

導入頭戴式虛擬實境於學習成效、心流體驗 與認知負荷之探究：以昆蟲課程為例

陳又菁*

摘要

在目前的昆蟲課程中，由於昆蟲本身體型、活動力及地點與季節的限制，阻礙了學生能夠近距離觀察的機會，致使學生在昆蟲的成長歷程與外型構造上經常產生混淆，而虛擬實境可打破時間與空間的限制，讓學習者能以強調互動與探索的方式進行學習，頭戴式裝置的普及更能貼近真實的情境，讓學習者能沉浸在學習的環境中並提高學習興趣。但研究發現，虛擬實境可能會帶來較高的認知負荷而無法確保產生較佳的學習成效，而探究式教學著重以學生進行探究活動為中心，並透過引導的過程幫助降低認知負荷，與虛擬實境著重沉浸式的探索環境相輔相成，因此，本研究目的即為運用探究式教學的三階段學習環結合頭戴式虛擬實境，期望提供適合學習者進行探索的昆蟲學習系統，藉以提升國小學生的昆蟲教育成效，並進一步探究其心流經驗、認知負荷的差異與學習經驗。本研究結果發現，運用頭戴式虛擬實境融入三階段學習環可幫助提升學習成效，並帶來較高的心流體驗及有效認知負荷，且能降低學習者之外在認知負荷，此結果可提供未來設計頭戴式虛擬實境融入教學之參考。

關鍵詞：三階段學習環、心流體驗、認知負荷、頭戴式虛擬實境

*中國文化大學資訊傳播學系副教授，E-mail: cyj17@faculty.pccu.edu.tw
投稿日期：2019.12.04；修正日期：2020.03.24；接受日期：2020.04.01
DOI: 10.3966/2071260X2020071203001

Effects of Applying Head-Mounted Virtual Reality in Insect Education on Achievement, Flow Experience, and Cognitive Load

Yu-Ching Chen*

Abstract

In the current curriculum, the limitation of location, season, and appearance of insects eliminate students to observe the insects closely. The students usually are confused with insects appearance and growing process. Virtual reality removes the limitation of time and space and facilitates students to learn and explore more actively. The head-mounted devices provide a more immersive environment for students to enhance their learning motivation. Studies found virtual reality may result in higher cognitive load and hinder learning. Inquiry-based learning emphasizes students exploration and provides guidance to decrease students cognitive load. The learning strategy could be suitable in virtual reality. In this study, the three-phase learning cycle model and head-mounted virtual reality were combined to improve insect education. The students flow experience, cognitive load, and learning experiences were also compared and discussed. The results showed that the proposed learning environment improved learning outcome, flow experience, and germane cognitive load. Moreover, students had lower extrinsic cognitive load than the control group. The results would be valuable for instructional designers when integrating head-mounted virtual reality into insect education in the future.

Keywords: three-phase learning cycle, flow experience, cognitive load, head-mounted virtual reality

* Associate Professor, Department of Information Communications, Chinese Culture University, E-mail: cyj17@faculty.pccu.edu.tw

壹、前言

在目前的昆蟲課程中，由於地點與季節的限制，以及昆蟲體型又較小的關係，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、標本或實際飼養等方式學習，造成學生在昆蟲的成長歷程與外型構造上經常產生混淆（周珊珊，2008；陳勇全、廖冠智，2013），且並非所有的昆蟲皆適合讓學生實際飼養，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（Chen, 2016; Cheng & Tsai, 2019）。因為電腦技術的快速發展，使得虛擬實境的應用也更加廣泛，近年來更因頭戴式裝置的普及更貼近真實的情境，因此讓學習者能沉浸在學習的環境中並提高學習興趣（Anglin, Sugiyama, & Liew, 2017; Ott & Freina, 2015）。但運用頭戴式虛擬實境（head-mounted virtual reality）時，並不一定都能帶來正面的效果，因其環境同時提供太多的資訊與刺激，帶來較高的認知負荷（cognitive load）而影響了學習成效（Jensen & Konradsen, 2018; Parong & Mayer, 2018）。

探究式教學（inquiry-based learning）是一種引導學生發現及解決問題的教學方法，是以學生進行探究活動為中心，經由問題解決的過程，一方面讓學生獲得科學探究的經驗，另一方面學習到科學的過程與技能，透過明確的教學步驟，在引導的過程中，幫助學生聚焦於所需學習的重要概念，降低學習時所帶來的認知負荷（Chen, Wang, Grotzer, & Dede, 2018; Hmelo-Silver, Duncan, & Chinn, 2007）。因此，使用探究式教學引導學生進行探究時，應能與虛擬實境著重沉浸式的探索環境相輔相成，並幫助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並解決問題的能力。探究式教學模式有很多種，其中，Lawson（1988）、Lawson、Abraham與Renner（1989）所提出的三階段學習環（three-phase learning cycle）常於進行科學教育時被採用（Lake, 2017; Niaz, 2016; Osman, 2017），其學習過程包含探索、術語介紹、概念應用等三個階段。且研究顯示，運用多媒體學習可提升心流體驗（flow experience）（Chang, Liang, Chou, & Lin, 2017），並對學習有所助益（Hsieh, Lin, & Hou, 2016）。

但也有研究指出，使用高度擬真或沉浸的學習環境，反而會增加認知負荷而降低學習成效（Frederiksen et al., 2019; Makransky, Terkildsen, & Mayer, 2019; Zhao, Lin, Sun, & Liao, 2020），因此在運用虛擬實境學習時，對於心流體驗與認知負荷的討論亦十分重要（Howard & Gutworth, 2020; Rupp et al., 2019），由於在昆蟲保

育相關研究方面較缺乏進一步與對照組的比較（陳勇全、廖冠智，2013；Clayborn & Delamarre, 2019; Lähtevänoja et al., 2019），故本研究採頭戴式虛擬實境結合三階段學習環來設計並發展昆蟲教育教材，且進一步比較運用三階段學習環與頭戴式虛擬實境設備及一般教學在學習成效、心流體驗與認知負荷的差異。

本研究之研究目的即為了解運用頭戴式虛擬實境融入三階段學習環所設計的學習環境（Three-phase Learning Cycle Head-mounted Virtual Reality Learning System, TLC-HVRLS），是否在昆蟲教育中可提升學生學習成效、心流體驗及較低的認知負荷？根據研究目的所形成的待答問題如下：

一、運用TLC-HVRLS的學習者是否與使用三階段學習環於傳統講述方式學習環境的學習者，對於昆蟲教育的學習成效（包含立即後測與延宕後測）有所差異？

二、運用TLC-HVRLS的學習者是否與使用三階段學習環於傳統講述方式學習環境的學習者，對於昆蟲教育的認知負荷（包含內在、外在與有效認知負荷）有所差異？

三、運用TLC-HVRLS的學習者是否與使用三階段學習環於傳統講述方式學習環境的學習者，對於昆蟲教育的心流體驗有所差異？

貳、文獻探討

一、虛擬實境

由於資通訊科技的發展，虛擬環境的發展愈來愈受到吾人的重視（Chen, 2019; Feng, González, Amor, Lovreglio, & Cabrera-Guerrero, 2018），從2016年開始，在HTC、Oculus及SONY陸續推出新產品的帶動下，為虛擬實境技術帶來了突破性的發展，也讓虛擬實境愈來愈普及，虛擬實境最初主要是運用在影音娛樂及遊戲產業，但近年來逐漸受到教育界的重視，在早期就已有使用虛擬實境來訓練飛行員的前例，並逐漸運用在機械操作組裝（Pandilov et al., 2015）、建築設計（Freitas & Ruschel, 2013）、醫療手術（Escobar-Castillejos, Noguez, Neri, Magana, & Benes, 2016）及逃生訓練（Feng et al., 2018）等領域。教師與學童對於在教育環境中使用虛擬實境大都抱持著正面的態度，認為可提升學習的效果並增加學習興趣（Markowitz, Laha, Perone, Pea, & Bailenson, 2018），由於虛擬實境具有融入性、想像性、互動性等特性（Burdea & Coiffet, 1994），幫助學習者能想像置身於真實的環境當中，並透過與環境的高互動性提升於學習環境中的融入感，學習者在虛擬實境中的探索學習，與自然科教學中強調的教學原則十分類似，學習

者得以在擬真的環境中探索、觀察與蒐集資訊，增進對於科學知識的學習動機（Buchanan, Pressick-Kilborn, & Maher, 2019），延伸出對於生態環境的關心與重視（Lähtevänoja et al., 2019）。虛擬實境可打破時間與空間的限制，讓學生透過觀察加深印象，提升學習效果（Bailenson, 2018; Fung et al., 2019; Markowitz et al., 2018），尤其可提供自然科學中如：長期演化（Morimoto & Ponton, 2019）與火山爆發（Asgary, Bonadonna, & Frischknecht, 2019）等難以取得的環境，且在虛擬實境中，學習者得以主動進行學習，透過與環境的互動，了解其進行選擇後所產生的結果與影響，達到強化學習保留的效果，並增進學習科學的興趣（Markowitz et al., 2018）。虛擬實境所具備的高沉浸性亦可吸引學生的注意力與提高學習的參與感（Cooper et al., 2018; Tcha-Tokeym, Christmann, Loup-Escande, Loup, & Richir, 2018），但研究發現，運用虛擬實境並無法確保其一定帶來正面的學習效果（Makransky et al., 2019; Parong & Mayer, 2018; Ulrich, Helms, Frandsen, & Rafn 2019）。Ulrich等人（2019）發現在健康照護的課程中，運用頭戴式虛擬實境的學習者之學習表現，相較於接受傳統教學者，並無明顯的差異，學習者反而對於傳統教學有較高的滿意度，推測可能需要加入更多的互動性才能幫助學習，因此，本研究嘗試結合三階段學習環，並運用問答、配對與回饋等方式增進教材之互動性。

Clayborn與Delamarre（2019）嘗試以虛擬實境模擬美國的乾旱森林生態環境，對於增進蝴蝶與植物保育的學習效果及提升保育環境的同理心，提供了一種有效的學習方式；Fung等人（2019）利用頭戴式虛擬實境進行環境化學的實地考察，學生反映對於此學習方式有極高的興趣與接受度；陳勇全與廖冠智（2013）利用2D虛擬實境幫助國小學童認識昆蟲教材，發現能提升學童了解昆蟲構造與生長過程，並引發探索樂趣與學習動機，但上述與昆蟲保育相關研究較缺乏進一步與對照組的比較（陳勇全、廖冠智，2013；Clayborn & Delamarre, 2019; Lähtevänoja et al., 2019），故結合頭戴式虛擬實境與三階段學習環於國小昆蟲教育的實證性研究有其必要性。

二、三階段學習環

三階段學習環是1960年代，由美國「科學課程改進研究」（Science Curriculum Improvement Study）提出的一種科學領域教學模式，但受到了建構主義的影響，Lawson（1988）、Lawson等人（1989）進一步將此三個階段修改為「探索－術語介紹－概念應用」（Exploration-Term Introduction-Concept Application），而改良後的模式普遍受到學界的認同與採用（Lake, 2017; Niaz, 2016; Osman, 2017）。

經由研究發現，運用三階段學習環教學模式，除了可增進學生對於科學概念的了解及記憶外，亦有助於發展學生的科學技能與思維（Lawson et al., 1989; Musheno & Lawson, 1999），進而提升其邏輯推理能力（Niaz, 2016），幫助培養對於科學的正面態度（Lake, 2017）與參與學習科學的興趣（Lake, 2017; Odom & Bell, 2017），並可鼓勵學生透過探究與思考，增進深度學習，降低學習過程中產生的迷思（Osman, 2017），以及鼓勵學生應用所學概念，提升問題解決能力（Withers, 2016）。為增進學習的效果，教學者應在學習環境中提供相關資源、引導與回饋，進而鼓勵學生探究科學的概念、問題與假設（Bell & Odom, 2012; Leonard & Penick, 2009），此三階段的說明如下：

（一）探索（exploration）

此階段主要是以學生為中心的探索活動。由教師提出簡單的問題或任務，鼓勵學生透過觀察、測量或預測等方式找出答案或完成任務以增進參與感。

（二）術語介紹（term introduction）

提供重要概念的說明與解釋、術語的介紹、公式的推導及原理的證明等，讓學生結合前一階段的探索經驗，能對於重要的概念加深印象。

（三）概念應用（concept application）

讓學生有機會利用上一階段所學之概念加以應用與擴展到新的問題情境，以增進學習的效果。

Osman（2017）發現，學生在學習電流電路時常會因過去經驗的影響而產生錯誤的迷思，因此嘗試以三階段學習環進行教學，發現可提升對於電流電路的理解並降低錯誤概念的產生，近年來，三階段學習環運用於化學計量（Niaz, 2016）、電子（Lake, 2017）、電流電路（Osman, 2017）與統計（Odom & Bell, 2017），但對於運用於頭戴式虛擬實境與昆蟲教育卻十分有限，故亟需進行實證研究蒐集運用結合三階段學習環與頭戴式虛擬實境於國小昆蟲教育之效果。

三、心流體驗與認知負荷

Csikszentmihalyi（1990）提出沉浸理論（flow model），而「忘我 / 沉浸（flow）」是指完全專注於某個目標或活動時所產生的心理狀態，個人因為自己的興趣而專注於所從事的活動，或欲達成的目標上，並降低其他不相關的知覺，產生所謂心流的狀態。心流體驗主要包含了樂趣（enjoyment）、專注（engagement）及控制（control）等方面（Pearce, Ainley, & Howard, 2005）。樂趣是指學習者從學

習的過程中所感受到的愉悅程度；專注為學習者將注意力專心投入於學習過程的程度；控制是指學習者有能力可以操控學習環境與活動之程度。研究指出，提升心流體驗對於學習成效有正面的影響（Erchel & Jamet, 2019），並可降低認知負荷（Chang et al., 2017），因此，有愈來愈多的研究將心流體驗納入教學的考量以增進學習的效果（Hsieh et al., 2016; Özhan & Kocadere, 2019）。根據研究發現，運用多媒體學習可強化國小學童的知識學習及心流體驗（Hong, Hwang, Tai, Lin, & Lin, 2019），心流體驗除了大多著重於電腦遊戲（Hsieh et al., 2016; Özhan & Kocadere, 2019）與擴增實境（Hsu, 2017; Huang & Liao, 2017）的探討，近年對於其在虛擬實境的領域也愈來愈受到重視，研究發現，提升心流體驗可增進學習成效（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 et al., 2018），並對於媒體的使用滿意度有正面的影響（Kim & Ko, 2019），而使用虛擬實境亦可帶來較高的心流體驗（Kwon, 2018; Yang et al., 2018）。

認知負荷代表學習者在執行任務時，在其認知系統上所產生的負荷（Sweller, 1988）。Sweller、van Merriërboer與Paas（1998）指出，若教材或學習的強度超過學習者的工作記憶容量，對於學習者的學習理解能力將有負面的影響，認知負荷的來源可分為三類（Paas, Renkl, & Sweller, 2003; Schnotz & Kürschner, 2007; Sweller, 2010; Sweller et al., 1998）：

（一）內在認知負荷

內在認知負荷（*intrinsic cognitive load*）主要來自於教材內容的難度，不會受到呈現方式的影響，Sweller等人（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，要素（*element*）即是指學習活動中，學習者所需學習的最小知識單位，若要素之間的互動性較為複雜，工作記憶需要處理較為複雜的要素，則會帶來較高的內在認知負荷，因此需簡化要素間的相關性，才能降低內在認知負荷。

（二）外在認知負荷

外在認知負荷（*extraneous cognitive load*）主要來自於教材設計與呈現方式的影響（Sweller & Chandler, 1991），若是設計不佳，則會耗費學習者無利於學習的認知資源，因此，需有適切的教學設計與呈現方式以降低外在認知負荷，讓學習者有足夠的工作記憶空間來處理與學習相關的資訊。

（三）有效認知負荷

有效認知負荷（*germane cognitive load*）又稱為增生認知負荷，其對於基模的

建構有正面的影響，亦受到教學設計與呈現方式所影響，透過教材適當的設計與呈現，引導學生進行有效的認知學習時，即會產生有效認知負荷，雖會占用學習者的認知資源，但其過程可幫助學習者建構基模，因此，在認知負荷總負荷量（即內在認知負荷、外在認知負荷及有效認知負荷的總量）未超出學習者的負荷量時，適當地引入有效認知負荷可幫助學習者進行學習（Sweller, 2010）。

研究顯示，多媒體學習若能減低學習時的認知負荷，則能提升學習效果（Hong et al., 2019），也有研究指出，使用高度擬真或沉浸的學習環境，反而易造成認知負荷增加，也使學習成效降低（Frederiksen et al., 2019; Makransky et al., 2019; Parong & Mayer, 2018; Zhao et al., 2020），尤其在頭戴式虛擬實境的環境中，學習者不再局限只接收來自眼前螢幕的資訊，還需同時接收3D立體環境的資訊，增加了許多刺激與負擔（Jensen & Konradsen, 2018）。Makransky等人（2019）比較在頭戴式虛擬實境與桌機版的自然科學實驗模擬學習環境中大學生的學習狀況，研究結果發現，頭戴式虛擬實境雖可帶來較高的存在感，但卻產生較高的認知負荷，反而使學習成效不如使用桌機版的學習者。Frederiksen等人（2019）運用頭戴式虛擬實境於外科手術技能訓練，發現頭戴式虛擬實境較傳統的虛擬實境環境，雖可呈現較符合真實的情境，但也帶來較高的認知負荷，尤其是較高的外在認知負荷，並對訓練效果產生負面的影響。Parong與Mayer（2018）亦嘗試運用頭戴式虛擬實境於提升大學之生物課程，發現雖可帶來較高的學習動機與興趣，但其學習成效卻不如接受傳統教學的學習者，認為可能是因頭戴式虛擬實境產生較高的認知負荷所致。因此，針對頭戴式虛擬實境結合三階段學習環對於內在、外在與有效認知負荷的影響需進一步探究。

參、研究方法

為建構運用頭戴式虛擬實境與三階段學習環概念所設計的教學環境，並運用於昆蟲教育之中，本研究進行文獻之蒐集及整理、頭戴式虛擬實境之環境建置、專家學者之意見諮詢，並運用認知負荷量表、心流體驗問卷調查與昆蟲知識前後測驗等測量工具。

一、研究對象

本研究以新北市某國小四年級學生為對象，區分為實驗組24人與對照組25人。實驗組與對照組以班級為單位，採隨機指派方式，實驗組運用頭戴式虛擬實境結合

三階段學習環概念所建置之昆蟲學習系統，控制組則採用一般傳統課程ppt結合三階段學習環講述教學之方式授課，在教學內容上，兩組均使用相同的教學內容，包含昆蟲的身體構造、昆蟲的一生及昆蟲的變態等主題概念，本研究的教學實驗為期3週，每週自然與生活科技課程為2節連堂，每節課約40分鐘。

二、研究過程與教學設計

本研究於正式課程開始前使用1週進行課程及頭戴式虛擬實境的使用方式說明，並完成昆蟲知識前測量表施測，以了解各組於實驗前之認知程度，便於實驗後與昆蟲認知後測做比較，於實驗正式實施時，實驗組運用頭戴式虛擬實境裝置結合三階段學習環所設計之虛擬實境教材進行學習，於教室中隨機分為四組，每組組員間輪流穿戴頭盔使用教材，並將頭戴式虛擬實境中的畫面投影於各組的電腦螢幕上，提供組內其他成員觀看不同單元之教學內容，使用3D Max進行立體建模，Unity進行虛擬實境內容的設計，並運用HTC Vive頭戴式裝置進行實驗，場景包含樹木、水邊及花草叢，教材主題包含昆蟲的身體構造、昆蟲的一生及昆蟲的變態等三個主題，各主題依內容分為六個單元。對照組於課程進行時運用投影片進行內容說明，提供昆蟲圖鑑讓學習者進行觀察，並提供學習單協助學習者進行思考與應用所學概念，其詳細運用三階段學習環進行教學設計之模式如下：

（一）探索

學生參與活動後，逐步給予學生提問問題以進行探索活動，如：請觀察看看鉅形蟲的身體可分為哪些部分呢？請繼續觀察看看鉅形蟲有幾隻腳？分布在身體的哪個部分呢？鼓勵學習者將3D立體昆蟲模型利用搖桿拿取仔細觀察，經由動手操作建構具體經驗（如圖1及圖2所示），對照組則由教師逐步提問問題，並提供昆蟲圖鑑讓學生進行觀察。

（二）術語介紹

經過探索之後，運用多媒體介紹昆蟲的特色、鳴叫聲、生長變化、生長習性等相關知識（如圖3所示），對照組則透過投影片講授昆蟲相關知識。

（三）概念應用

鼓勵學生將所學概念應用於其他情境，以了解自己的理解程度與能力，讓學生回答一些昆蟲相關常識問答以加強學習概念，並以配對方式驗證所學習之昆蟲及其相關資訊（如圖4所示），對照組則透過課程問答及學習單進行應用。

受試者若在實驗過程中發生不適時（如眼睛疲勞或暈眩），需告知研究團隊可



圖1 透過問題引導進行探索



圖2 鼓勵學習者抓取昆蟲進行觀察



圖3 利用多媒體提供昆蟲成長的知識說明

獲得休息且次數不限制，實驗結束後即發放心流體驗與認知負荷量表予實驗組與對照組，以幫助了解心流體驗與認知負荷並比較，研究團隊至各組解說問卷內容及協助填寫，並給予昆蟲知識程度後測以幫助了解學習成效，於實驗結束兩週後實施延宕測驗以了解學習保留狀況。



圖4 學生利用所學概念回答問題，將昆蟲擺放至正確的背板前即可獲得回饋

三、研究工具

（一）昆蟲知識程度測驗與延宕測驗

本研究將本次昆蟲教育所涵蓋之主題編寫為測驗，知識程度測驗著重在昆蟲概念與知識的掌握程度，測驗內容由兩位昆蟲教育專長教授及三位現職任教的教師提供專業意見進行修改，用以衡量學習者之程度，以120位學生進行預試得知知識程度前測、後測與延宕測驗之平均難度分別為0.45、0.47與0.46，平均鑑別度分別為0.84、0.87與0.86。前後測與延宕測驗相關係數分別為.82及.81，顯示具有不錯的一致性和信度，正式實驗時，後測於實驗結束時進行而延宕測驗於實驗結束後兩週進行。

（二）心流體驗問卷

為探討實驗組與對照組在心流體驗程度上的差異，於實驗完成後進行問卷填答，問卷內容修訂自Pearce等人（2005）的心流體驗量表。問卷初稿經由相關專家及現職教師閱讀並針對題目的適當性、文字表達明確性等給予專業意見，並依照專業意見加以潤飾與修改。在建構效度（construct validity）方面，將預試所得之有效問卷120份進行因素分析，Bartlett球形考驗達顯著性，表示適合進行因素分析，並應用主成分分析萃取出特徵值大於1.0的三個因素，進行因素分析後，第一個因素「樂趣」包含四題，因素負荷量介於.76～.94，特徵值為3.43，解釋變異量為26.55%；第二個因素「專注」包含四題，因素負荷量介於.70～.85，特徵值為3.22，解釋變異量為23.86%；第三個因素「控制」包含四題，因素負荷量介於.63～.79，特徵值為2.95，解釋變異量為17.67%，總解釋變異量為68.08%，

並應用Cronbach's α 進行內部一致性信度檢視，整體信度 α 值為 .86，各分量表之Cronbach's α 係數分別為樂趣 .87、專注 .86及控制 .85，可見本問卷具有良好之信度。量表共12題，採用Likert五點方式計分，總分為三個分量表的總分相加，得分愈高表示其心流體驗愈高，各分量表範例題目包括：「我覺得這學習很有趣」、「我很努力集中精神於學習」及「我知道該怎麼操作或參與學習活動」等。

（三）認知負荷量表

本研究之認知負荷量表參考Leppink、Paas、van Gog、van der Vleuten與van Merriënboer（2014）所設計之量表進行修改，問卷初稿經由相關專家及現職教師針對題目的適當性、文字表達明確性等給予專業意見，並依照專業意見加以潤飾與修改。為確保其建構效度，將預試之有效問卷120份進行因素分析，Bartlett球形考驗達到顯著性，故適合進行因素分析，並應用主成分分析萃取出特徵值大於1.0的三個因素，進行因素分析後，第一個因素「內在認知負荷」包含三題，因素負荷量介於 .70～.85，特徵值為3.68，解釋變異量為26.59%；第二個因素「外在認知負荷」包含三題，因素負荷量介於 .65～.85，特徵值為2.82，解釋變異量為22.62%；第三個因素「有效認知負荷」包含四題，因素負荷量介於 .61～.77，特徵值為2.53，解釋變異量為18.76%，總解釋變異量為67.97%，應用Cronbach's α 進行內部一致性信度檢驗，得到整體信度Cronbach's α 係數為 .87，各分量表Cronbach's α 係數分別為內在認知負荷 .83、外在認知負荷 .85及有效認知負荷 .94，顯示具有良好之信度，問卷內容包含10題，以Likert五點量表計分，其中用以衡量內在認知負荷及外在認知負荷各有三題，衡量有效認知負荷則為四題，各分量表範例題目包括：「教材內容的困難度」、「教材呈現的清楚程度」及「使用教材對於幫助學習的程度」等。

肆、實驗結果分析

一、學習成效分析

為了解運用TLC-HVRLS的學習者是否與未運用頭戴式虛擬實境的學習者對於昆蟲教育的學習成效（包含立即後測與延宕後測）有所差異，本研究以昆蟲知識前測成績為共變數，實驗分組為自變項、昆蟲知識後測成績為依變項進行組內迴歸係數同質性考驗（ $F = 2.46, p = .132$ ），實驗分組與昆蟲知識前測之同質性考驗 p 值均未達顯著水準，可繼續進行單因子單變量共變數分析（如表1所示），在排除昆蟲知識前測的影響後，研究分析發現，實驗組學生的昆蟲知識學習成效顯著高於控

制組 ($F = 3.72, p < .01, \eta^2 = .21$)，由上述結果可知，TLC-HVRLS可顯著提升學生的昆蟲知識學習成效。

表1

昆蟲知識測驗共變數分析

組別	前測平均數	前測標準差	後測平均數	後測標準差	調整後平均數	標準誤	F	顯著性
實驗組	65.28	7.64	81.25	6.14	81.34	1.22	3.72	$p < .01$
對照組	66.10	8.14	73.41	7.36	74.28	1.19		

本研究進一步以昆蟲知識前測成績為共變數，實驗分組為自變項、昆蟲知識延宕成績為依變項進行組內迴歸係數同質性考驗 ($F = 3.72, p = .253$)，實驗分組與昆蟲知識測驗之同質性考驗 p 值均未達顯著水準，可繼續進行單因子單變量共變數分析（如表2所示），在排除昆蟲知識前測的影響後，研究分析發現，實驗組學生的昆蟲知識延宕測驗成績顯著高於控制組 ($F = 3.24, p < .01, \eta^2 = .36$)，由上述結果可知，TLC-HVRLS可顯著提升學生的昆蟲知識學習保留。

表2

昆蟲知識延宕測驗共變數分析

組別	延宕測驗平均數	延宕測驗標準差	調整後平均數	標準誤	F	顯著性
實驗組	78.19	5.89	78.42	1.15	3.24	$p < .01$
對照組	70.72	7.11	71.31	1.08		

二、認知負荷分析

為了解運用TLC-HVRLS的學習者是否與未運用頭戴式虛擬實境的學習者對於昆蟲教育的內在、外在與有效認知負荷有所差異，於內在認知負荷方面，本研究使用獨立樣本 t 檢定檢驗控制組及實驗組於內在認知負荷上之差異，由表3可知，實驗組學生於內在認知負荷的平均分數為10.50，控制組為11.24，而 t 檢定的結果為-.94， $p > .05$ ，未達顯著性差異，表示實驗組學生在內在認知負荷方面與控制組無顯著差異。

表3
內在認知負荷分析

組別	平均數	標準差	<i>t</i>	顯著性
實驗組	10.50	2.79	-.94	$p = .354$
對照組	11.24	2.71		

於外在認知負荷方面，亦使用獨立樣本 *t* 檢定檢驗控制組及實驗組之差異，由表4可知，實驗組學生於外在認知負荷的平均分數為8.08，控制組為11.09，而 *t* 檢定的結果為-4.36， $p < .01$ ，達顯著性差異，表示實驗組學生較控制組具有較低的外在認知負荷。

表4
外在認知負荷分析

組別	平均數	標準差	<i>t</i>	顯著性
實驗組	8.08	2.28	-4.36	$p < .01$
對照組	11.09	2.53		

在有效認知負荷方面，透過獨立樣本 *t* 檢定檢驗控制組及實驗組之差異後發現，由表5可知，實驗組學生於有效認知負荷的平均分數為17.58，控制組為13.08，而 *t* 檢定的結果為9.09， $p < .01$ ，達顯著性差異，表示實驗組學生較控制組具有較高的有效認知負荷。

表5
有效認知負荷分析

組別	平均數	標準差	<i>t</i>	顯著性
實驗組	17.58	1.95	9.09	$p < .01$
對照組	13.08	1.46		

三、心流體驗分析

為了解運用TLC-HVRLS的學習者是否與未運用頭戴式虛擬實境的學習者對於昆蟲教育的心流體驗有所差異，本研究使用獨立樣本 *t* 檢定檢驗控制組及實驗組在心流體驗上之差異，由表6可知，實驗組學生在心流體驗的平均分數為51.73，控制

組為25.19，而 t 檢定的結果為3.36， $p < .001$ ，達顯著性差異，表示實驗組學生在心流體驗方面顯著高於控制組。

表6

心流體驗分析

組別	平均數	標準差	t	顯著性
實驗組	51.73	4.23	3.36	$p < .001$
對照組	25.19	2.47		

伍、結論與建議

本研究旨探討運用三階段學習環與頭戴式虛擬實境對四年級學生進行昆蟲教育的學習成效、認知負荷與心流體驗之影響。研究結果發現，運用TLC-HVRLS的學習者在昆蟲知識的學習成效方面有顯著提升，此結果與其他虛擬實境相關研究頗為一致（Li, Liang, Quigley, Zhao, & Yu, 2017; Webster, 2016）。學生對於運用TLC-HVRLS亦有較高的的心流體驗，對於虛擬實境的互動功能及沉浸效果感到新奇有趣（Coyne, Merritt, Parmentier, Sharpton, & Takemoto, 2019），讓學習者可以融入虛擬情境中，產生置身於真實環境的臨場感（Markowitz et al., 2018），在學習過程中不僅能夠近距離地觀察昆蟲及其成長環境，還可藉由虛擬實境彷彿置身其中（Parong & Mayer, 2018），比起一般教材更有真實的沉浸感，虛擬實境所帶來的互動性也能夠引起學生的學習興趣（Makransky & Lilleholt, 2018）。不同於以往傳統的學習方式，本研究所提出的學習模式更容易使學生集中注意力並增進學習，透過身歷其境的昆蟲觀察與生動的情境，加上方便的操控性及提供立體的昆蟲圖像，進而降低學習時的外在認知負荷（Chang et al., 2017），其較佳的心流體驗與較低的認知負荷，有助於引導學生了解其成長背景並從探索歷程中認識昆蟲的身體結構。

研究結果亦顯示兩組的內在認知負荷並無顯著差異，由於內在認知負荷主要是受到教材的難易度影響，兩組所使用的教材難度相同而無產生差異，但兩組於外在及有效認知負荷方面具有顯著的差異，此結果符合Sweller（2010）、Sweller與Chandler（1991）對於認知負荷之定義，透過本研究提出之學習環境可幫助降低外在認知負荷並提升有效認知負荷（Chang et al., 2017），但研究結果與Parong與Mayer（2018）運用頭戴式虛擬實境於生物教學之結果相異，此結果可能與三階段

學習環具有清楚的教學步驟，以及於學習環境中提供逐步引導與回饋等資源（Bell & Odom, 2012; Leonard & Penick, 2009），幫助學習者降低其外在認知負荷（Chen et al., 2018; Hmelo-Silver et al., 2007），進而提升學習成效有關。

在實驗過程中有少數學生反應有暈眩的情況，虛擬實境最大缺點在於需配戴虛擬實境眼鏡，而虛擬實境眼鏡的重量可能對學習者造成負擔；再者，若觀看時間太久均易使受測者頭暈想吐，因此學習的過程必須控制時間長度（Bailenson et al., 2018），否則易讓使用者暈眩反而造成反效果，使得學習成效不佳。

藉由本研究可發現，虛擬實境結合三階段學習環確實能夠引發學生昆蟲教育的學習成效及心流體驗，並降低外在認知負荷與提升有效認知負荷，本研究目前僅就不同教學媒體進行比較，建議未來可進一步比較同樣在虛擬實境的環境中，運用不同之教學策略進行設計所帶來的影響，以及延伸增加其他主題及年齡層，並可嘗試推廣至更多學校班級，增加受試者的數量，除此之外，可嘗試考量不同的學習者特性，分析學習過程中所帶來的心流體驗與認知負荷狀況，並加入質性資料的蒐集，讓虛擬實境教學環境的設計能有更佳的表现，以充分發揮其效能。

參考文獻

- 周珊君（2008）。以美國IDEAS科學讀寫模式提升學生學習成就探討——以昆蟲概念為例（未出版之碩士論文）。國立屏東教育大學，屏東縣。
- 【Chou, S.-C. (2008). *A study of integrating scientific reading and writing of American IDEAS model to promote students' learning achievements: Taking insect concepts as examples* (Unpublished master's thesis). National Pingtung University, Pingtung County, Taiwan.】
- 陳勇全、廖冠智（2013）。昆蟲知識學習之虛擬實境教材設計與ARCS探究。數位學習科技期刊，5（1），51-68。doi:10.3966/2071260X2013040501003
- 【Chen, Y.-C., & Liao, G.-Z. (2013). Investigation on materials design of virtual reality and ARCS for understanding insects. *International Journal on Digital Learning Technology*, 5(1), 51-68. doi:10.3966/2071260X2013040501003】
- Anglin, J. M., Sugiyama, T., & Liew, S.-L. (2017). Visuomotor adaptation in head-mounted virtual reality versus conventional training. *Scientific Reports*, 7(1). doi: 10.1038/srep45469
- Asgary, A., Bonadonna, C., & Frischknecht, C. (2019). Simulation and visualization of volcanic phenomena using Microsoft HoloLens: Case of volcano island (Italy). *IEEE*

- Transactions on Engineering Management*. doi:10.1109/TEM.2019.2932291
- 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.
- Bailenson, J. N., Yee, N., Blascovich, J., Beall, A. C., Lundblad, N., & Jin, M. (2018). The use of immersive virtual reality in the learning sciences: Digital transformations of teachers, students, and social context. *Journal of the Learning Sciences*, 17(1), 102-141. doi:10.1080/10508400701793141
- 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
- Burdea, G., & Coiffet, P. (1994). *Virtual reality technology*. Hoboken, NJ: John Wiley & Sons.
- 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
- Chen, Y.-C. (2019). Effect of mobile augmented reality on learning performance, motivation, and math anxiety in a math course. *Journal of Educational Computing Research*, 57(7), 1695-1722. doi:10.1177/0735633119854036
- Chen, Y.-L. (2016). The effects of virtual reality learning environment on student cognitive and linguistic development. *The Asia-Pacific Education Researcher*, 25(4), 637-646. doi:10.1007/s40299-016-0293-2
- Chen, J., Wang, M., Grotzer, T. A., & Dede, C. (2018). Using a three-dimensional thinking graph to support inquiry learning. *Journal of Research in Science Teaching*, 55(9), 1239-1263. doi:10.1002/tea.21450
- 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

- Clayborn, J., & Delamarre, A. (2019). Living room conservation: A virtual way to engage participants in insect conservation. *Rethinking Ecology*, 4, 31-43. doi:10.3897/rethinkingecology.4.32763
- Coyne, L., Merritt, T. A., Parmentier, B. L., Sharpton, R. A., & Takemoto, J. K. (2019). The past, present, and future of virtual reality in pharmacy education. *American Journal of Pharmaceutical Education*, 83(3), 281-290. doi:10.5688/ajpe7456
- Cooper, N., Milella, F., Pinto, C., Cant, I., White, M., & Meyer, G. (2018). The effects of substitute multisensory feedback on task performance and the sense of presence in a virtual reality environment. *PloS One*, 13(2), 1-25. doi:10.1371/journal.pone.0191846
- 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.
- Fung, F. M., Choo, W. Y., Ardisara, A., Zimmermann, C. D., Watts, S., Koscielniak, T., ... Dumke, R. (2019). Applying a virtual reality platform in environmental chemistry education to conduct a field trip to an overseas site. *Journal of Chemical Education*, 96(2), 382-386. doi:10.1021/acs.jchemed.8b00728
- Hmelo-Silver, C. E., Duncan, R. G., & Chinn, C. A. (2007). Scaffolding and achievement in problem-based and inquiry learning: A response to Kirschner, Sweller, and Clark. *Educational psychologist*, 42(2), 99-107. doi:10.1080/00461520701263368
- 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 game-based 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
- Kim, D., & Ko, Y. J. (2019). The impact of virtual reality (VR) technology on sport spectators flow experience and satisfaction. *Computers in Human Behavior*, 93, 346-356. doi:10.1016/j.chb.2018.12.040
- 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

- Lähtevänoja, A., Holopainen, J., Mattila, O., Södervik, I., Parvinen, P., & Pöyry, E. (2019). Virtual reality as a recovering environment-implications for design principles. In D. Alexandrov, A. Boukhanovsky, A. Chugunov, Y. Kabanov, O. Koltsova, & I. Musabirov (Eds.), *International conference on digital transformation and global society* (pp. 506-516). Cham, Switzerland: Springer. doi:10.1007/978-3-030-37858-5_43
- 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
- Li, C., Liang, W., Quigley, C., Zhao, Y., & Yu, L. (2017). Earthquake safety training through virtual drills. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, 23(4), 1275-1284. doi:10.1109/TVCG.2017.2656958
- Makransky, G., & Lilleholt, L. (2018). A structural equation modeling investigation of the emotional value of immersive virtual reality in education. *Educational Technology Research and Development*, 66, 1141-1164. doi:10.1007/s11423-018-9581-2
- 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

- Musheno, B. V., & Lawson, A. E. (1999). Effects of learning cycle and traditional text on comprehension of science concepts by students at differing reasoning levels. *Journal of Research in Science Teaching*, 36(1), 23-37.
- 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.
- Ott, M., & Freina, L. (2015). A literature review on immersive virtual reality in education: State of the art and perspectives. In I. Roceanu, F. Moldoveanu, S. Trausan-matu, D. Barbieru, D. Beligan, & A. Ionita (Eds.), *Proceedings of the international scientific conference of elearning and software for education* (pp. 133-141). Bucharest, Romania: Carol I NDU Publishing House.
- 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.
- Rupp, M. A., Odette, K. L., Kozachuk, J., Michaelis, J. R., Smither, J. A., & McConnell, D. S. (2019). Investigating learning outcomes and subjective experiences in 360-degree videos. *Computers & Education*, 128, 256-268. doi:10.1207/S15326985EP3801_1
- 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 Merriëboer, 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
- Webster, R. (2016). Declarative knowledge acquisition in immersive virtual learning environments. *Interactive Learning Environments*, 24(6), 1319-1333. doi:10.1080/10494820.2014.994533
- 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