科學教育學刊
2023, 第三十一卷第一期, 27-51
DOI:10.6173/CJSE.202303_31(1).0002

Contemporary Journal of Science Education
2023, 31(1), 27-51

探討互動虛實混合模式支援大學生光譜儀實驗課程對學習成效之影響

林佳慶[1]　鄭博元[2、*]　葉桂君[3]　沈明勳[1]

[1]國立高雄師範大學　科學教育暨環境教育研究所
[2]國立屏東科技大學　研究總中心
[3]國立屏東科技大學　環境工程與科學系

摘要

本研究以互動虛實混合模式融入大學光譜儀實驗課程，應用虛擬實境以及實體儀器支援大學生學習光譜儀實驗的操作，並採用不同的互動虛實混合順序設計(先實體後虛擬與先虛擬後實體)探討其對於大學生學習成效之影響。研究對象為南部某國立科技大學環工系34位修習儀器分析實驗課程的大學生，參與以互動虛實混合模式支援之課程活動，並於課程前後採用實驗儀器概念與操作測驗以瞭解其對於學習成效的效果。研究結果顯示在不同互動虛實混合活動順序下，學生在儀器操作概念方面的學習成效均有顯著提升，且二者之間並無顯著差異。而在儀器實際操作能力上，在先虛擬後實體教學活動組學生的表現則顯著優於先實體後虛擬組的學生。在質性訪談的資料中也發現學生對於虛擬實境或是實體儀器的動手實作經驗都表現出良好的學習動機，而虛擬實境的引導操作能降低個人的學習焦慮，提供更多儀器操作機會以及實體儀器操作後的複習工具。

關鍵詞：虛擬實境、虛擬實驗室、虛實混合、儀器分析實驗

壹、研究背景與動機

隨著資訊科技設備與功能不斷地提升，這些技術在教育領域的應用也越來越多，其中虛擬實境(Virtual Reality, VR)是發展最快的技術之一，而VR教育領域應用的增加也顯示VR在教學與學習上具有非常大的潛力(Němec et al., 2017)。利用VR的獨特技術特點能創造新的學習方式與教育應用，並成為教育現場的標準工具以及對教學方式帶來新的革命(Alkhaldi et al., 2016)。近年來因VR技術的不斷進步，VR不再是一種複雜且昂貴的設備(McElhaney & Linn, 2011)，藉由VR能呈現現實世界中難以進行的實驗，可有效節省實驗操作成本(Ibrahim, 2011)，並提供多樣化的模擬方式，具體呈現難以理解的抽象概念，例如模擬海洋變化、病毒顆粒、力向量、電力與能源等(Alaraj et al., 2011; Larsen et al., 2012)。當工作環境具有危險性時，也能藉由VR創造一個安全的訓練環境培養所

*通訊作者：鄭博元，oakley.cheng@gmail.com；ORCID：0000-0002-4510-2647
投稿：2022/11/26，修訂：2023/2/22，接受：2023/2/22，線上出版：2023/5/31

需知識與技能，例如火災訓練(Baceviciute et al., 2021; Dalacosta & Pavlatou, 2020; Passig et al., 2016)、水域安全訓練(Araiza-Alba et al., 2021)，地震安全訓練(Li et al., 2017)。除了模擬訓練外，VR也能提供多人學習的環境，允許不同學習者在同一個虛擬環境中進行交流，增加不同的學習經驗，例如創造力學習(Lau & Lee, 2015)、合作學習(Zheng et al., 2018)。同時也能使用VR頭戴顯示器及手持控制器與虛擬物件進行學習互動，模擬各種訓練所需之動作，例如心肺復甦訓練(Almousa et al., 2019)、動手學習STEM (Chen et al., 2020)、製造裝配訓練(Abidi et al., 2019)，及外科手術或牙科手術等複雜且嚴謹的程序訓練(Alaraj et al.; Larsen et al.)。

VR在教育的應用能提供學習者直接進入虛擬環境進行互動體驗及情境模擬，是傳統教學方法(投影片、2D影片)難以取代之(Yu, 2021)。Burdea (2006)認為VR具備「互動性」(interaction)、「沉浸性」(immersion)與「想像性」(imagination)等特性，有助於學習者想像置身於真實環境，並藉由與環境的高互動性，提升與學習環境的融入感。透過虛擬的學習環境，學習者能觀察現實中無法輕易接觸的情境，例如利用模擬方式觀察記錄海洋生物成長歷程，讓學習者能在較短的時間中觀察海洋生物長期的變化以提升學習效率(Markowitz et al., 2018)。此外，高沉浸性與高互動性的學習環境能使學習者不受外界干擾，進而提高其學習注意力與參與感(Tai et al., 2022; Greenidge, 2013)。同時VR亦能支持發展安全與適性化的學習環境以降低學習者的學習焦慮感(Tai et al.)，亦有助於提升學習者的自我效能(Tai et al.; Greenidge)，也同時能讓學習者不受現實環境所限制，增加在不同情境下進行實地探索的學習經驗(Fung et al., 2019)。而學習者在高擬真的虛擬學習環境下能夠進行反覆的練習，有助於將短期記憶變成長期記憶(Buttussi & Chittaro, 2018)，並能提供學習鷹架與動手操作的機制，促進學習者能獲得較佳的知識技能、態度與學習成就(Alneyadi, 2019)，甚至是高階的思考技能(Chernikova et al., 2020)。

實驗是培養科學家一個重要的過程，透過實驗活動能讓學生動手操作體驗科學家實際進行實驗設計、設備操作、狀況排除等過程(Zacharia et al., 2012)，例如學生在儀器分析實驗課程中深入學習分光光度計的操作和基本技術原理。許多研究已經描述了光譜儀的介紹性實驗，用以向學生展示分光光度計的功能與組件特性(Johnson, 1985; Mattson & Mattson, 1995)，然而在教學上因為這些分析儀器貴重、維護與實驗材料成本高且數量稀少有限(Hamed & Aljanazrah, 2020)，及樣品分析需要花費大量時間等，致使課堂教學中無法讓每一位學生個人都能完整地進行儀器操作練習，進而影響學習表現(Abdulwahed & Nagy, 2009)，以及環境因素也可能導致學生無法到校學習儀器操作(Dukes, 2020)。因此學者提出透過虛擬實驗來輔助學習，例如使用電腦模擬光譜儀虛擬實驗，讓學生學習實驗正確程序與原理(Gable, 1988; Limniou et al., 2007; Papadopoulos & Limniou, 2002)，藉由模擬不但可以幫助科學知識理解(Domínguez et al., 2018)，還可以利用實際動手操作激發學生興趣(Holstermann et al., 2010; Trna, 2008)，同時也可透過遠端方式學習儀器分析實驗，亦能克服空間限制，提升實驗室技能(Dukes; Kennepohl et al., 2005)。從過去研究也發現隨電腦科技的進步，光譜儀模擬器也一直再改變，從簡易的介面至比較擬真的介面，也顯示發展虛擬儀器分析實驗的模擬器有其必要性。然而虛擬實驗教學無法像實體操作一樣，能讓學生雙手觸摸實驗感受不同材料

及體驗實驗材料的氣味(Abrahams & Millar, 2008)。但學者仍認為可將實體實驗和虛擬實驗進行結合，利用虛擬實驗作為增強而非取代實體實驗(Brinson, 2015; Rutten et al., 2012; Sypsas & Kalles, 2018)。例如透過VR具體化電流、能源等抽象概念，並透過動手實驗來組裝電路驗證其結果，藉由兩者的組合改善彼此間之不足，達到互補之效果(Kapici et al., 2019)。

近年來，許多研究集中在虛擬和實體實驗的組合或不同順序的使用，相較於與單一種類型的實驗操作，虛實操作情境的結合有助於概念理解(Jaakkola & Nurmi, 2008; Olympiou & Zacharia, 2012)。Toth等(2014)的研究指出，實體實驗室與虛擬實驗室的結合，應先進行虛擬實驗再實體實驗，因為利用虛擬實驗室環境有助於學生對學習內容的簡化和增強，再進行實體實驗，學生可獲得更深入和更複雜的理解。同樣，Zacharia等(2019)研究結果發現虛擬實驗應先於實體實驗之前，因為先進行虛擬實驗可使學生先獲取重要的概念，再進入實體實驗後有助於他們學習相關技能。然在Chini等(2012)的研究發現，虛擬實驗與實體實驗兩種不同順序對大學生的物理課滑輪實驗之學習表現沒有差異。同樣，Sullivan等(2017)設計實體與虛擬兩種不同的實驗組合之順序，並比較中學生對滑輪相關物理概念的理解，研究結果顯示不同實驗順序之組合並無明顯不同。然而在Smith與Puntambekar (2010)進行的另一項研究中，得到的結論是中學生在滑輪主題方面，先進行實體實驗再進行虛擬實驗的學習表現比先虛擬實驗再實體實驗的順序更好。故從之前上述文獻結果可發現在不同實驗操作情境的組合與順序對於概念理解的影響上尚未獲得明確一致的結果。

綜上所述，將VR應用於儀器分析實作活動應能改善儀器分析實驗教學現場之限制。故本研究以儀器分析實驗之可視光吸收法課程單元為實驗內容，探討將實體儀器操作課程結合VR輔助學習系統，提供學生以VR方式學習實驗操作，增加練習機會。前人研究多屬強調不同學習順序對概念理解的影響，課程順序對實作能力的影響仍缺乏探討。再者，早期探討課程順序的實驗內容多以2D觀看或操作模擬(無需配帶VR頭盔)為主，而本研究虛擬實驗中所使用互動性較高、且較沉浸(需配帶VR頭盔進行互動)的實驗素材，由於該方面的探討較稀少，為彌補此相關研究之不足，本研究探討互動虛實混合(先實體後虛擬或先虛擬後實體)順序設計融入課程，對認知學習表現與實作學習表現的影響。也就是於不同教學活動順序後進行分析與調查，瞭解何種互動虛實混合模式能幫助學生提升認知學習表現與實作學習表現，並進一步地深入訪談瞭解學生對於虛擬結合實體實驗儀器操作在教學上的看法與觀點，以瞭解互動虛實混合模式融入儀器實驗課程的成效。故本研究問題有三：

一、探討不同混合模式下學生的認知學習表現為何？

二、探討不同混合模式下學生的實作學習表現為何？

三、學生對不同混合模式下進行儀器分析實驗課程的看法為何？

貳、研究方法

一、研究參與者

本研究對象為南部某國立科技大學環境工程與科學系，選修「儀器分析實驗」課程之學生為實驗樣本。便利取樣同班學生共43

人，包括男生35人、女生8人，學生皆未學習過相關儀器分析實驗，也未有使用過任何虛擬實境設備之經驗。並在實驗之前先給予填寫實驗同意書，同時說明教學活動進行之方式。實驗過程中將學生依照座號分成A (先實後虛)、B (先虛後實)兩組進行實驗教學。過程中有2人有3D暈眩症，僅參加實體實驗課程，7人中途有缺課。故課程實施結束後共有34位學生全程參與：A (先實後虛)組17人、B (先虛後實)組17人，其中男生26人、女生8人，並完成前、後測成就測驗與上機測驗。實體儀器分析操作實驗(實體實驗)與虛擬儀器分析操作實驗(虛擬實驗)各分別由一名教師負責授課。

二、虛實混合模式教學裝置與環境

儀器分析實驗之可視光吸收法課程單元所使用之教學設備為UV紫外光／可見光光譜儀，該設備包含主機、螢幕與實驗樣品放置槽(如圖1標籤所示)。而虛擬實驗則以虛擬UV儀器分析實驗輔助學習系統為主，此系統係運用Unity3D建置而成，依照實際UV紫外光／可見光光譜儀之外型建置3D模型，使虛擬學習環境與現實的學習環境相似，同時教學內容也是以真實實驗的操作流程作為設計基礎，參與者使用穿戴式VR設備及控制手把，利用第一人稱視角與儀器物體和實驗樣品互動，以反映現實世界之經驗(如圖2所示)。除此之外，虛擬實驗還加入更多學習資料(教學影片、操作說明)及驗證功能，讓學生在不需要教師指導的情況下也能自行學習實驗操作，並透過學習回饋機制，引導學生逐步完成整個實驗活動，其VR詳細操作模式可參見研究工具。

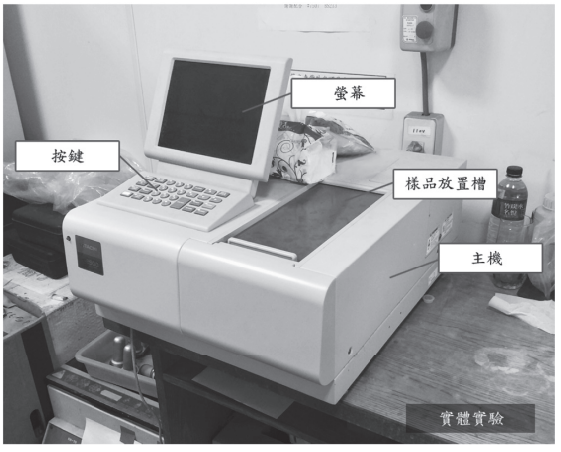

圖1：實體儀器分析實驗室之儀器設備

三、儀器分析實驗課程活動設計

本研究之實驗課程是在南部某國立大學環境工程與科學系所開設的儀器分析實驗課程進行，每週授課時間為二堂課，每堂課為50分鐘。實驗課程目標是教導學生學習四種不同儀器分析實驗之原理與操作方法，課程依照UV-visible spectrometry、high performance liquid chromatography、gas chromatography、atomic absorption spectroscopy等順序進行教學，用以培養學生進行儀器操作、應用和分析的能力，其中包含樣品清洗、裝入、儀器參數設定、數據識別記錄等，需要讓學生能實際上機操作進行整個實驗流程與環境的設定。但由於這四種儀器都各僅有一台，因此在實體實驗課程教學上，易受時間與空間限制，導致多以講



圖2：虛擬儀器分析實驗室之學習環境

述示範教學為主，無法同時讓全班學生一起學習儀器分析實驗的操作，而為了改善此教學限制，故採用虛擬儀器操作實驗來輔助教學，藉以讓學生模擬真實儀器操作實驗的情境，並提供更多動手練習的機會。同時，為了檢驗在既有儀器分析實驗課程教學情境下導入虛擬實驗的成效，本研究採用互動虛實混合的教學設計，瞭解何種虛實混合的教學模式有益於學生的學習，並使用可視光吸收法課程單元為教學實驗內容，調查學生在初次使用虛擬實驗與實體實驗的情況下，何種虛實混合的教學模式有益於學生的學習表現。故在實驗操作教學上將學生依照學號進行分組，一組維持原本實體實驗教學，另一組則以虛擬實驗來輔助教學，並於隔週進行換組，使兩組都能接受到相同的教學活動。同時為了確保學生都能充分學習到實驗原理與實驗操作，在教學活動規劃上，將每種實驗安排四週時間進行教學與測驗，第一週為實驗原理教學，第二、三週為分組進行實驗操作教學，不同組別之實驗教學方式皆以食譜式教學，且虛擬與實體實驗之教學內容一致(如表1所示)，實驗過程皆屬詳細，並遵循實驗流程進行。第四週為實體儀器操作測驗與深度訪談(如表2所示)。其中在虛擬儀器操作實驗教學上，考量上課空間有限，故使用11臺VR頭盔進行教學，將學生以2人為一組共用一臺VR頭盔學習光譜儀實驗，每人操作時間為45分鐘，當一人使用VR頭盔進行虛擬儀器操作時，另一人則協助維護VR體驗者的操作安全，操作完成後再進行交換。在實體儀器操作實驗教學上，使用一臺光譜儀進行教學，將學生分為兩個組，一組約為10人並圍繞在儀器旁邊，由教師講解與示範光譜儀實驗的操作，教學過程中講解到某一個階段就會讓該組學生輪流體驗，每組教學時間為45分鐘，而另一組則在體驗組後方聆聽教師講解，但無法上機體驗，當教師講解完畢後，再進行換組教學。

四、實驗流程

本研究為了瞭解學生經過不同的學習活動後，對可視光吸收法單元的認知學習表現與實作學習表現之影響，故分成兩組進行實驗教學(先實體後虛擬、先虛擬後實體)，並將實驗程序設計為原理教學、實體與虛擬實驗教學及上機測驗四個階段，每週一次，共四次，以回答本研究問題一與二(如圖3所示)。第一週是原理教學，全體受試學生接受儀器分析實驗教學，課程結束後進行前測驗；第二週將受試學生依照座號分為A (實體實驗)、B (虛擬實驗)兩組，並進行不同實驗教學；第三週將兩組教學活動進行對調，改為A (虛擬實驗)與B (實體實驗)方式進行教學，並於課程結束後進行後測試；第四週安排A、B兩組學生進行實體上機操作測驗，並於結束後進行深度訪談。

表1：實體實驗與虛擬實驗之可視光吸收法實驗教學內容

學習目標	學習內容
開機前檢查	認識光譜儀主體外觀與周邊設備
開機並執行程式	開機、儀器按鍵功能
分析參數設定	開啟光源設定、偵測模式設定、波長設定、樣品名稱設定、設定檢量線設定、載入方法
分析操作	清洗石英試管、空白樣品設定、手動歸零、放入不同檢量線、檢查檢量線
關機	關閉光源、關閉電源

表2：不同組別之學習活動

週次	組別	
	先實體後虛擬組	先虛擬後實體組
第一週	兩個組別一起上課，教師播放儀器分析實驗操作影片，並利用PPT講解實驗分析原理，當課程結束後，再進行學習成就前測驗	
第二週	● 實體實驗教學 ● 儀器設備1臺 ● 上課地點為實驗室 ● 10人為一組，共兩組。每組教學時間45分鐘 ● 以講述與實體儀器操作方式進行教學，由教師講解儀器分析實驗之操作方法，當講解完一個實驗步驟後，會讓學生輪流上機體驗，待學生體驗後，再繼續下一個實驗步驟的教學，依此類推，使學生學習整個儀器分析實驗操作之流程	● 虛擬實驗教學 ● VR頭盔11臺 ● 上課地點為一般教室 ● 2人一組，共用一臺VR頭盔。一人操作45分鐘 ● 使用虛擬儀器分析實驗輔助學習系統進行虛擬實驗，利用VR頭盔與控制手把學習儀器分析實驗原理與操作(如圖4所示)，活動過程助教與老師都會協助故障排除
第三週	● 虛擬實驗教學 ● VR頭盔11臺 ● 上課地點為一般教室 ● 2人一組，共用一臺VR頭盔。一人操作45分鐘 ● 使用虛擬儀器分析實驗輔助學習系統進行虛擬實驗，利用VR頭盔與控制手把學習儀器分析實驗原理與操作(如圖4所示)，活動過程助教與老師都會協助故障排除 ● 認知學習成就後測試驗	● 實體實驗教學 ● 儀器設備1臺 ● 上課地點為實驗室 ● 10人為一組，共兩組。每組教學時間45分鐘 ● 以講述與實體儀器操作方式進行教學，由教師講解儀器分析實驗之操作方法，當講解完一個實驗步驟後，會讓學生輪流上機體驗，待學生體驗後，再繼續下一個實驗步驟的教學，依此類推，使學生學習整個儀器分析實驗操作之流程 ● 認知學習成就後測試驗
第四週	兩組學生至實驗室，進行上機實作測驗，檢測學生實作學習表現，並在測驗結束後，對學生進行深入訪談，瞭解學生對於虛擬與實體兩種實驗結合之看法	

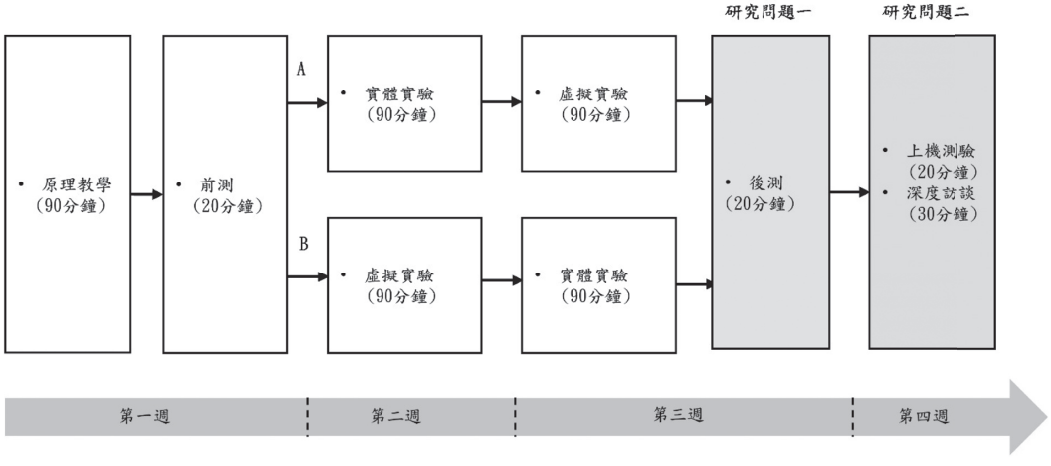

圖3：實驗流程

五、研究工具

(一)虛擬UV儀器分析實驗輔助學習系統

本研究虛擬實驗是以虛擬UV儀器分析實驗輔助學習系統為教學工具，該系統是使用Unity3D遊戲引擎所開發，利用Oculus Quest2 VR一體機進行操作，模擬儀器分析實驗之操作(鄭博元等，2022)。系統內容包含實驗操作教學影片(每一個實驗步驟教學)、引導語音、操作提示與VR實驗操作等功能。在VR實驗操作上(如圖4所示)，學習者戴上VR頭盔並進入虛擬實驗室後，系統會從第一個實驗步驟之教學影片開始播放，學習者於VR中觀看教學影片，學習該實驗操作方式，並且當學習者有不清楚的地方時，可以使用VR控制手把操控影片，例如影片進度、重播與暫停影片。當該實驗步驟之教學影片播放結束後，系統會自動開啟操作提示視窗，學習者可依照提示使用VR控制手把進行實驗操作，例如點選虛擬儀器上面的按鍵，再選擇要設定的選項，並輸入正確的參數。操作過程中，系統也會同時檢測該實驗步驟是否正確，並給予即時回饋，完成後會再開啟下一個實驗步驟的教學影片，依此類推，讓學習者依照上述教學模式進行自主學習，完成整個儀器分析實驗的操作。

(二)認知測驗

主要目的用來評量學生經過(先虛擬後實體或先實體後虛擬)不同教學活動順序後其認知學習成效的影響為何，因此在認知學習成就測驗內容上，以儀器分析實驗之可視光吸

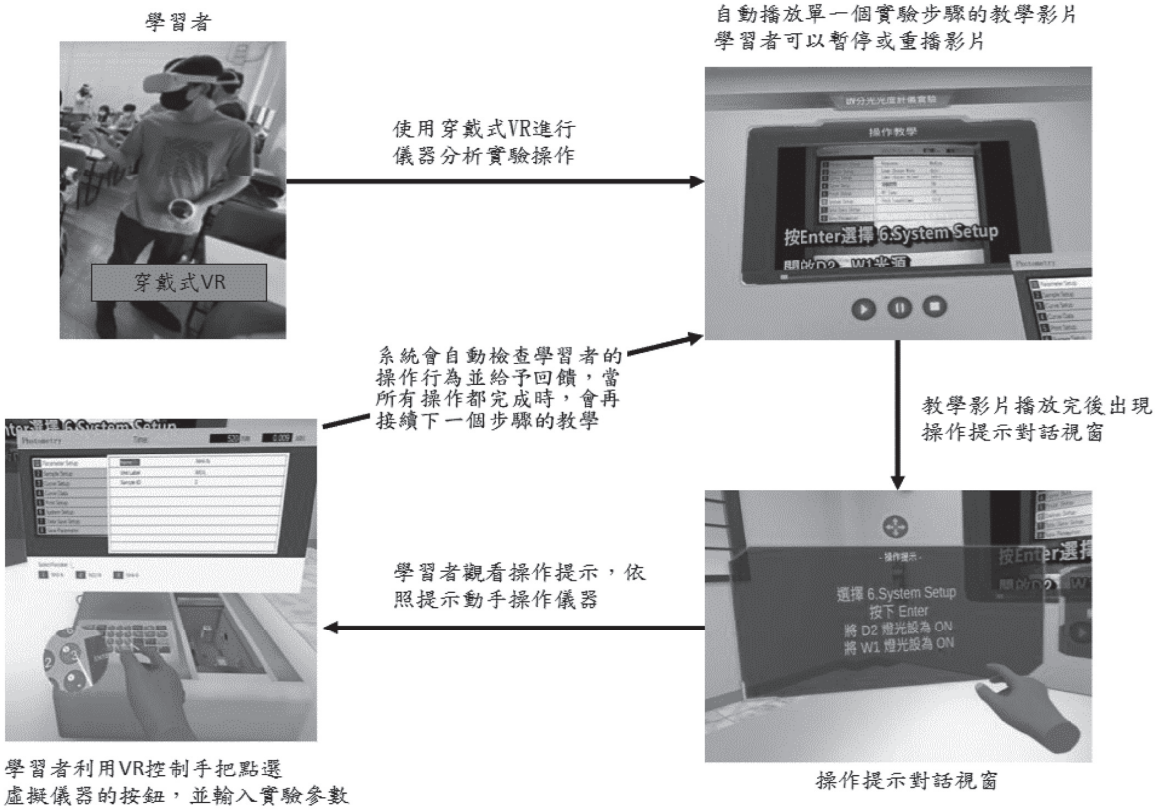

圖4：虛擬分析儀器操作流程圖

收法單元為主要評量內容，依據實驗原理(概念性知識)與實驗方法(程序性知識)進行試題設計，試題內容包含實驗原理(選擇題10題，占滿分40分)與實驗操作(選擇題10題，占滿分60分)，共計20題選擇題，例如「UV有哪些燈泡？」、「打開UV電源後，何者操作步驟才是正確的？」，並在前測、後測皆以同一份試題進行施測，但試題與答題順序皆不同，避免學生直接記憶。本成就測驗設計完成後經由專家教師的審視與編修，評估測驗內容之適切性，並使用項目分析選出高低分二組上下各27%的分數，作為高低分組的界線，再以*t*-test考驗高低分組在題項上之差異，並找出決斷值(Critical Ratio, CR)大於3以上作為該題項的鑑別度之依據，以瞭解各題項鑑別度(李亭儀等，2011)。本研究之成就測驗CR值為10.434，表示具有良好之鑑別力。

(三)實作測驗

另外，為了評量學生經過(先虛擬後實體或先實體後虛擬)不同教學活動順序後對其實體儀器操作能力的影響為何，因此也設計一份實作評量測驗，共計11題實作題，其中有1題為15分，3題為5分，其餘7題各為10分，總分為100分，例如：「如何設定吸光模式？(10分)」、「如何將原液濃度是0.5 ppm稀釋到0.1 ppm？(15分)」，學習者需在時間內依照試題內容進行儀器操作，再由專業教師依照學生操作狀況進行評分。本實作評量測驗設計完成後，亦經由專家教師的審視與編修，評估測驗內容之適切性，作為學生實作表現面向的學習成效。

(四)半結構式訪談

為了能更深入瞭解學習者對於虛擬實驗與實體實驗對學習上的看法，本研究在四週課程結束後，採半結構式訪談方式，對學習者進行心得訪談，針對虛擬實驗與實體實驗的幫助、兩種實驗的差異與兩種實驗組合之順序等學習經驗為題，瞭解學生對教學活動內容的看法。例如：你覺得使用虛擬實境與實體學習儀器分析實驗的過程中，對你有哪些幫助？你覺得這兩種學習方式(實體與虛擬)有什麼差異？為什麼？

六、資料處理與分析

(一)量化資料整理與分析

運用SPSS 26.0版的統計軟體對兩組學生的「儀器分析實驗之可視光吸收法單元之學習成就前、後測試」進行平均數、標準差、相依樣本*t*檢定與單因子共變數分析，以回答研究問題一；對兩組學生的「儀器分析實驗之可視光吸收法單元之認知學習成就前測驗、實作能力測驗」進行平均數、標準差與單因子共變數分析，以回答研究問題二。

(二)質性資料整理與分析

對兩組學生的訪談進行全程錄音，謄寫逐字稿，將取得的質性資料依據訪談提綱進行概念分析、概念編碼及主題歸類等質性資料處理程序，並在信度分析檢定上採用「評分者一致性信度法」(inter-rater agreement)，主要是二名研究員共同擔任編碼人員，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。質性資料的編碼依據對象之學號、實驗方式及概念編碼加以呈現，例如：「Std-001-A-1」，表示學號1號的學生(Std-001)，實驗方式為先實體實驗後虛擬實驗(A)，第1個概念編碼(1)。依據半結構訪談大綱的質性資料整理分析後，整理出影響儀器分析實驗之可視光吸收法單元的學習成效之學習行為及因素，以回答研究問題三。

參、研究結果

一、不同混合模式下學生的認知學習表現

表3為兩組前後測得分差異之相依樣本*t*檢定摘要表，由表3可知，先實體後虛擬與先虛擬後實體兩組學生經過不同教學活動後，前後測以相依樣本*t*檢定結果可發現，兩組的後測平均數達顯著且高於前測平均數(A組：t = -5.95，p < .001；B組：t = -6.63，p < .001)。表示先實體後虛擬組(前測平均 = 46.47，標準差 = 15.98)與先虛擬後實體組(前測平均 = 47.35，標準差 = 15.01)兩組學生經過不同順序的教學活動後，先實體後虛擬組(後測平均 = 75.29，標準差 = 16.72)與先虛擬後實體組(後測平均 = 68.53，標準差 = 13.67)在儀器分析實驗之可視光吸收法單元的後測成績都優於前測成績，學習成效上都有明顯的進步。

為了進一步比較兩種不同教學活動對認知學習表現的差異，本研究採單因子共變數進行分析，兩組的組內迴歸係數同質性考驗未達顯著水準(F = .641， p > .05)，符合共變數同質性假定，可直接進行獨立樣本單因子共變數分析。結果發現兩組在後測成績上未達顯著差異水準(F = 2.115，p > .05；先實體後虛擬組平均分組 = 75.29，標準差 = 16.72；先虛擬後實體組平均分組 = 68.53，標準差 = 13.67)。亦表示學生經過兩種不同教學活動順序後在儀器分析實驗之可視光吸收法單元的認知學習表現並無差異。不管學生經過哪種學習順序(先虛擬後實體或先實體後虛擬)在認知學習表現都能有明顯的進步，且兩組學習效果都相同，並不會因為教學活動順序不同而造成兩組之間成績有差異。

二、不同混合模式下學生的實作學習表現

進一步比較兩組不同教學活動之前測成績與實作成績資料進行組內迴歸係數同質性考驗，結果發現前後測迴歸係數同質性考驗結果(F = 1.529，p = .226 > .05)，符合共變數同質性假定，可直接進行獨立樣本單因子共變數分析。故再將不同教學活動順序之前測成績與實作成績進行共變數分析後，結果如表4。不同教學活動順序的實作成績有差異，

表3：學習表現前、後測相依樣本*t*檢定

組別	樣本數(N)	前測		後測		t	效果量 (Cohen's d)
		平均數(M)	標準差(SD)	平均數(M)	標準差(SD)		
先實體後虛擬	17	46.47	15.98	75.29	16.72	-5.95***	1.44
先虛擬後實體	17	47.35	15.01	68.53	13.67	-6.63***	1.61

註：***p < .001。

表4：不同活動順序與實作成績之共變數分析

評量測驗	先實後虛		先虛後實		F	顯著性
	平均數(M)	標準差(SD)	平均數(M)	標準差(SD)		
前測	46.47	15.98	47.35	15.01	17.82	.000
上機測驗	66.18	22.81	83.53	19.26	8.06	.008

且達顯著水準(p = .008 < .01)。亦表示學生在儀器分析實驗之可視光吸收法單元，先虛擬後實體(平均 = 83.53，標準差 = 19.26)之教學活動順序的實作成績比先實體後虛擬(平均 = 66.18，標準差 = 22.81)好，且達到顯著差異。此結果也顯示學生經過兩種不同教學活動順序後在儀器分析實驗之可視光吸收法單元的實作學習表現都有明顯提升，尤其是先虛擬後實體組的實作學習表現比先實體後虛擬組的好。

三、教學意見調查

為了瞭解學生在儀器分析實驗之可視光吸收法單元進行不同教學活動的看法，故規劃四題質性訪談題目(參見附錄一)，調查虛擬實驗與實體實驗的差異及結合不同實驗的教學順序對學生的幫助等訪談內容資料進行整理。其中，將第一、二題訪談內容資料以內容分析法整理，依照學生的訪談內容進行概念分析與概念編碼，例如學生表達：「實體上機的實驗，過程都聽得懂，講解的也很詳細」(Std-013-A-2)，研究者將此內容概念定義為「容易理解實驗原理、方法」，完成所有學生的概念分析後，再與另一名研究員進行概念編碼，並以學生為單位，將概念編碼相同的學生進行次數統計(如表5所示)，最後再將實體實驗與虛擬實驗之教學活動歸類成教學方式、實驗操作方式、個人情意領域與教學限制等四個面向，並比較兩種不同實驗活動的差異。

表5：學生對於不同教學活動的看法

類型	內容	實體實驗 次數(%)	虛擬實驗 次數(%)
教學方式	容易理解實驗原理、方法	16 (69)	7 (31)
	反覆觀看教學影片	0 (0)	5 (100)
	教學步驟清楚，理解實驗操作	13 (38)	21 (62)
	加深實驗印象	10 (50)	10 (50)
	老師或助教可解答學生的問題或協助故障排除	8 (66)	4 (34)
情意領域	學習方式非常新穎有趣、好玩	3 (15)	16 (85)
	喜歡此種上課方式	5 (45)	6 (55)
	降低學習焦慮	0 (0)	2 (100)
	提升專注力	0 (0)	1 (100)
	提升自我效能	2 (66)	1 (33)
實驗操作	動手操作儀器	11 (35)	20 (65)
	不用擔心把設備弄壞	0 (0)	10 (100)
	瞭解儀器外觀構造	15 (65)	8 (35)
	觸摸儀器與操作手感	4 (100)	0 (0)
教學限制	會容易分心	4 (100)	0 (0)
	無法讓每位學生都能操作儀器	8 (89)	1 (11)
	空間小或環境悶熱	4 (100)	0 (0)
	會造成頭暈、不舒服等反應	0 (0)	3 (100)

(一)教學方式

實體與虛擬兩種教學活動都能提升學生實驗內容印象，實體實驗由老師講解，教學內容清楚，容易理解；虛擬實驗則於VR裡自行觀看教學影片，藉由影片引導學生逐一認識每個實驗步驟。例如學生表達：「實體上機的實驗，過程都聽得懂，講解的也很詳細」(Std-013-A-2);「VR可以看影片，有一步一步教學步驟淺顯易懂，也不怕做錯，有任何問題助教跟老師都會在旁邊看」(Std-032-A-2)。

(二)情意領域

兩種教學活動都有學生喜歡，其中虛擬實驗比實體實驗有趣、好玩，以及可自行操作練習，比較不易造成分心，例如學生表達：「雖然今天因為時間的問題沒有做完全部的步驟，但感覺再讓我多上幾次課就可以輕鬆上手」(Std-136-B-2)；「第一次用這個實驗，很有趣操作方式也講得很仔細」(Std-250-B-2)。

(三)實驗操作

實體實驗須輪流上機操作，能更清楚瞭解儀器外觀構造，但在不熟悉的情況下，會擔心弄壞儀器；虛擬實驗則可以讓每位學生使用VR設備進行操作模擬，不用擔心因操作不當而導致儀器損壞，例如學生表達：「虛擬實境可以放心的操作，不怕弄壞，實體操作要比較小心操作」(Std-012-A-2)；「實體時沒機會操作到，但虛擬實境時可以按照步驟操作非常有幫助」(Std-029-A-2)。

(四)教學限制

實體實驗因空間有限，教學時若人數太多易導致悶熱；虛擬實驗於一般教室，每位學生皆有各自的活動空間，但穿戴太久可能會造成不適，例如學生表達：「VR過度晃動導致頭暈」(Std-044-A-2)；「實體上課容易會忽略掉一些小細節，畢竟只有一臺和空間較小，虛擬的比較能更清晰的看清楚在幹嘛」(Std-154-A-2)。

另外對第三、四題訪談資料進行整理分類，如表6，比較兩種不同虛實混合的教學順序對學生的幫助，先實體後虛擬組的學生認為在實體實驗課程可先學習實驗原理、實驗方法，遇到問題老師會提供解答，但不一定都能操作到儀器，而對於無法操作的部分，可至虛擬實驗裡練習，這樣的順序會讓他們更加熟悉機臺的操作和步驟，例如學生表達：「先上過實體後，再上VR，在操作上會比較熟悉，能夠更好的瞭解實驗步驟」(Std-044-A-3)；「實體上機的時候沒辦法親手操作，所以對儀器的操作步驟僅限於講義上看到的，但在用虛擬實境親自操作過後，我對實驗的步驟更有印象了」(Std-022-A-3)。

先虛擬後實體組的學生認為可以在虛擬實境裡面自行操作練習，熟悉整個實驗流程，建立他們的信心，再到實體上課時藉由教師的講解與上機操作會更清楚瞭解實驗內

表6：學生對不同教學活動順序之看法

先實體後虛擬	次數	先虛擬後實體	次數
熟悉實驗步驟與順序	11	熟悉實驗步驟與順序	16
實體實驗未必能操作，虛擬實驗能補足實驗操作	6	改善先前不清楚概念或細節	5
		提升學生自我效能	2

容，增加學習印象，同時也可將於虛擬實境錯誤或是不清楚的地方，於實體實驗課時詢問老師解決問題，例如學生表達：

> 先上虛擬實境可以完整知道操作流程，且能順利完成整個實驗，印象更深刻。再去上實體時，可以學習實驗原理，看到真的儀器，可以更瞭解實際位置，熟悉環境。(Std-021-B-4)

> 操作虛擬後對於實體操作有了一點信心，接著在上實體實驗時，對瞭解UV的操作方法和步驟，非常有幫助，使用虛擬實境能輔助實體讓人加深印象。(Std-017-B-4)。

肆、研究討論

從研究結果發現先實體後虛擬組或先虛擬後實體組之不同教學活動順序在儀器分析實驗之可視光吸收法單元的認知學習成效上與前測相比，兩種教學活動皆有明顯的進步，且達到顯著水準。此原因可能是當學生已經學過一次儀器分析實驗內容後，再使用虛擬實驗或實體實驗學習時，都能幫助學生複習，加深學生的學習印象，例如學生表達：

> 可以藉由虛擬實境的操作加深印象，且也很容易上手，幫助我熟悉實驗操作步驟，實體實驗課可以聽教師細心講解，加深對實驗儀器的印象。(Std-041-B-4)

> 虛擬實境有一步一步的教學步驟，淺顯易懂，也不怕做錯，而實體實驗可以讓我更瞭解實際內容，及實際操作讓我對機器的操作更加有印象。(Std-032-B-4)

此研究結果呼應前人的研究，不管是虛擬或實體實驗都有助於大學生學習物理實驗(Darrah et al., 2014)。根據Winkelmann等(2014)的研究發現當實驗學習內容相同時，學生對虛擬實驗與實體實驗的看法會相似，兩種實驗模式在增強學生概念理解方面都同樣有效。因此，在本研究中學生都會經過虛實混合的學習活動，所以不管接受哪種學習活動，都會經過兩次(先虛後實或先實後虛)的學習，比起僅學習一次而言，更能增加學生對實驗內容的認識。Zacharia等(2008)的研究也顯示，虛實結合的實驗比單獨實體實驗更能增加學生的概念理解。同樣在Kapici等(2019)的研究也發現，不同虛實混合的實驗順序在電學的知識概念都比單一種實驗環境(實體或虛擬)效果好。

本研究更進一步分析發現先實體後虛擬組與先虛擬後實體組的兩組學生於儀器分析實驗之可視光吸收法單元之認知學習成效分析結果未達顯著差異。造成兩組學生的學習認知無顯著差異的原因可能是虛擬實驗的儀器設備與教學內容是參考實體實驗建置而成，在實體實驗與虛擬實驗教學內容相同的情況下，學生所學習的知識內容並沒有因為教學活動順序不同而造成差異，例如學生表達：「我認為虛擬實境教學和實體授課幾乎沒有太大的差別，雖然虛擬實境教學不能真正碰到真的儀器，但是我認為學習效果也非常有效」(Std-024-A-2)。此研究結果也與其他研究結果相同，虛擬實驗也同樣具備實體實驗的學習效果，讓學生對實驗內容有更深的理解(Hamed & Aljanazrah, 2020; Makransky et al., 2016)。而造成此結果的原因可能是本研究所開發的虛擬實驗也包含了實體實驗重要的組成，例如在VR中使用教學影片進行實驗的解說與儀器操作的示範，及動手模擬實驗操作與收集相關數據等，學生雖然在VR

中，但也能學到實體實驗所需的基礎知識與技能。並且在相同的教學內容下，學生所習得的基本知識並不會因為練習方式(虛擬或實體)不同而造成顯著差異。另外，從其他研究也發現相同的結果，Carmichael等(2010)的研究發現，先虛後實或先實後虛的學習活動順序，對整體滑輪的理解並無顯著差異，但先實體後虛擬的學習順序有助於學生對實驗數據的判讀。及Kapici等(2019)的研究發現，學習者經過VHV (虛擬、實體、虛擬)與HVH (實體、虛擬、實體)兩種不同組合的學習活動後，在中學生電力學習上都比單獨學習活動(VVV或HHH)效果更好，並藉由虛擬與實體各自特性所形成的互補效果，使兩種不同組合的學習順序在學習效果都一樣有效。

此外，從研究結果也發現兩組學生經由不同教學活動順序後對儀器分析實驗之可視光吸收法單元的實作學習表現，先虛擬後實體組比先實體後虛擬組的好，且達到顯著水準。造成兩組學生實作學習表現有顯著差異的原因可能有以下4點：

一、虛擬實境的學習方式比較新穎、有趣，有助於學生尚未進入實體實驗前主動投入參與課程活動，例如學生表達：「因為這種較為特別的學習方法會更讓人想要去體驗，從而學習」(Std-034-B-1)。對於第一次接觸VR的學生而言，VR的新穎性與互動性，能吸引他們的學習興趣(Hsu, 2020; Mei & Sheng, 2011)。以及部分學生認為虛擬實境就像打電腦遊戲一樣，也會讓學習變得有趣(Pesare et al., 2016)。Cheng與Tsai (2020)研究也發現當學生具有複雜的動機信念與策略時，同時也感受更強的沉浸感，會驅使學生付出更多的注意力在虛擬內容上。因此與實體實驗相比，本研究發現虛擬實驗有別以往的學習方式，可能會提高學生的學習動機，促使學生一開始接觸實驗時就能更專注於實驗內容的學習。

二、虛擬實驗的教學引導、動手操作與重複練習之策略能建立學生完整的實驗操作概念，例如學生表達：「虛擬實境跟實體上幾乎沒有差別，加上虛擬實境有教學引導，可以讓我更快的上手，知道下一步驟該做什麼」(Std-136-B-1)。根據Zacharia與de Jong (2014)研究發現，虛擬實驗應先於實體實驗之前，因為虛擬實驗能讓學生先獲取重要的概念，再進入實體實驗後有助於他們學習相關技能。及Musawi等(2017)也提出在虛擬實驗中提供真實實驗所需要的環境，能幫助學生快速理解實驗內容，為進入正式實驗前做更好的準備。Dede等(2017)也證實讓學習者與真實世界相似的虛擬環境進行互動，有助於學習者將虛擬環境所學習的知識及技能轉移至真實世界。因此，從本研究中發現彷如真實的虛擬實驗，可減少學生對實體實驗的認知差異與學習焦慮，同時讓學生透過動手操作練習，有助於其建立較完整的實驗操作概念，反之實體實驗因儀器數量受限，及無法讓每位學生都參與練習，致使部分學生對實驗操作學習受到影響。

三、實體實驗的教師有助於學生釐清不清楚的概念與操作技巧，當學生經過虛擬實驗後，對於實驗內容可能還存在著不清楚的概念，因此再進入實體實驗後，經由教師講解與上機操作會更清楚實驗操作與儀器外觀的意義。例如學生表達：「上完虛擬實驗讓我對設備的瞭解也還沒有到很清楚，上實體實驗課時，再聽一次老師的講解，就更瞭解操作了」(Std-034-B-4)。這可能是因為在儀器分析實驗學習上，除了學習儀器操作外，也需學習實驗參數的設定，兩者操作必須正確才能對物質進行分析。虛擬實驗雖可讓學

生動手模擬操作來學習實驗流程，但不同的實驗參數設定所模擬的結果皆有所不同，這可能會影響學生對實驗設定的理解，因此再透過實體實驗教學，藉由教師的講解與示範，可以幫助學生釐清不清楚的概念。依據認知框架(cognitive framework)，讓學生先瞭解理論之原理，再將其應用到實務上進行探究，能更提高其理解能力(Jaakkola & Nurmi, 2008)。及Gagné等(1981)也指出，模擬可讓學習者有機會在各種情況下自行練習，使他們對將來可能面臨的實際問題去作出反應，提高問題解決之能力。因此先虛擬後實體的教學活動中，實體實驗有助於學生釐清虛擬實驗裡不清楚的概念或操作技巧，幫助學生建構更完整的認知與技能。相對於先實體後虛擬的教學活動，當學生在虛擬實驗中有概念不清楚時，則無法獲得適性的解答。

四、實體實驗之上機操作能培養學生實作能力，學生利用上機實作的機會，可將先前所學之概念連結到實物操作，強化上機實作技能，例如學生表達：「先上過VR再實體上課讓我更瞭解實際內容，而且可以實際操作對機器的操作部分可以更加有印象」(Std-032-B-4)。這也表示學生經過虛擬實驗練習後，再到實體實驗時可以更清楚實驗內容，藉由上機實作機會更能感受到儀器的運作方式，具體學習到實驗所需注意的細節。許多研究也證實虛實混合的教學方式更能幫助學生的學習表現(Olympiou & Zacharia, 2012; Sypsas & Kalles, 2018)。也呼應前人研究(Toth et al., 2014)，先進行虛擬實驗可提供學生增強基礎知識的機會，再到實體實驗時，能使學生獲得更深入的理解。

綜合以上所述，本研究發現在傳統分析儀器實驗教學上，易受到設備數量不足與分析時間過長，而影響學生的學習表現，然隨虛擬實驗的出現，可彌補實體實驗的限制，並結合兩種實驗的功能，比單獨使用其中一種實驗更具優勢(de Jong et al., 2013)。但虛擬實驗和實體實驗組合的順序方面並未有最佳的組合方式及普遍接受的規則(Brinson, 2015; Zacharia et al., 2019)，因此，如何選擇適當的學習主題及搭配虛擬實驗與實體實驗的教學資源(Brinson, 2017)，以提供教師與學生有機會去找出適合的學習模式顯得格外重要(Olympiou & Zacharia, 2012)。本研究發現先虛擬後實體的教學活動順序，可以增強學生的實作表現，從中更發現虛擬實驗所提供的動手操作與模擬功能，可讓學生放心地進行實驗操作，幫助學生建立相關實驗的知識與技巧，以及自信心，使學生到實體實驗時可驗證他的學習經驗，促進學生對實驗操作的理解與實作能力，改善傳統單一實驗教學的限制。反之，本研究也發現先實體後虛擬的學習順序，學生雖可於實體實驗課程中學習實驗操作方式與相關知識，再透過虛擬實驗複習實驗操作，但當學生在虛擬實驗有操作問題時，系統無法像實體實驗一樣，會給予學生適性的反饋，這可能會造成部分學生無法將已習得的概念套用到複雜的實務操作上，致使影響其實作表現。

此項研究存在一些局限性。首先，本研究的樣本數較少，未來可以擴大研究樣本量，並將研究目標擴展到其他學校。以及本次實驗使用的VR頭盔數量只有11臺，未能同時間讓所有受試者一起使用，未來可增加頭盔數量，以減少學生等待時間。其次，一些參與者在使用VR頭盔時無法馬上適應3D虛擬環境，而直接放棄操作，另有些人雖感到頭暈，但是經過調適之後，可以獲得改善。許多先前的研究表明，使用者會因為head mounted display的品質引起不適的症狀，而

產生重大影響(Moss et al., 2011; Sharples et al., 2008)。因此，在將VR一體機應用於教育時，研究人員應評估和衡量其效果和副作用，以及採用VR頭盔設備的必要性，也需更加關注個人對這些技術的生理反應，並重新評估系統品質。

伍、未來研究建議

虛擬實境應用於教育儼然已成為未來之趨勢，本研究目前的結果僅提供初步證據表明先虛擬實驗後實體實驗的學習方式有助於實作技能的提升，未來研究可對使用此學習順序的長期學習影響進行更進一步的探究，可於幾週後再次評估學生的認知學習成效與實作能力，以瞭解學習表現是否可以持續保持。以及本次研究僅探討學習成就，未來也可再針對自我效能、情境興趣等方面加以探究。另外，本研究於虛擬實驗上著重於實驗方法與實驗操作之教學，對於實驗原理部分僅用文字與語音方式解說，須點擊原理解說按鈕後才能觀看，這可能造成學生被動的學習實驗原理，因此未來可於虛擬實驗中結合不同的回饋機制，促使學習者主動思考實驗操作背後的意義，進而對實驗操作有更好的理解。

陸、結論

本研究主要目的係比較不同互動虛實混合模式融入儀器分析實驗課程之認知學習表現與實作學習表現差異為何。從研究結果發現，不同教學活動順序(先實體後虛擬或先虛擬後實體)皆能提昇學生在儀器分析實驗的認知學習表現，且兩組之間並無顯著差異。在實作學習表現部分，先虛擬後實體組之實作學習表現優於先實體後虛擬組，且達到顯著差異。故先虛擬後實體之學習活動順序，有助於學生在虛擬實驗中建立實驗操作的概念，再搭配實務操作與教師解說使學生對實驗內容與操作技巧有更深入的理解。因此，將虛擬實境結合實體實驗可為儀器分析實驗帶來更多的幫助，讓學生多一種學習機會，不僅可提升學習成效，亦能提升實作能力，故透過此研究發現可提供未來儀器分析實驗教學活動設計之參考，協助教學老師規劃適合的教學方法。

誌謝

本研究深感榮幸能夠獲得國科會專題計畫(MOST 111-2410-H-020-004-、 MOST 111-2410-H-017-001-MY3)與國立屏東科技大學高教深耕計畫的經費補助。我們對審查委員提供的深思熟慮的評論和寶貴建議表示由衷的感謝。此外，我們亦要感謝王品雯、張育瑄、許煒承等研究生的熱情參與和協助，他們的付出使得這項研究得以順利進行。

參考文獻

李亭儀、楊仁仁、徐志輝、張梅香(2011)。有氧舞蹈課程滿意度量表編製之研究。**運動健康休閒學報**，**2**，47-57。https://doi.org/10.29961/jshl.201104.0005

[Lee, T.-I., Yang, J.-J., Hsu, C.-H., & Chang, M.-H. (2011). A Study of the Aerobic Dance Satifaction on Scale. *Journal of Sports Health and Leisure*, *2*, 47-57. https://doi.org/10.29961/jshl.201104.0005]

鄭博元、林佳慶、葉桂君(2022)。虛擬實境儀器分析實驗輔助學習系統開發與評估：以HPLC為例。**工程、技術與STEM教育研討會，11**，86-97。https://doi.org/10.29619/STEM.202205.0008

[Cheng, B.-Y., Lin, C.-C., & Yeh, K.-C. (2022). Development and evaluation of virtual reality instrumental analysis experiment learning support system: A case of HPLC. *Conference on Engineering, Technology, and STEM Education*, *11*, 86-97. https://doi.org/10.29619/STEM.202205.0008]

Abdulwahed, M., & Nagy, Z. K. (2009). Applying Kolb's experiential learning cycle for laboratory education. *Journal of Engineering Education*, *98*(3), 283-294. https://doi.org/10.1002/j.2168-9830.2009.tb01025.x

Abidi, M. H., Al-Ahmari, A., Ahmad, A., Ameen, W., & Alkhalefah, H. (2019). Assessment of virtual reality-based manufacturing assembly training system. *The International Journal of Advanced Manufacturing Technology*, *105*(9), 3743-3759. https://doi.org/10.1007/s00170-019-03801-3

Abrahams, I., & Millar, R. (2008). Does practical work really work? A study of the effectiveness of practical work as a teaching and learning method in school science. *International Journal of Science Education*, *30*(14), 1945-1969. https://doi.org/10.1080/09500690701749305

Alaraj, A., Lemole, M. G., Finkle, J. H., Yudkowsky, R., Wallace, A., Luciano, C., Banerjee, P. P., Rizzi, S. H., & Charbel, F. T. (2011). Virtual reality training in neurosurgery: Review of current status and future applications. *Surgical Neurology International*, *2*, Article 52. https://doi.org/10.4103/2152-7806.80117

Alkhaldi, T., Pranata, I., & Athauda, R. I. (2016). A review of contemporary virtual and remote laboratory implementations: Observations and findings. *Journal of Computers in Education*, *3*(3), 329-351. https://doi.org/10.1007/s40692-016-0068-z

Almousa, O., Prates, J., Yeslam, N., Mac Gregor, D., Zhang, J., Phan, V., Nielsen, M., Smith, R., & Qayumi, K. (2019). Virtual reality simulation technology for cardiopulmonary resuscitation training: An innovative hybrid system with haptic feedback. *Simulation & Gaming*, *50*(1), 6-22. https://doi.org/10.1177/1046878118820905

Alneyadi, S. S. (2019). Virtual lab implementation in science literacy: Emirati science teachers' perspectives. *Eurasia Journal of Mathematics, Science and Technology Education*, *15*(12), Article em1786. https://doi.org/10.29333/ejmste/109285

Araiza-Alba, P., Keane, T., Matthews, B., Simpson, K., Strugnell, G., Chen, W. S., & Kaufman, J. (2021). The potential of 360-degree virtual reality videos to teach water-safety skills to children. *Computers & Education*, *163*, Article 104096. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104096

Baceviciute, S., Terkildsen, T., & Makransky, G. (2021). Remediating learning from non-immer-

sive to immersive media: Using EEG to investigate the effects of environmental embeddedness on reading in Virtual Reality. *Computers & Education*, *164*, Article 104122. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2020.104122

Brinson, J. R. (2015). Learning outcome achievement in non-traditional (virtual and remote) versus traditional (hands-on) laboratories: A review of the empirical research. *Computers & Education*, *87*, 218-237. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2015.07.003

Brinson, J. R. (2017). A further characterization of empirical research related to learning outcome achievement in remote and virtual science labs. *Journal of Science Education and Technology*, *26*(5), 546-560. https://doi.org/10.1007/s10956-017-9699-8

Burdea, G. (2006, March). *Virtual reality technology—An introduction*. IEEE Virtual Reality Conference (VR 2006), Alexandria, VA. https://doi.org/10.1109/VR.2006.143

Buttussi, F., & Chittaro, L. (2018). Effects of different types of virtual reality display on presence and learning in a safety training scenario. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *24*(2), 1063-1076. https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2653117

Carmichael, A., Chini, J. J., Gire, E., Rebello, N. S., & Puntambekar, S. (2010, May). *Comparing the effects of physical and virtual experimentation sequence on students' understanding of mechanics*. Annual Meeting of the American Educational Research Association, Denver, CO. https://reurl.cc/AAO4WE

Chen, J.-C., Huang, Y., Lin, K.-Y., Chang, Y.-S., Lin, H.-C., Lin, C.-Y., & Hsiao, H.-S. (2020). Developing a hands-on activity using virtual reality to help students learn by doing. *Journal of Computer Assisted Learning*, *36*(1), 46-60. https://doi.org/https://doi.org/10.1111/jcal.12389

Cheng, K.-H., & Tsai, C.-C. (2020). Students' motivational beliefs and strategies, perceived immersion and attitudes towards science learning with immersive virtual reality: A partial least squares analysis. *British Journal of Educational Technology*, *51*(6), 2140-2159. https://doi.org/10.1111/bjet.12956

Chernikova, O., Heitzmann, N., Stadler, M., Holzberger, D., Seidel, T., & Fischer, F. (2020). Simulation-based learning in higher education: A meta-analysis. *Review of Educational Research*, *90*(4), 499-541. https://doi.org/10.3102/0034654320933544

Chini, J. J., Madsen, A., Gire, E., Rebello, N. S., & Puntambekar, S. (2012). Exploration of factors that affect the comparative effectiveness of physical and virtual manipulatives in an undergraduate laboratory. *Physical Review Physics Education Research*, *8*(1), Article 010113. https://doi.org/10.1103/PhysRevSTPER.8.010113

Dalacosta, K., & Pavlatou, E. A. (2020). Using cartoons agents and 3D visualizations based on HTML5 for improving learning in crystal structures in engineers. *Computer Applications in Engineering Education*, *28*(1), 5-16. https://doi.org/10.1002/cae.22169

Darrah, M., Humbert, R., Finstein, J., Simon, M., & Hopkins, J. (2014). Are virtual labs as effec-

tive as hands-on labs for undergraduate physics? A comparative study at two major universities. *Journal of Science Education and Technology*, *23*(6), 803-814. https://doi.org/10.1007/s10956-014-9513-9

de Jong, T., Linn, M. C., & Zacharia, Z. C. (2013). Physical and virtual laboratories in science and engineering education. *Science*, *340*(6130), 305-308. https://doi.org/10.1126/science.1230579

Dede, C., Grotzer, T. A., Kamarainen, A., & Metcalf, S. J. (2017). Virtual reality as an immersive medium for authentic simulations: The case of EcoMUVE. In D. Liu, C. Dede, R. Huang, & J. Richards (Eds.), *Virtual, augmented, and mixed realities in education* (pp. 133-156). Springer. https://doi.org/10.1007/978-981-10-5490-7_8

Domínguez, J. C., Miranda, R., González, E. J., Oliet, M., & Alonso, M. V. (2018). A virtual lab as a complement to traditional hands-on labs: Characterization of an alkaline electrolyzer for hydrogen production. *Education for Chemical Engineers*, *23*, 7-17. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.ece.2018.03.002

Dukes, A. D., III. (2020). Teaching an instrumental analysis laboratory course without instruments during the COVID-19 pandemic. *Journal of Chemical Education*, *97*(9), 2967-2970. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00648

Fung, F. M., Choo, W. Y., Ardisara, A., Zimmermann, C. D., Watts, S., Koscielniak, T., Blanc, E., Coumoul, X., & 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. https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00728

Gable, R. W. (1988). SPEC20: A highly interactive simulation of a manual spectrophotometer. *Journal of Chemical Education*, *65*(1), 26. https://doi.org/10.1021/ed065p26

Gagné, R. M., Wager, W., & Rojas, A. (1981). Planning and authoring computer-assisted instruction lessons. *Educational Technology*, *21*(9), 17-26.

Greenidge, W. L. (2013). *Using virtual reality environments to improve the career self-efficacy of minority students: An introduction*. https://reurl.cc/8qAxD7

Hamed, G., & Aljanazrah, A. (2020). The effectiveness of using virtual experiments on students' learning in the general physics lab. *Journal of Information Technology Education: Research*, *19*, 977-996. https://doi.org/10.28945/4668

Holstermann, N., Grube, D., & Bögeholz, S. (2010). Hands-on activities and their influence on students' interest. *Research in Science Education*, *40*(5), 743-757. https://doi.org/10.1007/s11165-009-9142-0

Hsu, Y.-C. (2020). Exploring the learning motivation and effectiveness of applying virtual reality to high school mathematics. *Universal Journal of Educational Research*, *8*(2), 438-444. https://doi.org/10.13189/ujer.2020.080214

Ibrahim, D. (2011). Engineering simulation with MATLAB: Improving teaching and learning ef-

fectiveness. *Procedia Computer Science*, *3*, 853-858. https://doi.org/https://doi.org/10.1016/j.procs.2010.12.140

Jaakkola, T., & Nurmi, S. (2008). Fostering elementary school students' understanding of simple electricity by combining simulation and laboratory activities. *Journal of Computer Assisted Learning*, *24*(4), 271-283. https://doi.org/10.1111/j.1365-2729.2007.00259.x

Johnson, J. G. (1985). A problem in calibrating a spectrophotometer. *Journal of Chemical Education*, *62*(10), 885. https://doi.org/10.1021/ed062p885

Kapici, H. O., Akcay, H., & de Jong, T. (2019). Using hands-on and virtual laboratories alone or together—Which works better for acquiring knowledge and skills? *Journal of Science Education and Technology*, *28*(3), 231-250. https://doi.org/10.1007/s10956-018-9762-0

Kennepohl, D., Baran, J., Connors, M., Quigley, K., & Currie, R. (2005). Remote access to instrumental analysis for distance education in science. *International Review of Research in Open and Distributed Learning*, *6*(3), 1-14. https://doi.org/10.19173/irrodl.v6i3.260

Larsen, C. R., Oestergaard, J., Ottesen, B. S., & Soerensen, J. L. (2012). The efficacy of virtual reality simulation training in laparoscopy: A systematic review of randomized trials. *Acta Obstetricia et Gynecologica Scandinavica*, *91*(9), 1015-1028. https://doi.org/10.1111/j.1600-0412.2012.01482.x

Lau, K. W., & Lee, P. Y. (2015). The use of virtual reality for creating unusual environmental stimulation to motivate students to explore creative ideas. *Interactive Learning Environments*, *23*(1), 3-18. https://doi.org/10.1080/10494820.2012.745426

Li, C., Liang, W., Quigley, C., Zhao, Y., & Yu, L.-F. (2017). Earthquake safety training through virtual drills. *IEEE Transactions on Visualization and Computer Graphics*, *23*(4), 1275-1284. https://doi.org/10.1109/TVCG.2017.2656958

Limniou, M., Papadopoulos, N., & Roberts, D. (2007). An integrated lecture, virtual instrumentation lab approach to teaching UV-Vis spectroscopy. *Education and Information Technologies*, *12*(4), 229-244. https://doi.org/10.1007/s10639-007-9040-x

Makransky, G., Thisgaard, M. W., & Gadegaard, H. (2016). Virtual simulations as preparation for lab exercises: Assessing learning of key laboratory skills in microbiology and improvement of essential non-cognitive skills. *PLoS ONE*, *11*(6), Article e0155895. https://doi.org/10.1371/journal.pone.0155895

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*, Article 2364. https://doi.org/10.3389/fpsyg.2018.02364

Mattson, M. E., & Mattson, W. A. (1995). Obtaining a spectrum easily: Using a single-beam spectrophotometer. *Journal of Chemical Education*, *72*(6), 569 . https://doi.org/10.1021/ed072p569

McElhaney, K. W., & Linn, M. C. (2011). Investigations of a complex, realistic task: Intentional, unsystematic, and exhaustive experimenters. *Journal of Research in Science Teaching*, *48*(7), 745-770. https://doi.org/10.1002/tea.20423

Mei, H. H., & Sheng, L. S. (2011). Applying situated learning in a virtual reality system to enhance learning motivation. *International Journal of Information and Education Technology*, *1*(4), 298-302. https://doi.org/10.7763/IJIET.2011.V1.48

Moss, J. D., Austin, J., Salley, J., Coats, J., Williams, K., & Muth, E. R. (2011). The effects of display delay on simulator sickness. *Displays*, *32*(4), 159-168. https://doi.org/10.1016/j.displa.2011.05.010

Musawi, A. A., Ambusaidi, A., Al-Balushi, S., Al-Sinani, M., & Al-Balushi, K. (2017). Effectiveness of learning with 3D-lab on Omani basic education students' achievement, attitudes and scientific thinking. *Journal of Education and Training Studies*, *5*(11), 177-188. https://doi.org/10.11114/jets.v5i11.2743

Němec, M., Fasuga, R., Trubač, J., & Kratochvíl, J. (2017, October). *Using virtual reality in education*. 2017 15th International Conference on Emerging eLearning Technologies and Applications (ICETA), Stary Smokovec, Slovakia. https://doi.org/10.1109/ICETA.2017.8102514

Olympiou, G., & Zacharia, Z. C. (2012). Blending physical and virtual manipulatives: An effort to improve students' conceptual understanding through science laboratory experimentation. *Science Education*, *96*(1), 21-47. https://doi.org/https://doi.org/10.1002/sce.20463

Papadopoulos, N., & Limniou, M. (2002). How to use visual basic to interface scientific instruments to a personal computer. *The Chemical Educator*, *7*(5), 288-291. https://doi.org/10.1007/s00897020591a

Passig, D., Tzuriel, D., & Eshel-Kedmi, G. (2016). Improving children's cognitive modifiability by dynamic assessment in 3D Immersive Virtual Reality environments. *Computers & Education*, *95*, 296-308. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2016.01.009

Pesare, E., Roselli, T., Corriero, N., & Rossano, V. (2016). Game-based learning and Gamification to promote engagement and motivation in medical learning contexts. *Smart Learning Environments*, *3*, Article 5. https://doi.org/10.1186/s40561-016-0028-0

Rutten, N., van Joolingen, W. R., & van der Veen, J. T. (2012). The learning effects of computer simulations in science education. *Computers & Education*, *58*(1), 136-153. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2011.07.017

Sharples, S., Cobb, S., Moody, A., & Wilson, J. R. (2008). Virtual reality induced symptoms and effects (VRISE): Comparison of head mounted display (HMD), desktop and projection display systems. *Displays*, *29*(2), 58-69. https://doi.org/10.1016/j.displa.2007.09.005

Smith, G. W., & Puntambekar, S. (2010). *Examining the combination of physical and virtual experiments in an inquiry science classroom*. CBLIS Conference Proceedings 2010 Applica-

tion of New Technologies in Science and Education, Nicosia, Cyprus. https://reurl.cc/EGNlrR

Sullivan, S., Gnesdilow, D., Puntambekar, S., & Kim, J.-S. (2017). Middle school students' learning of mechanics concepts through engagement in different sequences of physical and virtual experiments. *International Journal of Science Education*, *39*(12), 1573-1600. https://doi.org/10.1080/09500693.2017.1341668

Sypsas, A., & Kalles, D. (2018). Virtual laboratories in biology, biotechnology and chemistry education: A literature review. In K. Nikitas & M. Basilis (Eds.), *Proceedings of the 22nd Pan-Hellenic Conference on Informatics* (pp. 70-75). Association for Computing Machinery. https://doi.org/10.1145/3291533.3291560

Tai, K.-H., Hong, J.-C., Tsai, C.-R., Lin, C.-Z., & Hung, Y.-H. (2022). Virtual reality for car-detailing skill development: Learning outcomes of procedural accuracy and performance quality predicted by VR self-efficacy, VR using anxiety, VR learning interest and flow experience. *Computers & Education*, *182*, Article 104458. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2022.104458

Toth, E. E., Ludvico, L. R., & Morrow, B. L. (2014). Blended inquiry with hands-on and virtual laboratories: The role of perceptual features during knowledge construction. *Interactive Learning Environments*, *22*(5), 614-630. https://doi.org/10.1080/10494820.2012.693102

Trna, J. (2008). Hands-on activity as a source of motivational effectiveness of learning tasks in science education. In M. F. M. Costa, J. B. Vazquez Dorrío, A. C. Pavão, & M. Muramatsu (Eds.), *Proceedings of the 5th International Conference on Hands-on Science—Formal and informal science education* (pp. 78-82). Hands-on Science Network.

Winkelmann, K., Scott, M., & Wong, D. (2014). A study of high school students' performance of a chemistry experiment within the virtual world of second life. *Journal of Chemical Education*, *91*(9), 1432-1438. https://doi.org/10.1021/ed500009e

Yu, Z. (2021). A meta-analysis of the effect of virtual reality technology use in education. *Interactive Learning Environments*. Advance online publication. https://doi.org/10.1080/10494820.2021.1989466

Zacharia, Z., Papaevripidou, M., & Pavlou, I. (2019). Could simulations replace physical manipulatives in early science education? In G. Marks (Ed.), *Proceedings of Global Learn 2019-Global Conference on Learning and Technology* (pp. 214-223). Association for the Advancement of Computing in Education. https://www.learntechlib.org/p/210308

Zacharia, Z. C., & de Jong, T. (2014). The effects on students' conceptual understanding of electric circuits of introducing virtual manipulatives within a physical manipulatives-oriented curriculum. *Cognition and Instruction*, *32*(2), 101-158. https://doi.org/10.1080/07370008.2014.887083

Zacharia, Z. C., Loizou, E., & Papaevripidou, M. (2012). Is physicality an important aspect of learning through science experimentation among kindergarten students? *Early Childhood*

Research Quarterly, *27*(3), 447-457. https://doi.org/10.1016/j.ecresq.2012.02.004

Zacharia, Z. C., Olympiou, G., & Papaevripidou, M. (2008). Effects of experimenting with physical and virtual manipulatives on students' conceptual understanding in heat and temperature. *Journal of Research in Science Teaching*, *45*(9), 1021-1035. https://doi.org/10.1002/tea.20260

Zheng, L., Xie, T., & Liu, G. (2018, December). *Affordances of virtual reality for collaborative learning*. 2018 International Joint Conference on Information, Media and Engineering (ICIME), Osaka, Japan. https://doi.org/10.1109/ICIME.2018.00011

附錄

附錄一

訪談題目
1.你覺得使用虛擬實境與實體學習儀器分析實驗的過程中，對你有哪些幫助？
2.你覺得這兩種學習方式(實體與虛擬)有什麼差異？你會比較喜歡哪一種？為什麼？
3.**(先實體後虛擬)**在實體實驗課程是怎麼進行的？對你而言有什麼幫助？之後再使用虛擬實境實驗，你覺得又有哪些幫助？
4.**(先虛擬後實體)**一開始使用虛擬實境學習你覺得有什麼幫助？之後再使用實體實驗後，虛擬實驗是否對你實體實驗有幫助？為什麼？

附錄二

概念性知識測驗題目
1.UV原理？(A)利用固定相與移動相來分離化合物 (B)同時利用各種波長分析 (C)靠中空陰極管發射的能量差 (D)利用化合物特定吸收波長。
2.若要上機分析須將樣品倒入何者才能分析？(A)石英管 (B)玻璃管 (C)塑膠管 (D)離心管。
3.UV採用的是？(A)單光束設計 (B)雙光束設計 (C)中空陰極管 (D)固定相與移動相。
4.關於UV何者正確？(A)樣品槽有一個 (B)分析時須由高濃度開始分析 (C)樣品槽有三個 (D)分析時須由低濃度開始分析。
5.開始分析前至少需要熱機多久？(A) 30 (B) 20 (C) 10 (D)不須熱機。
6.UV擁有哪些燈泡——(1) LED燈 (2)氘燈 (3)螢光燈 (4)鎢絲燈？(A) 12 (B) 13 (C) 23 (D) 24。
7.吸光值的英文為？(A) ABF (B) ABE (C) ABS (D) ABP。
8.含亞硝酸鹽之水樣，加入呈色劑後所形成之顏色為？(A)藍色 (B)綠色 (C)紅色 (D)粉紅色
9.對照組應放下列何者？(A) RO水 (B) 0 mg/L樣品 (C)呈色劑 (D) 10 mg/L樣品。
10. 亞硝酸鹽氮實驗是分析水中的何種污染物濃度？(A) NH_3 (B) NO_2 (C) NO_3 (D) TN。
程序性知識測驗題目
1.打開UV電源後，何者操作步驟才是正確的？(A)按Photometry檢量線模式→按System Setup，確認鎢絲燈與氘燈是否打開，熱機30分鐘 (B)按Photometry檢量線模式→按Paremeter Setup，更改吸光波長，熱機30分鐘 (C)按Photometry檢量線模式→按System Setup，確認鎢絲燈與氘燈是否打開，熱機10分鐘 (D)按Photometry檢量線模式→按Paremeter Setup，更改吸光波長，熱機10分鐘。
2.欲設定檢量線濃度，要如何操作？(A)按Photometry→按Sample Setup，設定標準品數量及各檢量線濃度 (B)按Instrument Setup→按Sample Setup，設定各檢量線濃度 (C)按Photometry檢量線模式→按Curve Setup設定標準品數量→按Curve Data設定各檢量線濃度 (D)按Instrument Setup檢量線模式→按Curve Setup設定標準品數量→按Curve Data設定各檢量線濃度。
3.設定完所有分析參數後，下一步為何？(A)開始分析樣品 (B)按Start (C)按Enter (D)按Forward。
4.分析完畢後，要如何關閉燈管？(A)按Photometry檢量線模式→按System Setup關閉兩種燈管 (B)按Instrument Setup→按System Setup關閉兩種燈管 (C)按Photometry檢量線模式→按Sample Setup關閉兩種燈管 (D)直接關閉電源即可。

5.Sample Setup可以設定哪些參數？(A)檢量線濃度與檢量線數量 (B)檢量線濃度與濃度單位 (C)待測樣品名稱與濃度單位 (D)以上皆是。

6.哪裡可以輸入檢量線的各個濃度？(A) Curve Data (B) Curve Setup (C) System Setup (D) Method。

7.何時要按FOR WARD鍵？(A)開機時 (B)關機時 (C)參數設定完成時 (D)分析完成後。

8.要從哪裡開啟燈泡？(A) System Setup (B) Wavelength Scan (C) Method (D) Instrument Setup。

9.若要設定待測樣品名稱須從哪裡設定？(A) Parameter Setup (B) Sample Setup (C) System Setup (D) Curve Setup。

10. 關於樣品放置何者正確？(A)霧面須與光線方向垂直 (B)光滑面須與光線方向垂直 (C)內側專門放待測樣品 (D)光線方向是由左至右。

附錄三

實作評量題目
1.這臺儀器屬於單光束還是雙光束？(10分)
2.如何將原液濃度是0.5 ppm稀釋到0.1 ppm？(15分)
3.如何將檢量線的標準品的數量設定為4個？(10分)
4.如何將檢量濃度分別設定為0.1、0.2、0.3、0.4？(10分)
5.如何設定才能對儀器輸入英文字母？(10分)
6.當對照樣品和待測樣品的都放0 ppm的樣品時，需如何處理？(10分)
7.分析前需要熱機多久？(5分)
8.如何設定吸光模式？(10分)
9.裝樣品的容器稱為什麼？(5分)
10. 石英管要如何放到樣品放置槽？(5分)
11. 如何關閉燈管？(10分)

科學教育學刊
2023, 第三十一卷第一期, 27-51
DOI:10.6173/CJSE.202303_31(1).0002

Contemporary Journal of Science Education
2023, 31(1), 27-51

Probing the Impacts of Interactive Mixed Reality Model on Undergraduates' Performance of Learning UV-Vis

Chia-Ching Lin[1], Bo-Yuan Cheng[2,*], C. Kuei-Jyum Yeh[3] and Ming-Hsun Shen[1]

[1]Graduate Institute of Science Education & Environmental Education, National Kaohsiung Normal University

[2]General Research Service Center, National Pingtung University of Science and Technology

[3]Department of Environmental Science and Engineering, National Pingtung University of Science and Technology

Abstract

This study aimed to investigate the impacts of embedding mixed virtual reality (VR) into UV-Vis experimental courses on students' learning performance. We further examined the effects of instructional sequence (adopting physical courses first and VR courses later, or VR courses first and physical ones later) on conceptual understanding and experimental skills. Thirty-four participants were recruited from a university in southern Taiwan. They were randomly assigned into two groups; one group that received the physical course first and VR later, whereas the sequence of the other group was reverse. The results showed that both groups had no statistically significant difference in their conceptual understanding. When it comes to experimental skills, students who took VR courses first and physical courses later tended to outperform their counterparts. The qualitative data displayed that no matter what sequences of the courses were, they could foster students' learning performance. In addition, some students agreed on the positive impact of using VR to release their anxiety of manipulating the expensive equipment and providing abundant learning opportunity.

Key words: Virtual Reality, Mixed Reality, Virtual Laboratory, Laboratory Instruction

* Corresponding author: Bo-Yuan Cheng, oakley.cheng@gmail.com; ORCID: 0000-0002-4510-2647

Received: 2022/11/26, Revised: 2023/2/22, Accepted: 2023/2/22, Available Online: 2023/5/31