展行銷課程，獲得之教學成果：

- 提升學生對商展行銷的認識與興趣
- 增進學生對參展操作模式熟悉程度
- 培養學生解決實務問題的能力
- 強化技能實用性以降低學用落差

(2)教師教學反思

本研究採用 3D 虛擬教材進行商展行銷課程在實際場域相關知識的教授，發現學生在學習成效、心流體驗與認知負荷三個部分皆有產生影響，並增進對學生參與課程與知識使用的意圖，獲致以下三項成效：

- 以 3D 虛擬教材結合三階段學習環教學法進行商展行銷教學，改變學生對商展行銷課程的態度，增加其參與課程與知識使用的意圖，其會展行銷知識測驗平均分數由 63.22 增加到 80.18。
- 以 3D 虛擬教材結合三階段學習環教學法進行商展行銷教學，改變學生對商展行銷課程的心流體驗，提升其參與課程的興趣，實驗組(3.56)在心流體驗分數高於對照組(3.21)。

- 以 3D 虛擬教材結合三階段學習環教學法進行商展行銷教學，改變學生對商展行銷課程的認知負荷，影響其更有效率與架構的學習知識，實驗組(2.32)在認知負荷分數低於對照組(3.28)。

(3)學生學習回饋

應用 3D 虛擬教材結合三階段學習環教學法設計商展行銷課程，提高學生參與課程的興趣、學習成效與降低認知負擔，並獲致三項成效：

- 提升學習效果，例如使用 3D 虛擬教材學習後，會展行銷知識測驗平均分數由 63.22 增加到 80.18。
- 提高學習興趣，例如使用 3D 虛擬教材學習的學生(3.56)在心流體驗分數高於使用傳統教材學習的學生(3.21)。
- 降低學習負擔，例如使用 3D 虛擬教材學習的學生(2.32)在認知負荷分數低於使用傳統教材學習的學生(3.28)。

7. 建議與省思 (Recommendations and Reflections)

(1)虛擬實境教材應用的差異

過去的研究關於虛擬實境教材與認知負荷部分，大多以穿戴式虛擬實境裝置與教材為探討內容。本研究所採用的虛擬實境教材則為 3D 虛擬教材，搭配工具為智慧型手機，於使用的困難度較低，並可帶來較高的融入程度，亦可能造成本研究與過去文獻在認知負荷結果上的差異，建議未來的教學者和研究者可將此點列入考量。

(2)學習步驟的再確認

雖然三階段學習環有明確且清楚的教學步驟，但在執行過程中，仍有同學當下不清楚活動進行環節與內容，造成時間的延誤與活動進行的突發狀況，因此建議能跟同學在第一周於學習步驟上多加說明。

(3)需要引導者的帶領

同學因為對學習過程較不具信心，常希望在探索與概念討論時有引導討論的方向與想法，或是當討論遇到疑問，想跟老師確認時，常因老師不在旁邊而停止討論，因此建議能每組都有一位引導者。

二、參考文獻 (References)

- Anglin, J. M., Sugiyama, T., & Liew, S.-L. (2017). Visuomotor adaptation in headmounted virtual reality versus conventional

training. *Scientific Reports*, 7(1). doi: 10.1038/srep45469

- Bailenson, J. (2018). *Experience on demand: What virtual reality is, how it works, and what it can do*. New York, NY: W. W. Norton & Company.
- Bell, C. V., & Odom, A. L. (2012). Reflections on discourse practices during professional development on the learning cycle. *Journal of Science Teacher Education*, 23(6), 601-620. doi:10.1007/s10972-012-9307-y
- Buchanan, J., Pressick-Kilborn, K., & Maher, D. (2019). Promoting environmental education for primary school-aged students using digital technologies. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, 15(2), 1-15. doi:10.29333/ejmste/100639
- Chang, C.-C., Liang, C., Chou, P.-N., & Lin, G.-Y. (2017). Is game-based learning better in flow experience and various types of cognitive load than non-game-based learning? Perspective form multimedia and media richness. *Computers in Human Behavior*, 71, 218-227. doi:10.1016/j.chb.2017.01.031
- Cheng, K.-H., & Tsai, C.-C. (2019). A case study of immersive virtual field trips in an elementary classroom: Students learning experience and teacher-student interaction behaviors. *Computers & Education*, 140, 103600. doi:10.1016/j.compedu.2019.103600
- Csikszentmihalyi, M. (1990). *Flow: The psychology of optimal experience*. New York, NY: Harper & Row.
- Erchel, S., & Jamet, E. (2019). Improving instructions in educational computer games: Exploring the relations between goal specificity, flow experience and learning outcomes. *Computers in Human Behavior*, 91, 106-114. doi:10.1016/j.chb.2018.09.020
- 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), 104. doi:10.1007/s10916-016-0459-8
- Esfahlani, S. S., Thompson, T., Parsa, A. D., Brown, I., & Cirstea, S. (2018). ReHabgame: A non-immersive virtual reality rehabilitation system with applications in neuroscience. *Heliyon*, 4(2), e00526. doi:10.1016/j.heliyon.2018.e00526
- 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. doi:10.1016/j.compedu.2018.09.002

- Frederiksen, J. G., Sørensen, S. M. D., Konge, L., Svendsen, M. B. S., Nobel-Jørgensen, M., Bjerrum, F., & Andersen, S. A. W. (2019). Cognitive load and performance in immersive virtual reality versus conventional virtual reality simulation training of laparoscopic surgery: A randomized trial. *Surgical Endoscopy*, 34(3), 1244-1252. doi:10.1007/s00464-019-06887-8
- Freitas, M. R., & Ruschel, R. C. (2013, May). *What is happening to virtual and augmented reality applied to architecture?* Proceedings of the 18th International Conference on Computer-Aided Architectural Design Research in Asia (CAADRIA 2013), Singapore.
- Hong, J.-C., Hwang, M.-Y., Tai, K.-H., Lin, P.-H., & Lin, P.-C. (2019). Learning progress in a Chinese order of stroke game: The effects of intrinsic cognitive load and gameplay interest mediated by flow experience. *Journal of Educational Computing Research*, 58(4), 842-862. doi:10.1177/0735633119881471
- Howard, M. C., & Gutworth, M. B. (2020). A meta-analysis of virtual reality training programs for social skill development. *Computers & Education*, 144, 103707. doi:10.1016/j.compedu.2019.103707
- Hsieh, Y.-H., Lin, Y.-C., & Hou, H.-T. (2016). Exploring the role of flow experience, Learning performance and potential behavior clusters in elementary students gamebased learning. *Interactive Learning Environments*, 24(1), 178-193. doi:10.1080/10494820.2013.834827
- Hsu, T.-C. (2017). Learning English with augmented reality: Do learning styles matter? *Computers & Education*, 106, 137-149. doi:10.1016/j.compedu.2016.12.007
- Huang, T.-L., & Liao, S.-L. (2017). Creating e-shopping multisensory flow experience through augmented reality interactive technology. *Internet Research*, 27(2), 449-475. doi:10.1108/IntR-11-2015-0321
- Jensen, L., & Konradsen, F. (2018). A review of the use of virtual reality head-mounted displays in education and training. *The Official Journal of the IFIP Technical Committee on Education*, 23(4), 1515-1529. doi:10.1007/s10639-017-9676-0
- Kwon, C. (2019). Verification of the possibility and effectiveness of experiential learning using HMD-based immersive VR technologies.

Virtual Reality, 23(1), 101-118. doi:10.1007/s10055-018-0364-1

- Lake, G. A. (2017). *The effect of teaching and learning strategies on conceptual and attitudinal change of gifted primary students* (Unpublished doctoral dissertation). Curtin University, Western Australia.
- Lawson, A. E. (1988). A better way to teach biology. *The American Biology Teacher*, 50(5), 266-278.
- Lawson, A., Abraham, M., & Renner, J. (1989). *A theory of instruction: Using the learning cycle to teach science concepts and thinking skills*. Manhattan, KS: National Association for Research in Science Teaching.
- Leonard, W. H., & Penick, J. E. (2009). Is the inquiry real? *The Science Teacher*, 76(5), 40-43.
- Leppink, J., Paas, F., van Gog, T., van der Vleuten, C. P. M., & van Merriënboer, J. J. G. (2014). Effects of pairs of problems and examples on task performance and different types of cognitive load. *Learning and Instruction*, 30, 32-42. doi:10.1016/j.learninstruc.2013.12.001
- Makransky, G., Terkildsen, T. S., & Mayer, R. E. (2019). Adding immersive virtual reality to a science lab simulation causes more presence but less learning. *Learning and Instruction*, 60, 225-236. doi:10.1016/j.learninstruc.2017.12.007
- Markowitz, D. M., Laha, R., Perone, B. P., Pea, R. D., & Bailenson, J. N. (2018). Immersive virtual reality field trips facilitate learning about climate change. *Frontiers in Psychology*, 9, 23-64. doi:10.3389/fpsyg.2018.02364
- Morimoto, J., & Ponton, F. (2019). *Virtual reality in biology: Can we become virtual naturalists?* doi:10.20944/preprints201910.0311.v1
- Niaz, M. (2016). Understanding stoichiometry: Do scientific laws help in learning science? In M. Niaz (Ed.), *Chemistry education and contributions from history and philosophy of science* (pp. 125-141). Cham, Switzerland: Springer.
- Odom, A. L., & Bell, C. V. (2017). Developing PK-12 preservice teachers skills for understanding data-driven instruction through inquiry learning. *Journal of Statistics Education*, 25(1), 29-37. doi:10.1016/j.compedu.2013.07.033
- Osman, K. (2017). Addressing secondary school students misconceptions about simple current circuits using the learning cycle

approach. In M. Karpudewan, A. Md Zain, & A. Chandrasegaran (Eds.), *Overcoming students' misconceptions in science* (pp. 223-242). Singapore: Springer.

- Özhan, Ş. Ç., & Kocadere, S. A. (2019). The effects of low, emotional engagement, and motivation on success in a gamified online learning environment. *Journal of Educational Computing Research*, 57(8), 2006-2031. doi:10.1177/0735633118823159
- Pandilov, Z., Milecki, A., Nowak, A., Górski, F., Grajewski, D., Ciglar, D., ... Klaić, M. (2015). Virtual modelling and simulation of a CNC machine feed drive system. *Transactions of FAMENA*, 39(4), 37-54.
- Parong, J., & Mayer, R. E. (2018). Learning science in immersive virtual reality. *Journal of Educational Psychology*, 110(6), 785-797. doi:10.1037/edu0000241
- Paas, F. G. W. C., Renkl, A., & Sweller, J. (2003). Cognitive load theory and instructional design: Recent developments. *Educational Psychologist*, 38(1), 1-4. doi:10.1207/S15326985EP3801_1
- Pearce, J. M., Ainley, M., & Howard, S. (2005). The ebb and flow of online learning. *Computers in Human Behavior*, 21(5), 745-771. doi:10.1207/S15326985EP3801_1
- Pirker, J., Holly, M., Lesjak, I., Kopf, J., & Gütl, C. (2019). MaroonVR—An interactive and immersive virtual reality physics. In P. Díaz, A. Ioannou, K. K. Bhagat, & J. M. Spector (Eds.), *Learning in a digital world: Perspective on interactive technologies for formal and informal education* (pp. 213-238). Singapore: Springer.
- Schnotz, W., & Kürschner, C. (2007). A reconsideration of cognitive load theory. *Educational Psychology Review*, 19(4), 469-508.
- Suh, A., & Prophet, J. (2018). The state of immersive technology research: A literature analysis. *Computers in Human Behavior*, 86, 77-90. doi:10.1016/j.chb.2018.04.019
- Sweller, J. (1988). Cognitive load during problem solving: Effects on learning. *Cognitive Science*, 12(2), 257-285. doi:10.1016/0364-0213(88)90023-7
- Sweller, J. (2010). Element interactivity and intrinsic, extraneous, and germane cognitive load. *Educational Psychology Review*, 22(2), 123-138. doi:10.1007/s10648-010-9128-5
- Sweller, J., & Chandler, P. (1991). Evidence for cognitive load theory. *Cognition and Instruction*, 8(4), 351-362.

- Sweller, J., van Merriërboer, J. J. G., & Paas, F. (1998). Cognitive architecture and instructional design. *Education Psychology Review*, 10(3), 251-296.
- Tcha-Tokey, K., Christmann, O., Loup-Escande, E., Loup, G., & Richir, S. (2018). Towards a model of user experience in immersive virtual environments. *Advances in Human-Computer Interaction*, 2018, 7827286. doi:10.1155/2018/7827286
- Ulrich, F., Helms, N. H., Frandsen, U. P., & Rafn, A. V. (2019). Learning effectiveness of 360° video: Experiences from a controlled experiment in healthcare education. *Interactive Learning Environments*, 1-14. doi:10.1080/10494820.2019.1579234
- Withers, M. (2016). The college science learning cycle: An instructional model for reformed teaching. *CBE—Life Sciences Education*, 15(4), 1-12. doi:10.1187/cbe.15-04-0101
- Yang, X., Lin, L., Cheng, P.-Y., Yang, X., Ren, Y., & Huang, Y.-M. (2018). Examining creativity through a virtual reality support system. *Educational Technology Research and Development*, 66(5), 1231-1254. doi:10.1007/s11423-018-9604-z
- Zhao, J., Lin, L., Sun, J., & Liao, Y. (2020). Using the summarizing strategy to engage learners: Empirical evidence in an immersive virtual reality environment. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 1-10. doi:10.1007/s40299-020-00499-w