科學教育學刊
2023, 第三十一卷第一期, 1-25
DOI:10.6173/CJSE.202303_31(1).0001

Contemporary Journal of Science Education
2023, 31(1), 1-25

探討結合虛擬實境與擴增實境細胞分裂學習系統對學生概念理解與科學學習動機的影響

邱文彬[1]　唐文華[2]　李易儒[1]　王姿陵[1、*]

[1]國立清華大學　數理教育研究所
[2]國立清華大學　學習科學與科技研究所

摘要

虛擬實境(VR)和擴增實境(AR)技術讓學習者可以接觸到新的環境和增強體驗。本研究的目的在探討結合VR和AR技術的「細胞分裂學習系統」對國中學生概念理解和學習動機的影響。此細胞分裂學習系統是依據「細胞的分裂」單元的個別概念不同特性結合VR和AR的相應優勢發展而成。此學習系統包含三個主題：「遺傳物質的介紹」、「同源染色體的介紹」和「細胞的分裂方式」。研究對象來自桃園市一所國中七年級四個班級，其中二班為實驗組49人，進行細胞分裂學習系統教學，另二班為對照組51人，進行一般教學。本研究採準實驗前後測設計，二組教學時間皆為三節課，每節課45分鐘，共135分鐘，實驗教學歷經二週。測驗工具為「細胞的分裂二階段診斷測驗」和「科學學習動機量表」。研究結果顯示細胞分裂學習系統教學比一般教學更能促進學生在「細胞的分裂」整個單元概念理解和個別概念理解，例如：「細胞分裂的過程與結果」、「同源染色體的定義」、「基因、DNA與染色體」、「雙套染色體的定義」和「減數分裂的過程與結果」。研究結果也顯示細胞分裂學習系統教學對提升學生科學學習動機顯著優於一般教學。本研究的啟示是當概念的特性與AR或VR的獨特優勢相匹配時，學習系統可以有效提高學習效果。

關鍵詞：科學學習動機、細胞的分裂、虛擬實境、概念理解、擴增實境

壹、前言

大部分人的「自然概念」通常是來自於每天的生活經驗(Schnotz & Preuß, 1999)，在日常生活中，我們經由感官接觸自然界的事物及現象，在接觸的過程中自然而然的發展出一套自己解釋自然現象的思考邏輯模式(Novak & Gowin, 1988)。自然課程教學前，學習者會利用觀察、接觸等方式，自行發展出許多方法來解釋自然現象(Bahar, 2003)，當科學概念過於抽象，或者有些自然現象無法直接觀察時，學習者容易自行建構出不符合科學界所認同的觀點(Chi, 2005)，這類抽象的概念容易使學習者在學習中產生不同的迷思

*通訊作者：王姿陵，tzuling.wang906@gmail.com；ORCID：0000-0001-8836-5028
投稿：2022/12/15，修訂：2023/2/24，接受：2023/3/3，線上出版：2023/5/31

概念(Lazarowitz & Penso, 1992)，建構概念時學習者常常無法察覺自己建構的概念缺失，反而會因為這些概念在日常生活中有發揮部分的功能而感到滿足，於是會堅守這些與科學界不同的立場與想法，影響課程的學習(邱美虹，2000)。

遺傳學是生物學的核心領域之一(Fisher et al., 2002)，遺傳信息如何在細胞之間複製或是在細胞之間與生物體之間傳遞，對生物學各領域都是至關重要的問題(Cooper & Poinar, 2000)。細胞的分裂是遺傳學所涵蓋的重要概念之一(楊凱悌等，2011)，然而細胞分裂相關的概念在各年齡或各階段的學習者皆有不同程度的學習困難(Lewis & Wood-Robinson, 2000)，有研究者指出染色體、有絲分裂與減數分裂這一類的概念本質具有抽象的屬性，需要學習者自行想像，容易使學習者產生迷思概念(Lazarowitz & Penso, 1992)。目前臺灣國中七年級教科書細胞的分裂單元包含瞭解基因、DNA與染色體的功能；瞭解同源染色體的基本定義；瞭解單、雙套染色體的定義與差異；瞭解細胞分裂的意義、過程以及結果；瞭解減數分裂的意義、過程以及結果等科學概念，而楊坤原與張賴妙理(2004b)在文獻回顧中指出學生在不同的概念產生的迷思概念也不盡相同，例如：同源染色體是指任何兩條相鄰且顏色和形狀均相同的染色體；染色體並非由DNA組成或是DNA位在染色體上；細胞分裂產生的細胞具有不同的遺傳物質；染色體和基因；細胞分裂的過程中不會複製；減數分裂會產生雙套染色體；第一次減數分裂前期同源染色體會分開；減數分裂會產生8個細胞。這些迷思概念往往是根深蒂固難以改變的，且會干擾學生日後學習科學概念，而傳統教學較不易幫助學生理解抽象概念，減少迷思概念或促進概念改變，因此許多學者提出能幫助概念改變的教學策略，其中能夠將抽象的概念具體化以及互動化的虛擬實境(Virtual Reality, VR)與擴增實境(Augmented Reality, AR)是有效的教學策略之一(周惠柔、林弘昌，2018)。

VR是一種能夠模擬真實環境的技術(Ausburn & Ausburn, 2004)，使用者能在這一個空間與虛擬環境內的物件互動，而VR的優勢是能將微小的分子可視化(Limniou et al., 2008)，而且學習者能對虛擬環境進行各種不同程度的操控，例如：改變觀看視角、拿起物品等(Dalgarno et al., 2002)，在視覺、聽覺、觸覺等感覺回饋都與真實相同(Wexelblat, 1993)，具有不限次數進行實驗的功能，能有效改善教學(Squire et al., 2004)。已有研究探討使用VR教學對學生概念學習的影響，研究結果不一致，例如：有研究結果顯示使用VR教學能提升學生概念理解(Schneps et al., 2014)，也有研究結果顯示VR教學無法提升學生的概念理解(吳延慶，2008；Amiati, 2019)。另外，已有研究探討VR教學對學生學習動機的影響，多數研究結果顯示VR教學能提升學生的學習動機(Makransk & Petersen, 2019; Parong & Mayer, 2018)。

AR是一種將虛擬物件疊加在現實場景的技術(Azuma, 1997)，此技術可以把數位虛擬影像投射到真實的教學環境中，是一種新興的教學方法(Wojciechowski & Cellary, 2013)。AR的優勢是能使用虛擬物件來補足或補充真實環境缺乏的信息，讓學習者能在真實環境的狀態下與虛擬物件進行即時性的互動，經由改變真實環境的位置產生不同的觀察角度(Bimber & Raskar, 2005)，能將微觀的物件在現實環境中可視化，例如：將磁場真實的呈現在現實環境中(吳文龍等，2018)；讓學生實際觀看到磁場的變化(Cai et al., 2017)。已有研究探討使用AR教學對學生科學概念學習的影響，多數研究結果顯示AR教學能提升

學生概念理解(Chen & Liu, 2020; Yoon et al., 2017)。另外，已有一些研究探討使用AR教學對學生的學習動機的影響，研究結果不一致，例如：部分研究結果顯示AR教學能提升學生的學習動機(Chiang et al., 2014; Ibáñez et al., 2015)，也有研究結果顯示AR教學無法提升學生的學習動機(許一珍，2018)。

近來已有研究發展細胞分裂的VR行動軟體，此VR行動軟體使用2D虛擬物件，以拼圖的互動方式呈現細胞分裂的過程(Nasharuddin et al., 2021)，然而有一些研究指出在模擬現象變化和過程時，使用3D虛擬物件會比2D虛擬物件更有臨場感(Mintz et al., 2001; Kancherla et al, 1995)，且使用拼圖的互動方式，無法任意改變觀察的視角，互動性不佳。另外，由過去的實證研究結果發現VR和AR應用在許多科學主題的教學但是對學生的學習成效並不一致，造成這些不一致的研究結果可能和研究主題、研究方法或是在每個研究使用的VR和AR優勢不同有關。近來已有研究嘗試結合VR和AR技術應用在醫學訓練(謝旻儕、林語瑄，2017)和古代儀器裝置教學(Rojas-Sola & Aguilera-García, 2018)，研究結果顯示結合VR和AR技術應用在教學，能提升訓練與培訓的效率，也能降低教學成本，然而，截至目前少有研究結合VR和AR技術應用在科學教學。

因此，本研究的目的在探討結合VR與AR的細胞分裂學習系統對學生在概念理解與科學學習動機的影響，本研究的問題如下：

一、細胞分裂學習系統教學和一般教學對學生概念理解的影響是否有差異？

二、細胞分裂學習系統教學和一般教學對學生科學學習動機的影響是否有差異？

貳、文獻探討

一、細胞分裂的迷思概念相關研究

在教學現場中學生無法觀察到染色體構造以及細胞分裂的過程，學生對這些抽象的學習內容感到困難(Lazarowitz & Penso, 1992)，學生在學習時只能用自身的邏輯與經驗去學習這些抽象的概念(Bahar, 2003)，導致學習者在學習概念的過程中容易出現各種迷思概念(Lazarowitz & Penso)，楊坤原與張賴妙理(2004a)統整國內外的文獻，發現學生對於細胞的分裂與染色體會有許多迷思概念，例如：細胞分裂產生的細胞具有不同的遺傳物質；不同功能的細胞所產生的遺傳物質也不相同；減數分裂會分裂兩次且每次產生四個細胞，所以共產生八個細胞；減數分裂會先分裂平分染色體形成兩個細胞，之後每個細胞再分別進行複製和分裂；減數分裂是先分裂一次，將染色體集中在一個細胞，而另一個細胞則進行複製，之後兩顆細胞再進行分裂，將染色體平分至四個子細胞中；減數分裂會將染色體折半形成單套染色體，受精後會恢復成一條染色體稱為雙套染色體；一對同源染色體上只具有一個基因稱為單套染色體，一對同源染色體上有成對基因稱為雙套染色體。

許多學者指出，在細胞的分裂單元進行教學時學生會產生許多迷思概念，例如：Banet與Ayuso (2000)發現學生會認為不同功能的體細胞其遺傳物質也不相同。Sesli與Kara (2012)發現在細胞分裂的概念上，部分高中學生會有以下迷思概念，例如：分裂後子細胞的染色體會比母細胞多；不管什麼分裂方式子細胞的染色體數目為母細胞的一半；同種生物會有一樣的遺傳物質；用相同分裂方式產生的細胞會有一樣的遺傳物質；

精子和卵子是單套染色體所以睪丸和卵巢不會進行細胞分裂；體細胞和生殖細胞都會進行減數分裂。Ozcan等(2012)指出大學生在有絲分裂與減數分裂的概念中也有存在一些誤解以及替代概念的情形，例如：間期是分裂的第一個步驟，在間期只有DNA會複製；DNA由染色體組成；體組織能進行減數分裂；在第一次減數分裂前期同源染色體會分開；在第二次減數分裂前期同源染色體會在一起。Öztap等(2003)指出中學教師規劃與教授細胞的分裂概念時發現部分學生學習細胞的分裂概念時會有困難，尤其是減數分裂的部分，學生無法理解染色體在減數分裂時移動的情形，因此教師在教學時要使用圖表、實驗或影片等方式幫助學生學習。

綜合上述可以得知學生在不同的學習階段對於細胞的分裂相關概念理解有學習上的困難以及產生迷思概念，這些迷思難以利用一般教學或是傳統教學克服。

二、VR

Ausburn與Ausburn (2004)認為VR是一種模擬真實環境的方式，給予多重感官的環境，讓使用者覺得有親臨現場的感覺，其界面能讓參與者沉浸在合成的環境中，並允許他們通過一個或多個虛擬物件在該環境中互動，同時在互動的過程，會讓使用者留下非常真實生動的經驗。Dalgarno等(2002)指出虛擬三維空間教學環境需要具備兩種視覺因子，一個是呈現的三維圖片以及模型要有真實性，另一個是這些圖片或模型可以和實物類似，能展現其隨著時間變化的狀態。除此之外，學習者也可以對虛擬環境進行各種不同程度的操控，例如：改變觀看視角、拿起物品等動作。Burdea與Coiffet (2003)則認為VR需要具有讓使用者進入虛擬環境的沉浸性、操作虛擬物件的互動性以及激發使用者的想像性三種特性。Jacobson (1993)以裝置區分VR，將其分為四種類型，分別為沉浸式VR、桌面型VR、投影式VR與模擬艙VR。

VR在教學上有許多優勢，例如：Kancherla等(1995)發現藉由VR可以呈現骨頭在身體動態運作時的情形。Dalgarno等(2002)的研究顯示VR具有互動性，能幫助學生理解較高層次的知識。Mintz等(2001)認為VR能夠動態呈現太陽系運作的情形，並能改變觀察的視角，呈現出因為行星運行產生的季節、日食和日夜變化。Stull與Hegarty (2015)研究結果顯示學習者可以在虛擬的環境下任意翻轉3D虛擬模組，變換視野角度，藉此建立學習者的空間知識鷹架。Tarng等(2022)認為VR能夠呈現肉眼看不見的訊息將概念可視化，幫助學習者獲得更完整的概念。

三、AR

Milgram與Kishino (1994)認為真實環境與虛擬環境為一個連續線段，在線的兩端分別代表著真實環境和虛擬環境，若系統評估較靠近「真實環境」那端，即為AR；若較靠近「虛擬環境」那端，則為擴增虛境(augmented virtuality)，而這兩個區域皆處於整個線段的中間，因此合稱為「混合實境」(mixed reality)，如圖1。

Bimber與Raskar (2005)認為AR是由VR發展而來的一種可以在真實環境下與虛擬物件即時互動的技術，主要的功能是將電子設備所產生的物件資訊，與真實世界環境整合為一體，例如：將一種2D物件、3D物件、影片或是圖片等虛擬物件，投射於真實環境場景，使虛擬物件與真實世界結合，對真實物件增加額外的補充資訊和互動的體驗。綜觀上述，AR是指將人工創造出的虛擬圖片、

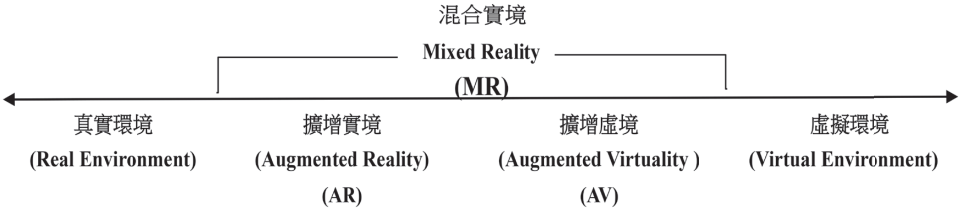


圖1：Reality-Virtuality Continuum理論圖

文字、3D物件，利用電子相關設備投射至真實環境中，使虛擬物件與真實環境相結合，讓使用者能在真實環境中與虛擬物件進行互動，並得到即時性的回饋。

Azuma (1997)認為一個完整AR建構的環境必須具備三種特性，分別為能在同一軟體介面空間結合虛擬和真實物件、具有立即性的互動反饋以及虛擬物件能出現在真實的環境中。Papagiannakis等(2008)指出AR的特性是將真實和虛擬物件結合在一起、能用行動載具進行即時運算、真實的事物能和虛擬物件相互配對、可以擴大真實物件的虛擬資訊以及能利用3D和動態方式呈現虛擬物件。綜合上述文獻可知AR的特性分成三大類：結合虛擬與真實世界、利用設備使虛擬與真實世界能即時互動、可以在3D立體環境中運作。謝旻儕與林語瑄(2017)將AR類型分為無標記式AR、有標記式AR和行動定位服務AR三種類型。

AR在教學上具有許多優勢，例如：Dunleavy等(2009)指出AR可以在真實的環境中將數位學習內容與虛擬的3D物件一起展示出來，能夠在真實的環境中建構出一個全面且具有豐富學習訊息的學習環境。El Sayed等(2010)認為藉由AR能夠讓學習者在真實的世界中感受微觀的分子結構，幫助學習者建構知識。Tarng等(2022)認為化學分子的結構是一種抽象的概念，藉由AR在真實的環境中呈現化學分子結構，使化學分子具體化，能夠改善學生的學習體驗，促使學生積極探索知識，而且AR建構的系統不受到空間與時間的限制。

四、VR與AR應用在科學教學的實徵研究

(一)VR應用在科學教學的實徵研究

Nasharuddin等(2021)開發一個細胞分裂的VR行動軟體，以網路免費圖片製作2D虛擬細胞，讓學生利用拼圖互動方式拼出細胞分裂的階段。以25名年齡介於16 ~ 30歲的學生為研究對象，探討VR行動軟體對學生學習成就和學習興趣的影響，研究結果顯示VR行動軟體能有效提升學生在細胞分裂的學習成就和學習興趣。Amiati (2019)發展一個電解質虛擬實驗室，以高中生為研究對象，探討VR對學生電解質概念理解的影響，研究結果顯示一般教學結合VR教學對學生的概念理解優於只進行一般教學或VR教學；而VR教學與一般教學對於學生電解質概念理解沒有顯著差異。Makransky與Petersen (2019)在遺傳學課程中使用VR進行教學，以199名大一新生為對象，探討VR應用在遺傳學單元教學中對學生內在動機、學習成就和自我效能的影響。研究結果顯示VR能提升學生的內在動機、學習成就和自我效能。Parong與Mayer (2018)在人體如何運作的主題中，發展VR軟體，藉由3D模組模擬人類粒線體、細胞膜或是細胞，以55名大學生為研究對象，探討VR教學對學生參與度、學習動機與學習成就的影響。研究

結果顯示學生在簡報教學的學習成就優於VR教學，但是學生經由VR教學在參與度和學習動機則優於簡報教學。Schneps等(2014)以美國高中152名學生為研究對象，探討太陽系VR軟體(Solar Walk app)是否能澄清學生在天文學中比例關係的迷思概念，研究結果顯示VR能藉由模擬的方式提供學生實際觀察星球間的距離，使學生更清楚天文學的尺度概念。吳延慶(2008)根據月亮的相關迷思概念發展3D VR教材，從臺北市一所國小三年級與四年級各選取三班分別分配在三個教學組，研究對象共185名學生，第一組為控制組採用一般教學；第二組為實驗組A，讓學生自行操作VR網站進行探究學習；第三組為實驗組B，教師先進行一般教學，學生再操作虛擬實境網站，研究結果顯示四年級學生自行操作虛擬實境網站的能力優於三年級的學生；教師先進行一般教學後，再讓學生自行操作VR網站的組別概念理解優於其他兩組。

綜觀上述，雖然已有研究以細胞的分裂為主題，發展細胞分裂VR行動軟體(Nasharuddin et al., 2021)，此VR行動軟體主要是利用網路免費圖片製作2D虛擬物件，利用拼圖互動方式呈現細胞分裂過程，且操作過程無法任意變換觀察的角度，缺乏臨場感和互動性。已有許多研究探討使用VR教學對學生概念學習的影響，部分研究結果顯示使用VR教學能提升學生的學習成就(Makransky & Petersen, 2019; Nasharuddin et al.)和概念理解(Schneps et al., 2014)，也有研究結果顯示VR教學無法提升學生的學習成就(Parong & Mayer, 2018)和概念理解(吳延慶，2008; Amiati, 2019)。另外，已有研究探討VR教學對學生學習動機和學習興趣的影響，研究結果顯示VR教學能提升學生的學習動機(Makransk & Petersen; Parong & Mayer)和學習興趣(Nasharuddin et al.)。

(二)AR應用在科學教學的實徵研究

Chen與Liu (2020)以化學的元素為主題，以臺灣104位國中學生為研究對象，探討使用AR對學生化學元素概念理解與興趣的影響，其中53位學生為AR動手操作組，51位學生為一般示範教學組，以化學元素概念測驗與興趣量表作為研究工具。研究結果顯示AR動手操作組的學生在概念理解以及興趣皆優於一般示範教學組的學生。Chiang等(2014)以水生植物為主題，研究對象為57位國小三到四年級學生，探討移動式AR對學生的學習成就、學習動機與認知負荷的影響，實驗組學生使用移動式AR進行教學，對照組學生進行一般教學，研究工具為水生植物成就測驗、學習動機量表和認知負荷量表。研究結果顯示使用AR教學能顯著提高學生的學習成就和學習動機，而AR教學組和一般教學組的學生在認知負荷沒有顯著差異。Ibáñez等(2015)以一系列的電學為主題，探討AR對學生的學習成就、學習動機與自我調節學習的影響，研究對象為未曾接觸過AR的40名西班牙七年級學生，將學生隨機分組，實驗組使用AR教學，對照組使用一般教學，研究工具為電學學習成就測驗、自我調節學習量表和Attention, Relevance, Confidence, and Satisfaction (ARCS)學習動機量表。研究結果顯示AR教學對學生在學習成就與自我調節能力和一般教學沒有顯著差異，然而AR教學在增進學生的學習動機顯著優於一般教學。Yoon等(2017)以伯努利原理為主要概念，探討使用AR對學生概念理解的影響，研究對象為58名國小五年級學生，將學生隨機分配成兩組，分別為使用AR組和沒有使用AR組，藉由概念問卷、開放性問卷和面談錄音紀錄蒐集資料，其中開放性問卷會根據學生的答案，使用李克特(Likert)五點量表轉換成分數。研究結果顯示AR能將複雜現象背後看不見的因果機制可視化，使

用AR組的學生在伯努利原理的概念理解顯著優於沒有使用AR組的學生。許一珍(2018)以八大行星為主題，研究對象為42名國小六年級學生，探討AR教學對學生學習動機與學習成效的影響，對照組利用圖卡講解8大行星，實驗組利用AR呈現8大行星。研究結果顯示圖卡教學和AR教學在學習成效和學習動機沒有顯著差異。

綜合上述研究，已有許多研究探討使用AR教學對學生科學概念學習的影響，部分研究結果顯示AR教學能提升學生的學習成就(Chiang et al., 2014)和概念理解(Chen & Liu, 2020; Yoon et al., 2017)，也有研究結果顯示AR教學無法提升學生的學習成就(許一珍，2018；Ibáñez et al., 2015)。另外，已有許多研究探討使用AR教學對學生的學習動機和興趣的影響，部分研究的研究結果顯示AR教學能提升學生的學習動機(Chiang et al.; Ibáñez et al.)和興趣(Chen & Liu)，也有研究結果顯示AR教學無法提升學生的學習動機(許一珍)。

(三)結合VR與AR在科學教學的實徵研究

謝旻儕與林語瑄(2017)將VR與AR技術導入醫療教學活動，探討VR與AR對醫學人員訓練成效的影響，研究結果顯示使用VR能建構符合人類視覺的虛擬物件和環境，而AR則使學習者能在真實環境中與虛擬物件進行互動，讓學習者能重複進行練習熟悉醫療的程序與步驟，減少臨床上因流程不熟悉而導致的醫療疏失，以及降低醫療人員養成的教學成本，有效提升醫療人員的訓練成效與品質，改善護理與病人的關係，提高臨床執行的效率。Rojas-Sola與Aguilera-García (2018)以10位大學生為研究對象，以切割水生植物裝置為主題，探討藉由VR與AR對學生瞭解古代裝置的影響，利用VR技術在Windows系統中模擬古代切割水草的裝置在水道運作中的情形，並利用AR技術藉由Android系統行動裝置，將學習者模擬的裝置具體化在真實的桌面，呈現出裝置的立體模型和細部構造，確認後再利用3D印表機將古代切割水草的裝置列印出來，研究結果顯示結合VR和AR技術進行教學，學習者可不需要花費昂貴的製作費用，即可瞭解古代裝置的運作情形；學習者可以在不同裝置安裝此應用軟體；應用軟體操作環境友善、容易操作，互動快速且容易理解。

綜觀上述，近來已有研究嘗試結合VR和AR技術應用在醫學訓練和古代儀器裝置教學，研究結果顯示結合VR和AR技術應用在教學，能提升訓練與培訓的效率(謝旻儕、林語瑄，2017)，也能降低教學成本(Rojas-Sola & Aguilera-García, 2018)，然而，截至目前少有研究結合VR和AR技術應用在科學教學。

參、研究方法

一、研究對象

本研究對象來自桃園市一所國民中學七年級四個班級的學生共100人，其中男生55人和女生45人，年齡介於11 ~ 13歲。

二、教學材料

以康軒版自然科學領域生物科七年級下學期「細胞的分裂」單元作為教學內容，此單元的教學目標為「瞭解基因、DNA與染色體的功能」、「瞭解同源染色體的基本定義」、「瞭解單、雙套染色體的定義與差異」、「瞭解細胞分裂的意義、過程以及結果」以及「瞭解減數分裂的意義、過程以及結果」(康軒文教事業，2021)。一般教學與細胞分裂學習系統教學使用的教學材料如下。

(一)一般教學

藉由板書、課文圖片、簡報和影片進行一般教學，例如：在遺傳物質的介紹，利用板畫配合課文圖片呈現染色體的構造，再利用簡報條列式整理染色體重點；在同源染色體的介紹，藉由圖片介紹同源染色體的概念，並利用板畫講解單套與雙套的差異；在細胞的分裂方式，藉由影片引起動機，板書搭配圖片講解內容並畫出細胞分裂與減數分裂的過程。

(二)細胞分裂學習系統教學

藉由平板、影片、簡報以及細胞分裂學習系統進行細胞分裂學習系統教學。

本研究使用的細胞分裂學習系統結合VR與AR技術，在系統設計時，專家小組7人含科技教育專家1人、科學教育專家1人、軟體工程師2人和國中生物資深教師3人定期開會討論如何在每一個主題依據不同的學習內容選擇較匹配的VR或AR獨特優勢，使能提供有利的學習環境，以幫助學生學習抽象和困難的科學概念。以下圖2呈現細胞分裂學習系統內容架構含有三個主題，分別為「遺傳物質的介紹」、「同源染色體的介紹」和「細胞的分裂方式」，也呈現在每個主題的不同學習內容和VR及AR的搭配情形。表1呈現細胞分裂學習系統裡在每個主題的科學概念、學習內容和VR及AR優勢的搭配情形。最後，逐一說明每個主題的不同學習內容如何應用VR和AR技術呈現特有的效果。

主題一「遺傳物質的介紹」，以VR呈現3D虛擬馬模組引起注意，如圖3，並藉由VR改變觀察視角的功能，將學生的視野角度逐漸縮小至進入生物體內直至細胞層級，使學生瞭解生物是由細胞組成。藉由AR在真實的環境顯示3D細胞模組，學生可以在真實的環境移動平板改變視角，經由不同的站位觀察細胞的內部構造與外觀，也可以點選進入細胞核，觸發物件轉換觀察的場景，如圖4。經由點選後以VR能夠呈現動態過程的功能，讓學生觀察染色質濃縮成染色體的過程，再利用VR改變視角呈現染色體內學生可以隨意翻轉的DNA模組，如圖5。

主題二「同源染色體的介紹」，以AR呈

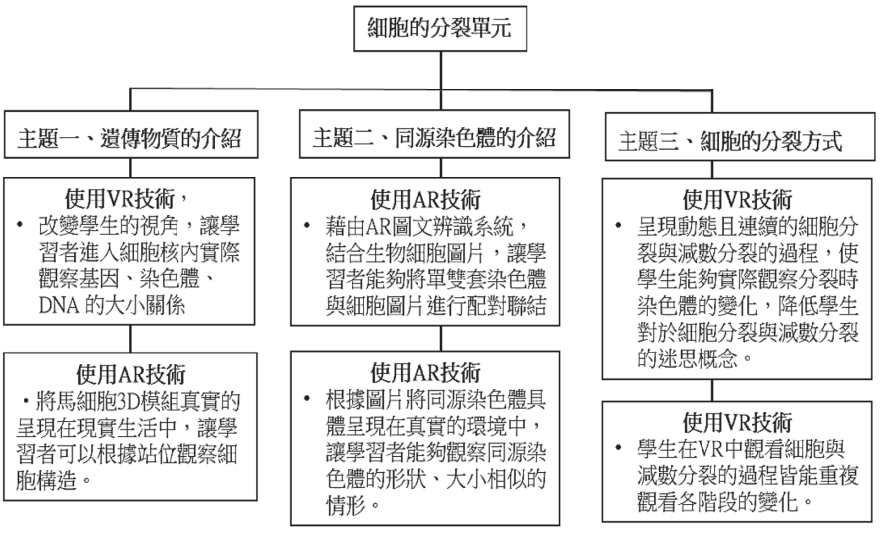


圖2：細胞分裂學習系統內容架構

表1：細胞分裂學習系統的主題、科學概念、學習內容與AR和VR優勢搭配表

主題	科學概念	學習內容	AR和VR優勢
遺傳物質的介紹	基因、DNA與染色體	染色體位於細胞核內，染色體是由DNA組成的。	藉由AR在真實的環境呈現細胞模組，並利用VR能夠改變觀察者視野角度的方式，逐一具體呈現遺傳物質，最後呈現的微觀物質DNA，可利用螢幕觸摸改變DNA的旋轉角度，觀察DNA的組成結構。
同源染色體的介紹	同源染色體的定義	同源染色體是大小、形狀相似的染色體。	藉由AR將微觀且成對的染色體具體化。
	雙套染色體的定義	生殖細胞內的染色體為單套染色體且非成對。	配合圖片細胞，以AR的方式將單、雙套染色體具體呈現在真實環境，以此強化單雙套染色體與細胞間的關係。
細胞的分裂方式	細胞分裂和減數分裂的過程與結果	細胞分裂的過程中，染色體複製一次、分裂一次以及產生兩個子細胞。 減數分裂的過程中，染色體複製一次、分裂兩次以及產生四個子細胞。	細胞分裂與減數分裂皆利用VR呈現動態且連續的分裂過程，在操作中學習者能夠自我控速，決定想要觀察的分裂階段，讓學習者觀察到不同階段的分裂過程。



圖3：利用VR呈現3D虛擬馬模組

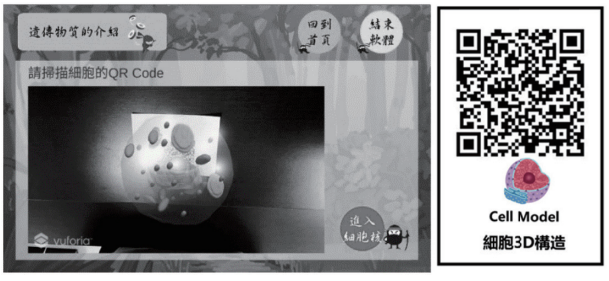


圖4：利用AR呈現細胞模組

現不同生物的同源染色體模組，在真實的環境觀察同源染色體在細胞內配對的情形，如圖6。

主題三「細胞的分裂方式」，藉由VR能夠呈現連續且動態過程的功能，模擬出細胞的分裂中染色體一連串的動態變化，讓學生能夠觀察細胞的分裂過程，以細胞產生生殖細胞的減數分裂為例，如圖7和圖8。

三、研究工具

(一)細胞的分裂二階段診斷測驗

本研究工具改編自楊坤原、張賴妙理(2004b)發展的「遺傳二階段診斷測驗」，另外參考Wang與Tseng (2018)在蒸發與凝結二階段診斷測驗中，每一個概念皆使用一題二階段試題檢測學生的概念理解。本研究依據「細胞的分裂」單元的科學概念，從「遺傳



圖5：利用VR讓學生翻轉的DNA模組

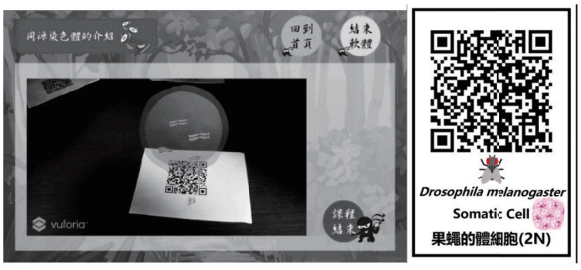


圖6：利用AR呈現3D果蠅同源染色體模組

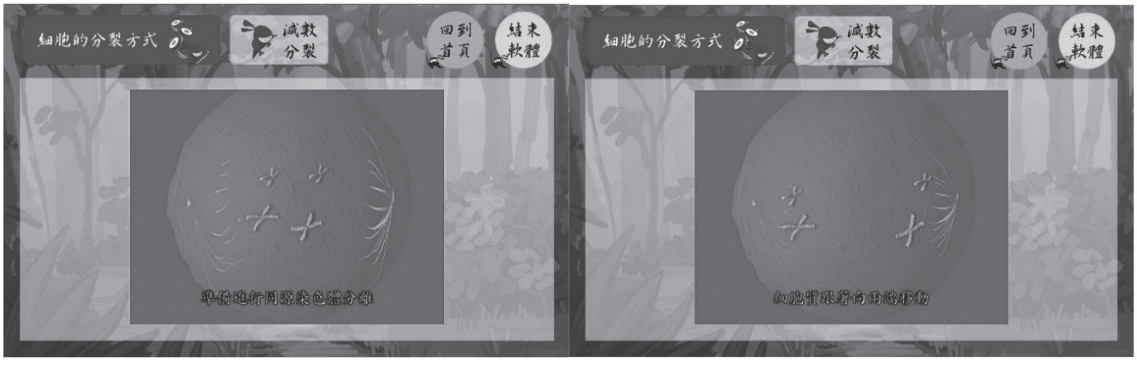


圖7：第一次減數分裂的同源染色體分離

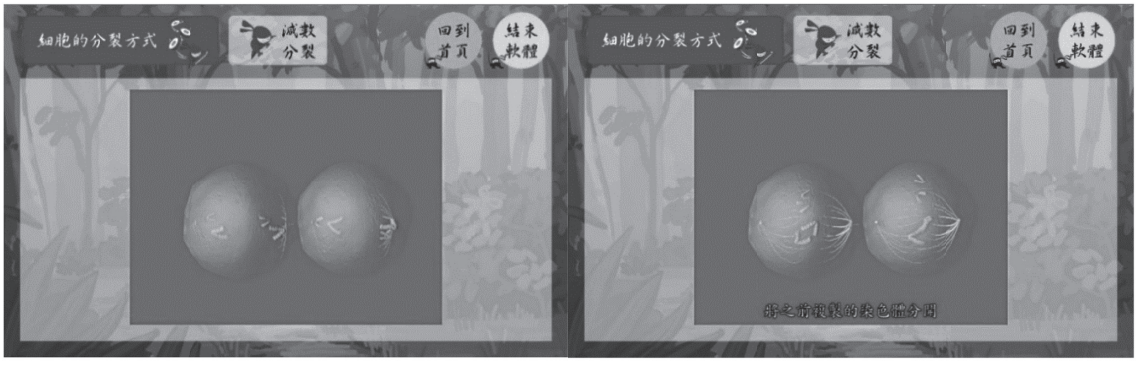


圖8：第二次減數分裂的複製染色體分離

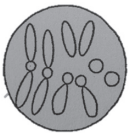
二階段診斷測驗」中挑選符合本研究學習內容的試題改編成「細胞的分裂二階段診斷測驗」共5題，試題題號對應的細胞分裂學習系統主題與科學概念如表2。試題經由專家小組檢視，專家小組五人包含一位科學教育學者和四位資深國中七年級自然科專任教師，以確認測驗題目是否符合單元目標與主要概念，直到專家小組意見達到一致，以確認內容效度。細胞的分裂二階段診斷測驗的信度係數Kuder-Richardson formula (*KR*-20)為.84。

表2：細胞分裂學習系統主題、科學概念與題號對照表

細胞分裂學習系統主題	科學概念	題號
遺傳物質的介紹	基因、DNA與染色體	3
同源染色體的介紹	同源染色體的定義	2
	雙套染色體的定義	4
細胞的分裂方式	細胞分裂的過程與結果	1
	減數分裂的過程與結果	5

「細胞的分裂二階段診斷測驗」範例試題如下：

4.根據染色體單、雙套的定義，我們可以判斷右圖的果蠅細胞，是屬於雙（兩）套染色體？你認為這段敘述是：



□對　　□錯

你選的理由是：

□(1)形狀、大小相同的染色體總共有四組，所以應為四套。

□(2)每一種同源染色體有兩條染色體，所以這個細胞有雙套染色體。

□(3)圖中有4條染色體排列的方向不同所以不能成對，因此此細胞不成套。

□(4)套數和對數是相同的意思，所以雙套染色體就是兩對染色體。

(二)科學學習動機量表

本研究的「科學學習動機量表」來自古芝如(2013)的「科學學習動機量表」，其量表參考Barak等(2011)所發展的科學學習動機量表修訂而成，本量表分成四個面向來探討學生的科學學習動機，分別為「自我效能」、「興趣和享受」、「日常生活相互關聯」、「對學生是重要的」，每個向度有5題，共20題。量表主要採用李克特的五點量表設計而成，分為「非常不同意」、「不同意」、「普通」、「同意」、「非常同意」，分別給予1、2、3、4、5分。本量表以55名國三學生進行施測，量表的Cronbach's α值為.88，具有良好的信度(George & Mallery, 2003)。

四、實驗設計

本研究將研究對象分成兩組，分別為一般教學組51人，進行一般教學，也就是傳統上經常使用的教學方法；細胞分裂學習系統教學組49人，進行細胞分裂學習系統教學，兩組皆由同一位生物科專任教師教學，教師教學流程簡述如下。

(一)一般教學

教師藉由相關影片以及生活中常見的現象引起動機，例如：受傷後傷口為什麼復原？引起動機後教師會利用板書與板畫講解科學概念，講解過程中也會利用課文中的圖片進行說明，學生需要在上課期間完成學習單，教師會利用約10分鐘統整並複習該主題的概念，藉由簡報將概念總結，並利用網站搶答系統——Kahoot!複習概念。

(二)細胞分裂學習系統教學

教師藉由相關影片以及生活中常見的現象引起動機，例如：受傷後傷口為什麼復原？引起動機後，教師會在課堂上利用約5分鐘的時間進行系統操作說明，學生利用具攝影功能的平板，依據主題以及主題內的系

統提示自行操作細胞分裂學習系統，操作時間約30分鐘，期間教師會巡視各組操作過程，若需要使用AR系統時，教師會提供相關的圖卡，讓學生自行使用具有攝影功能的平板操作。系統內有三個主題分別為遺傳物質的介紹、同源染色體的介紹以及細胞的分裂過程，學生每操作完一個主題，教師會利用約10分鐘統整並複習該主題的概念，藉由簡報將概念總結，並利用網站搶答系統——Kahoot!複習概念。

在教學前一週，一般教學組與細胞分裂學習系統教學組皆進行「細胞的分裂二階段診斷測驗」和「科學學習動機量表」前測，教學時間為三節課，每一節為45分鐘，共135分鐘，教學結束後進行「細胞的分裂二階段診斷測驗」和「科學學習動機量表」後測，「細胞的分裂二階段診斷測驗」與「科學學習動機量表」施測時間各為20分鐘。

五、資料蒐集與分析

(一)資料蒐集

本研究蒐集的資料包含「細胞的分裂二階段診斷測驗」前後測填答情形以及「科學學習動機量表」前後測分數。

(二)資料分析

1.細胞分裂學習系統對學生概念理解的影響

參考Özmen (2011)對概念理解類型的分類，將學生的「細胞的分裂」概念理解分為科學概念與迷思概念兩大類，若學生在「細胞的分裂二階段診斷測驗」試題的第一階和第二階問題皆回答正確代表具有正確的科學概念，而部分答對或全部答錯皆歸類為具有迷思概念，細胞的分裂二階段診斷測驗概念分類檢核表如表3，分類後再進行「細胞的分裂」單元整體概念與個別概念的分析。

表3：細胞的分裂二階段診斷測驗概念分類檢核表

第一階段	第二階段	概念類型
正確回答	正確回答	科學概念
正確回答	錯誤回答	迷思概念
錯誤回答	正確回答	迷思概念
錯誤回答	錯誤回答	迷思概念

(1)「細胞的分裂」單元整體概念的分析

將科學概念與迷思概念進行量化，若為科學概念得1分，若為迷思概念得0分，並將量化後的分數進行單因子共變數分析(one-way Analysis of Covariance, one-way ANCOVA)，以瞭解實驗教學後細胞分裂學習系統教學與一般教學對學生在「細胞的分裂」整個單元概念理解是否有顯著差異。

(2)「細胞的分裂」單元個別概念的分析

藉由學生在「細胞的分裂二階段診斷測驗」各題的答題結果換算成百分比，後測的科學概念百分比減去前測的科學概念百分比即為科學概念改變量，透過科學概念百分比改變量，分析學生從迷思概念轉變為科學概念的成效，另外，後測的答題結果以卡方檢定(chi-square)進行統計分析，以瞭解二組學生在各題概念理解是否有差異。以95%的信賴區間做為判定標準，經由二組調整後的殘差值，若大於1.96或低於-1.96表示教學法對學生概念理解產生顯著影響(Field, 2009)。

2.「科學學習動機量表」

以「科學學習動機量表」的前測分數為共變項，教學法為自變項，「科學學習動機量表」的後測分數為依變項，進行單因子ANCOVA，以瞭解實驗教學後，兩組學生科學學習動機是否有顯著差異。

肆、結果與討論

一、細胞分裂學習系統對學生概念理解的影響

(一)細胞分裂學習系統對學生在「細胞的分裂」整個單元概念理解的影響

一般教學組51人，後測調整後平均數為2.60，標準差為2.05；細胞分裂學習系統教學組49人，後測調整後平均數為4.22，標準差為1.94。由表4 ANCOVA摘要表得知$F(1,100) = 16.95$，$p < .001$，組別考驗效果達顯著，淨相關$\eta^2 = .15$，屬於高效果量(Cohen, 1988)，研究結果顯示使用細胞分裂學習系統教學對學生在「細胞的分裂」整個單元概念理解顯著優於一般教學。

(二)細胞分裂學習系統對學生在「細胞的分裂」個別概念理解的影響

表5為學生在「細胞的分裂二階段診斷測驗」前、後測的科學概念與迷思概念人數和百分比，將後測的科學概念百分比減去前測的科學概念百分比即為科學概念改變量，

表4：「細胞的分裂二階段診斷」測驗後測單因子共變數分析摘要表

變異來源	III平方和	自由度	F檢定	顯著性	淨相關η^2
前測分數	19.01	1	4.95^{*}	.03	.05
組別	65.09	1	16.95^{***}	< .001	.15
誤差	372.56	97			
總和	1611.00	100			

註：$^{*}p < .05$, $^{**}p < .01$, $^{***}p < .001$。

表5：二組在「細胞的分裂二階段診斷」各題的科學概念、迷思概念與科學概念改變量百分比

	一般教學($n = 51$)					細胞分裂學習系統教學($n = 49$)				
	前測		後測		改變量	前測		後測		改變量
各題概念類型	n	%	n	%	%	n	%	n	%	%
第一題										
科學概念	6	11.8	29	56.9	45.1	13	26.5	37	75.5	49.0
迷思概念	45	88.2	22	43.1		36	73.5	12	24.5	
第二題										
科學概念	7	13.7	19	37.3	23.6	5	10.2	36	73.5	63.3
迷思概念	44	86.3	32	62.7		44	89.8	13	26.5	
第三題										
科學概念	4	7.8	13	25.5	17.7	4	8.2	26	53.1	44.9
迷思概念	47	92.2	38	74.5		45	91.8	23	46.9	
第四題										
科學概念	11	21.6	22	43.1	21.5	13	26.5	32	65.3	38.8
迷思概念	40	78.4	29	56.9		36	73.5	17	34.7	
第五題										
科學概念	3	5.9	15	29.4	23.5	5	10.2	25	51.0	48.8
迷思概念	48	94.1	36	70.6		44	89.8	24	49.0	

再透過科學概念改變量，分析學生從迷思概念轉變為科學概念的成效。表5中的第一題對應的科學概念為細胞分裂的過程與結果；第二題對應的科學概念為同源染色體的定義；第三題對應的科學概念為基因、DNA與染色體；第四題對應的科學概念為雙套染色體的定義；第五題對應的科學概念為減數分裂的過程與結果。

圖9顯示第一題至第五題學生在實驗組和對照組科學概念改變量的折線圖，研究結果顯示細胞分裂學習系統教學似乎比一般教學對學生在「細胞的分裂」個別概念都有較多的科學概念改變量。

細胞的分裂二階段診斷測驗第一題的後測答題表現經由chi-square分析，細胞分裂學習系統教學在科學概念的$\chi^2(1, 100) = 10.82$，$p = .001 < .05$，由表6可知調整後殘差值為3.3，研究結果顯示細胞分裂學習系統教學對學生在「細胞分裂的過程與結果」概念理解顯著優於一般教學。吳延慶(2008)指出藉由VR能夠動態且連續的具體化月球運動的過程，有助學生對於抽象概念的理解，推測表現較佳的可能原因為VR能將微觀物質可視化，還能模擬連續性的動態過程。本研究所使用的細胞分裂學習系統也是利用上述VR的優勢，模擬出細胞分裂的連續過程，學生能夠以旁觀者的角度觀察細胞分裂時的細部連續變化，細胞分裂期間輔以語音與文字說明，有助學習者理解細胞分裂的過程。

細胞的分裂二階段診斷測驗第二題的後測答題表現經由chi-square分析，細胞分裂學習系統教學在科學概念的$\chi^2(1, 100) = 13.24$，$p = .001 < .05$，由表7可知調整後殘差值為3.6，研究結果顯示細胞分裂學習系統教學對學生在「同源染色體的定義」概念理解顯著優於一般教學。

本研究結果與Chen與Liu (2020)的研究結果相似，Chen與Liu認為AR能在真實的環境中將微觀分子具體化，讓學生在真實的環境中觀察分子的細部構造，幫助學生對於分子結構的概念理解。而本研究使用AR能有較佳學習效果的可能原因為同源染色體是一種微觀的物質，在正常情況下只能從顯微鏡中看到平面的圖形，有時使用複式顯微鏡進行觀

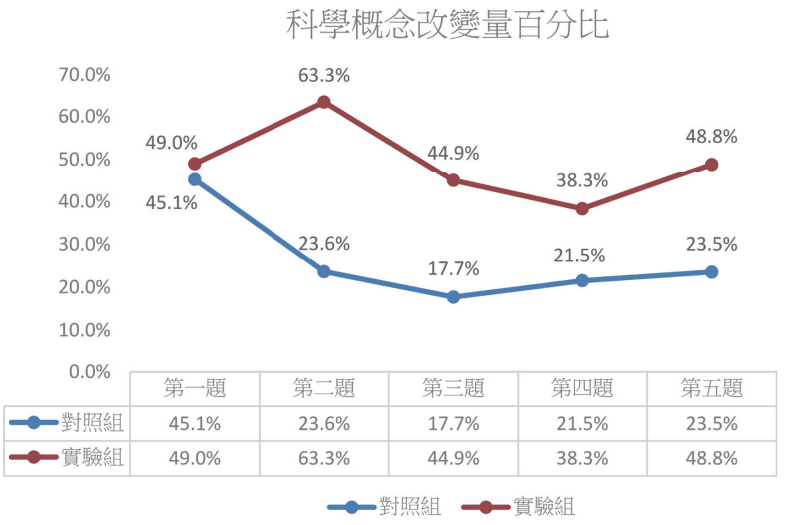


圖9：二組在「細胞的分裂二階段診斷測驗」各題前後測的科學概念改變量百分比

表6：第一題後測chi-square列聯表

組別	概念類型		人數合計
	迷思概念	科學概念	
第一題			
一般教學(百分比)	22 (43.1%)	29 (56.9%)	51
(調整後殘差)	(3.3)	(-3.3)	
細胞分裂學習系統教學(百分比)	12 (24.5%)	37 (75.5%)	49
(調整後殘差)	(-3.3)	(3.3)	
人數總計	59	41	100

表7：第二題後測chi-square列聯表

組別	概念類型		人數合計
	迷思概念	科學概念	
第二題			
一般教學(百分比)	32 (62.7%)	19 (37.3%)	51
(調整後殘差)	(3.6)	(-3.6)	
細胞分裂學習系統教學(百分比)	13 (26.5%)	36 (73.5%)	49
(調整後殘差)	(-3.6)	(3.6)	
人數總計	45	55	100

察時，也只能看到一團粗絲狀的染色體正準備分裂，學生很難經由傳統實驗觀察到的現象判斷同源染色體，而使用細胞分裂學習系統，能夠藉由AR的技術配合教學內容——遺傳物質的介紹，掃描圖卡中的QR code，使不同生物細胞染色體的分布情形呈現在真實環境中，並讓學生能夠在真實的環境中找到細胞核中大小形狀相似的同源染色體，並進行比對。

細胞的分裂二階段診斷測驗第三題的後測答題表現經由chi-square分析，細胞分裂學習系統教學在科學概念的$\chi^2(1, 100) = 7.99$，$p = .005 < .05$，由表8可知調整後殘差值為2.8，研究結果顯示細胞分裂學習系統教學對學生的「基因、DNA與染色體」概念理解顯著優於一般教學組。Mintz等(2001)認為在天文的學習中藉由VR創造的太陽系動態3D模型，可將很難實地觀察的太陽系可視化，並讓學習者進入虛擬的天文世界中，隨心所欲地放大或縮小自己觀察的尺度，幫助學習者澄清太陽系相關的迷思概念。本研究推測使用細胞分裂學習系統教學比一般教學有較佳概念理解的可能原因為DNA是十分微小的遺傳分子，學生很難用肉眼去觀察，藉由VR能夠改變視角，將學生的視角從整隻會動的虛擬馬身上，逐漸縮小到細胞的層級，甚至再縮小至能看到DNA結構，藉由不同視角尺度變化，讓學生感受到DNA、染色體、細胞核的大小差異，縮小的過程中配合AR讓微觀的物體呈現在真實環境中，學生能夠在真實的環境移動，以不同的角度觀察細胞的構造，並觀看遺傳物質在細胞的位置，再利用VR增加互動性，學習者能夠藉由移動DNA模組，增加學生對於DNA結構的理解。

細胞的分裂二階段診斷測驗第四題的後測答題表現經由chi-square分析，細胞分裂學

表8：第三題後測chi-square列聯表

組別	概念類型		人數合計
	迷思概念	科學概念	
第三題			
一般教學(百分比)	38 (92.2%)	13 (7.8%)	51
(調整後殘差)	(2.8)	(-2.8)	
細胞分裂學習系統教學(百分比)	23 (46.9%)	26 (53.1%)	49
(調整後殘差)	(-2.8)	(2.8)	
人數總計	61	39	100

習系統教學在科學概念的$\chi^2(1, 100) = 4.94$，$p = .026 < .05$，由表9可知調整後殘差值為2.2，研究結果顯示細胞分裂學習系統教學對學生的「雙套染色體的定義」概念理解顯著優於一般教學。推測細胞分裂學習系統教學與一般教學組對於「雙套染色體的定義」概念理解有顯著差異的原因，在於細胞分裂學習系統藉由AR技術將傳統實驗室很難利用光學顯微鏡觀察到的染色體配對微觀情形可視化，此與Tarng等(2022)的研究結果相似，Tarng等指出藉由AR卡片進行虛擬化學反應實驗，呈現出微觀的化學變化過程，最後呈現出微觀的反應物結構，有助學生學習。

染色體是一種微觀的物質，在細胞分裂學習系統教學上，教師可以在教學時，先利用細胞分裂學習系統中的主題一的VR詳細介紹染色體的外型與構造，再利用主題二的AR搭配各種生物細胞卡牌，使學生能夠藉由圖卡在真實的環境中觀察到成對的染色體，這些成對的染色體在細胞中大小、形狀相似互為同源染色體，教師在學生觀察後進行補充說明每一種同源染色體有兩條時稱此細胞核內為雙套染色體，若學生藉由AR觀察到有些圖卡呈現的染色體不成對出現在細胞核內，則可補充說明此時細胞核內為單套染色體。本研究發現學習者可藉由觀察佐證教師的補充說明，將不同種類細胞圖卡與染色體單雙套概念進行連結，進而增加對於單雙套概念的理解。

細胞的分裂二階段診斷測驗第五題的後測答題表現經由chi-square分析，細胞分裂學習系統教學在科學概念的$\chi^2(1, 100) = 4.86$，$p = .03 < .05$，由表10可知調整後殘差值為2.2，研究結果顯示細胞分裂學習系統教學對學生的「減數分裂的過程與結果」概念理解顯著優於一般教學。推測有較佳學習表現的可能

表9：第四題後測chi-square列聯表

組別	概念類型		人數合計
	迷思概念	科學概念	
第四題			
一般教學(百分比)	29 (56.9%)	22 (43.1%)	51
(調整後殘差)	(2.2)	(-2.2)	
細胞分裂學習系統教學(百分比)	17 (34.7%)	32 (65.3%)	49
(調整後殘差)	(-2.2)	(2.2)	
人數總計	56	54	100

表10：第五題後測chi-square列聯表

組別	概念類型		人數合計
	迷思概念	科學概念	
第五題			
一般教學(百分比)	36 (70.6%)	15 (29.4%)	51
(調整後殘差)	(2.2)	(-2.2)	
細胞分裂學習系統教學(百分比)	24 (49.0%)	25 (51.0%)	49
(調整後殘差)	(-2.2)	(2.2)	
人數總計	56	54	100

原因為細胞分裂學習系統能藉由VR呈現連續動態的減數分裂過程，有助學習者實際觀察到減數分裂的過程，在觀察的階段學習者能夠利用VR自我調整學習的速度，學習者可以調整觀看減數分裂的速度與階段，增加對於減數分裂概念的理解，此研究結果與吳延慶(2008)的研究結果相似，吳延慶指出VR的動態特性能夠呈現月亮運行的過程，使學習者能夠看到月亮運作的動態變化，進而提升學習者對於月亮運行概念的理解。

表11統整上述五題的chi-square分析結果，研究結果顯示細胞分裂學習系統教學對促進學生在「細胞的分裂」個別概念理解，例如：「細胞分裂的過程與結果」、「同源染色體的定義」、「基因、DNA與染色體」、「雙套染色體的定義」和「減數分裂的過程與結果」皆顯著優於一般教學。

在主題一「遺傳物質」藉由AR觀察到染色體位於細胞核內，並利用VR改變學習者觀察的角度，使可以實際觀察到染色體與DNA之間的大小關係。在主題二「同源染色體」利用AR可以將虛擬物件投射到真實環境的優勢，使不同細胞的虛擬染色體樣貌對應不同的細胞圖卡投射到真實環境中，讓學生能自由的移動腳步從不同角度觀察染色體在細胞中的結構、數量以及配對情形，幫助學生理解染色體是如何配對成同源染色體。在主題三「細胞的分裂方式」利用VR呈現動態且連續的分裂過程以及將微觀的DNA等遺傳物質可視化、具體化，能讓學生用微觀的尺度親眼看到細胞分裂以及減數分裂的過程，學生也可以選擇想要觀看的分裂階段，加深對細胞分裂與減數分裂的理解。

本研究發現細胞分裂學習系統以VR與AR技術的獨特優勢，搭配不同概念的特性，能有效提升學生的概念理解。

表11：二組在「細胞的分裂二階段診斷測驗」各題後測chi-square分析結果統整表

主題	題號	技術	科學概念	χ^2	chi-square分析結果
遺傳物質的介紹	3	AR、VR	基因、DNA與染色體	7.99^{**}	細胞分裂學習系統教學 > 一般教學
同源染色體的介紹	2	AR	同源染色體的定義	13.24^{***}	細胞分裂學習系統教學 > 一般教學
	4	AR	雙套染色體的定義	4.94^{*}	細胞分裂學習系統教學 > 一般教學
細胞的分裂方式	1	VR	細胞分裂的過程與結果	10.82^{***}	細胞分裂學習系統教學 > 一般教學
	5	VR	減數分裂的過程與結果	4.86^{*}	細胞分裂學習系統教學 > 一般教學

註：$^{*}p < .05$, $^{**}p < .01$, $^{***}p < .001$。

二、細胞分裂學習系統對學生科學學習動機的影響

以「科學學習動機量表」的前測分數為共變項，後測分數為依變項，進行獨立樣本單因子ANCOVA，以瞭解學生在科學學習動機的成效。一般教學組為51人，後測調整後平均數為64.64，標準差為13.59。細胞分裂學習系統教學組為49人，後測調整後平均數為59.66，標準差為13.99。

由表12得知組別考驗效果達顯著差異 $F(1, 100) = 4.21$，$p = .04 < .05$，淨相關$\eta^2 = .24$，屬於高效果量(Cohen, 1988)，研究結果顯示細胞分裂學習系統教學對學生科學學習動機顯著優於一般教學。本研究結果和Tarng等(2022)的研究結果相似，Tarng等認為AR能夠在真實的環境中觀察到微觀的化學分子，配合任務與操作，能夠增加學生學習的動機。而推測本研究能提升科學學習動機的可能原因為細胞分裂學習系統能藉由AR與VR技術呈現微觀的遺傳物質，讓學生能與虛擬物件互動，這些互動能夠引起學生觀察的興趣，進而增加學習動機，例如：學生藉由AR能夠在真實的環境任意移動平板，改變視角觀察細胞的構造；學生藉由VR能夠在虛擬的環境任意翻轉DNA結構。

伍、結論與建議

一、結論

使用細胞分裂學習系統教學對學生在「細胞的分裂」整個單元概念理解顯著優於一般教學，也有助提升學生在「細胞的分裂」個別概念理解，例如：「細胞分裂的過程與結果」、「同源染色體的定義」、「基因、DNA與染色體」、「雙套染色體的定義」和「減數分裂的過程與結果」。本學習系統結合VR及AR優勢能夠有效幫助學生理解「細胞的分裂」單元內不同特性的概念，例如：VR可提供染色體微觀移動的過程，使學生在虛擬環境中觀察染色體複製與向細胞兩極移動的過程，最後產生多個細胞，而AR技術可和真實空間結合，讓學生可從不同的角度觀察染色體的構造。

使用細胞分裂學習系統教學對學生的科學學習動機顯著優於一般教學。本學習系統讓學生能夠親身體驗細胞的分裂過程，看到微觀的遺傳物質，能夠加深學生更具體的感受，也能夠讓學生具有參與感，使課程不只有教師的講述，而是讓學生親自與概念互動，進而增加他們的科學學習動機。

二、建議

在過去研究中發現VR和AR具有優勢，能夠幫助學習者進行學習，例如：VR能夠呈現具有連續且動態的概念，並使學習者能夠

表12：「科學學習動機量表」共變數分析摘要表

變異來源	III平方和	自由度	F檢定	顯著性	淨相關η^2
前測分數	4404.26	1	29.97^{***}	.001	.27
組別	619.08	1	4.21^{*}	.040	.24
誤差	14254.16	97			
總和	404896.00	100			

註：$^{*}p < .05$, $^{***}p < .001$。

在虛擬的環境中與微觀的分子互動；AR能夠在真實環境中觀察微觀分子的細部構造，而在本研究中發現「細胞的分裂」單元內包含的抽象概念有「同源染色體的定義」、「減數分裂的過程與結果」等概念，這些概念具有不同的特性，「同源染色體的定義」概念可以藉由AR呈現，讓學生瞭解同源染色體來自於真實環境中的何種細胞以及能夠在真實的環境中去觀察同源染色體細部的外型大小；「減數分裂的過程與結果」概念的連續性與動態性則可藉由VR呈現難以觀察到微觀連續動態的分裂過程等。本研究將不同特性的概念搭配適當的AR或VR優勢進行教學，能夠使學生在此單元有較佳的學習成效，然而過去鮮少有研究探討學習系統內結合VR和AR對學生科學學習的效益。因此建議未來教學者若利用VR與AR的優勢搭配教材的特性，在自然科學中較難以觀察且抽象具有動態性的單元，如：電磁學、血液循環的過程、動物消化吸收的過程等單元，開發同時具有VR和AR的學習系統。

現今數位媒材的發展趨勢偏向學生自主學習，雖然本研究使用的學習系統有在各主題的開頭說明目標與操作流程，但是多數環節仍然需要老師的提示以及引導，因此建議未來的學習系統可以設計能讓學生更容易進行自主學習，例如：增加示範操作或是練習操作等講解的實際練習機制或影像。

誌謝

本研究感謝科技部經費補助(MOST 108-2511-H-007-009-)，並經審查委員提供寶貴意見，在此特致謝忱。

參考文獻

古芝如(2013)。**探討靜態、動態、結合動靜態視覺表徵融入教學對國小學生科學學習成就和科學學習動機的影響**。未出版之碩士論文。國立新竹教育大學。

[Gu, Z.-R. (2013). *A comparative study of the effects of static and dynamic visualization teaching methods on elementary school students' science achievement and motivation to learn science* [Unpublished master thesis]. National Hsinchu University of Education.]

吳文龍、唐尉天、徐俊龍(2018)。擴增實境(Augmented Reality)於國中小微觀粒子教學之應用與展望。**科學教育月刊**，**408**，20-26。https://doi.org/10.6216/SEM.201805_(408).0002

[Wu, W.-L., Tang, W.-T., & Hsu, C.-L. (2018). Kuozeng shijing (Augmented Reality) yu guozhongxiao weiguan lizi jiaoxue zhi yingyong yu zhanwang. *Science Education Monthly*, *408*, 20-26. https://doi.org/10.6216/SEM.201805_(408).0002]

吳延慶(2008)。**國小自然與生活科技領域虛擬實境網路數位教材開發與設計——以「月亮迷思概念教學網站」為例**。未出版之碩士論文。國立臺北教育大學。

[Wu, Y.-C. (2008). *The design and construction of the virtual reality web-based digital aterials in the field of nature science and life technology for the elementary school—The Moon misconceptions instruction website* [Unpublished master thesis]. National Taipei University of Education.]

邱美虹(2000)。概念改變研究的省思與啟示。**科學教育學刊**，**8**(1)，1-34。https://doi.org/10.6173/CJSE.2000.0801.01

[Chiu, M.-H. (2000). Reflections and implications of research on conceptual change. *Chinese Journal of Science Education*, *8*(1), 1-34. https://doi.org/10.6173/CJSE.2000.0801.01]

周惠柔、林弘昌(2018)。應用虛擬實境技術與6E教學模式於高中生活科技課程之結構教學單元設計。**科技與人力教育季刊**，**4**(3)，67-89。https://doi.org/10.6587/JTHRE.201803_4(3).0004

[Chou, H.-J., & Lin, H.-C. (2018). Applying virtual reality application with 6E instructional model in living technology at high school: A case study of construction design. *Keji yu Renli Jiaoyu Jikan*, *4*(3), 67-89. https://doi.org/10.6587/JTHRE.201803_4(3).0004]

許一珍(2018)。學童使用擴增實境之學習動機與學習成效研究——以八大行星學習為例。**國際數位媒體設計學刊**，**10**(1)，32-38。https://doi.org/10.29465/IJDMD.201806_10(1).0004

[Hsu, Y.-C. (2018). A study on learning motivation and learning effectiveness of students using augmented reality—A case study of eight planets learning. *International Journal of Digital Media Design*, *10*(1), 32-38. https://doi.org/10.29465/IJDMD.201806_10(1).0004]

康軒文教事業 (2021)。《自然科學國民中學第二冊備課用書》(初版)。作者。

[Kang Hsuan Educational Publishing. (2021). *Ziran kexue guomin zhongxue dierce beike yongshu*. Author.]

楊坤原、張賴妙理(2004a)。遺傳學迷思概念之文獻探討及其在教學上的啓示。**科學教育學刊**，**12**(3)，365-398。https://doi.org/10.6173/CJSE.2004.1203.05

[Yang, K.-Y., & Changlai, M.-L. (2004a). Literature review of genetics misconceptions and its implications on instruction. *Chinese Journal of Science Education*, *12*(3), 365-398. https://doi.org/10.6173/CJSE.2004.1203.05]

楊坤原、張賴妙理(2004b)。發展和應用二段式診斷工具來偵測國中一年級學生之遺傳學另有概念。**科學教育學刊**，**12**(1)，107-131。https://doi.org/10.6173/CJSE.2004.1201.05

[Yang, K.-Y., & Changlai, M.-L. (2004b). Development and application of a two-tier diagnostics instrument to assess seventh grade students' alternative conceptions of genetics. *Chinese Journal of Science Education*, *12*(1), 107-131. https://doi.org/10.6173/CJSE.2004.1201.05]

楊凱悌、王子華、邱美虹(2011)。生物學細胞分裂主題之資訊融入教學設計原則。**科學教育月刊**，**342**，9-19。https://doi.org/10.6216/SEM.201109_(342).0002

[Yang, K.-T., Wang, T.-H., & Chiu, M.-H. (2011). Shengwuxue xibao fenlie zhuti zhi zixun rongru jiaoxue sheji yuanze. *Science Education Monthly*, *342*, 9-19. https://doi.org/10.6216/SEM.201109_(342).0002]

謝旻儕、林語瑄(2017)。虛擬實境與擴增實境在醫護實務與教育之應用。**護理雜誌**，**64**(6)，12-18。https://doi.org/10.6224/JN.000078

[Hsieh, M.-C., & Lin, Y.-H. (2017). VR and AR applications in medical practice and education. *The Journal of Nursing*, *64*(6), 12-18. https://doi.org/10.6224/JN.000078]

Amiati, A. (2019). The effect of virtual reality laboratory on conceptual understanding in electrolytes and non-electrolytes. *Journal of Education and Learning (EduLearn)*, *13*(3), 362-369. https://doi.org/10.11591/edulearn.v13i3.13572

Ausburn, L. J., & Ausburn, F. B. (2004). Desktop virtual reality: A powerful new technology for teaching and research in industrial teacher education. *Journal of Industrial Teacher Education*, *41*(4), 1-16.

Azuma, R. T. (1997). A survey of augmented reality. *Presence: Teleoperators and Virtual Environments*, *6*(4), 355-385. https://doi.org/10.1162/pres.1997.6.4.355

Bahar, M. (2003). Misconceptions in biology education and conceptual change strategies. *Educational Sciences: Theory & Practice*, *3*(1), 55-64.

Banet, E., & Ayuso, E. (2000). Teaching genetics at secondary school: A strategy for teaching about the location of inheritance information. *Science Education*, *84*(3), 313-351. https://doi.org/10.1002/(SICI)1098-237X(200005)84:3%3C313::AID-SCE2%3E3.0.CO;2-N

Barak, M., Ashkar, T., & Dori, Y. J. (2011). Learning science via animated movies: Its effect on students' thinking and motivation. *Computers & Education*, *56*(3), 839-846. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.10.025

Bimber, O., & Raskar, R. (2005). *Spatial augmented reality: Merging real and virtual worlds*. A K Peters/CRC. https://doi.org/10.1201/b10624

Burdea, G. C., & Coiffet, P. (2003). *Virtual reality technology* (2nd ed.). John Wiley & Sons.

Cai, S., Chiang, F.-K., Sun, Y., Lin, C., & Lee, J. J. (2017). Applications of augmented reality-based natural interactive learning in magnetic field instruction. *Interactive Learning Environments*, *25*(6), 778-791. https://doi.org/10.1080/10494820.2016.1181094

Chen, S.-Y., & Liu, S.-Y. (2020). Using augmented reality to experiment with elements in a chemistry course. *Computers in Human Behavior*, *111*, Article 106418. https://doi.org/10.1016/j.chb.2020.106418

Chi, M. T. H. (2005). Commonsense conceptions of emergent processes: Why some misconceptions are robust. *Journal of the Learning Sciences*, *14*(2), 161-199. https://doi.org/10.1207/s15327809jls1402_1

Chiang, T. H. C., Yang, S. J. H., & Hwang, G.-J. (2014). An augmented reality-based mobile learning system to improve students' learning achievements and motivations in natural science inquiry activities. *Educational Technology & Society*, *17*(4), 352-365.

Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Routledge. https://doi.org/10.4324/9780203771587

Cooper, A., & Poinar, H. N. (2000). Ancient DNA: Do it right or not at all. *Science*, *289*(5482), 1139. https://doi.org/10.1126/science.289.5482.1139b

Dalgarno, B., Hedberg, J., & Harper, B. (2002). The contribution of 3D environments to conceptual understanding. In O. J. McKerrow (Ed.), *Winds of change in the sea of learning: Proceedings of the 19th annual conference of the Australasian Society for Computers in Learning in Tertiary Education* (Vol. 1, pp. 149-158). UNITEC, Institute of Technology.

Dunleavy, M., Dede, C., & Mitchell, R. (2009). Affordances and limitations of immersive participatory augmented reality simulations for teaching and learning. *Journal of Science Education and Technology*, *18*(1), 7-22. https://doi.org/10.1007/s10956-008-9119-1

El Sayed, N. A. M., Zayed, H. H., & Sharawy, M. I. (2010). ARSC: Augmented reality student card. In IEEE (Ed.), *2010 International Computer Engineering Conference* (ICENCO) (pp. 113-120). IEEE. https://doi.org/10.1109/ICENCO.2010.5720437

Field, A. (2009). *Discovering statistics using SPSS* (3rd ed.). Sage.

Fisher, K. M., Wandersee, J. H., & Moody, D. E. (2002). *Mapping biology knowledge*. Springer. https://doi.org/10.1007/0-306-47225-2

George, D., & Mallery, P. (2003). *SPSS for Windows step by step: A simple guide and reference, 11.0 update* (4th ed.). Allyn & Bacon.

Ibáñez, M.-B., Di-Serio, Á., Villarán-Molina, D., & Delgado-Kloos, C. (2015). Augmented reality-based simulators as discovery learning tools: An empirical study. *IEEE Transactions on Education*, *58*(3), 208-213. https://doi.org/10.1109/TE.2014.2379712

Jacobson, R. (1993). After the "virtual reality" gold rush: The virtual worlds paradigm. *Computers & Graphics*, *17*(6), 695-698. https://doi.org/10.1016/0097-8493(93)90120-X

Kancherla, A. R., Rolland, J. P., Wright, D. L., & Burdea, G. (1995). A novel virtual reality tool for teaching dynamic 3D anatomy. In N. Ayache. (Ed.), *Computer vision, virtual reality, and robotics in medicine* (pp. 163-169). Springer. https://doi.org/10.1007/978-3-540-49197-2_18

Kock, N. (2006). Book review: Virtual reality technology. *International Journal of e-Collaboration*, *2*(1), 61-64.

Lazarowitz, R., & Penso, S. (1992). High school students' difficulties in learning biology concepts. *Journal of Biological Education*, *26*(3), 215-223. https://doi.org/10.1080/00219266.1992.9655276

Lewis, J., & Wood-Robinson, C. (2000). Genes, chromosomes, cell division and inheritance—Do students see any relationship? *International Journal of Science Education*, *22*(2), 177-195. https://doi.org/10.1080/095006900289949

Limniou, M., Roberts, D., & Papadopoulos, N. (2008). Full immersive virtual environment CAVE™ in chemistry education. *Computers & Education*, *51*(2), 584-593. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2007.06.014

Makransky, G., & Petersen, G. B. (2019). Investigating the process of learning with desktop virtual reality: A structural equation modeling approach. *Computers & Education*, *134*, 15-30. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2019.02.002

Milgram, P., & Kishino, F. (1994). A taxonomy of mixed reality visual displays. *IEICE Transactions on Information and Systems*, *E77-D*(12), 1321-1329.

Mintz, R., Litvak, S., & Yair, Y. (2001). 3D-virtual reality in science education: An implication for astronomy teaching. *Journal of Computers in Mathematics and Science Teaching*, *20*(3), 293-305.

Nasharuddin, N. A., Khalid, N. A., & Hussin, M. (2021). InCell VR: A virtual reality-based application on human cell division for mobile learning. *International Journal of Interactive Mobile Technologies*, *15*(2), 55-71. https://doi.org/10.3991/ijim.v15i02.18049

Novak, J. D., & Gowin, D. B. (1988). *Aprendiendo a aprender*. Martínez roca.

Ozcan, T., Yildirim, O., & Ozgur, S. (2012). Determining of the university freshmen students' misconceptions and alternative conceptions about mitosis and meiosis. *Procedia—Social and Behavioral Sciences*, *46*, 3677-3680. https://doi.org/10.1016/j.sbspro.2012.06.126

Özmen, H. (2011). Effect of animation enhanced conceptual change texts on 6th grade students' understanding of the particulate nature of matter and transformation during phase changes. *Computers & Education*, *57*(1), 1114-1126. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2010.12.004

Öztap, H., Özay, E., & Öztap, F. (2003). Teaching cell division to secondary school students: An investigation of difficulties experienced by Turkish teachers. *Journal of Biological Education*, *38*(1), 13-15. https://doi.org/10.1080/00219266.2003.9655890

Papagiannakis, G., Singh, G., & Magnenat-Thalmann, N. (2008). A survey of mobile and wireless technologies for augmented reality systems. *Computer Animation and Virtual Worlds*, *19*(1), 3-22. https://doi.org/10.1002/cav.221

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

Rojas-Sola, J. I., & Aguilera-García Á. (2018). Virtual and augmented reality: Applications for the learning of technical historical heritage. *Computer Applications in Engineering Education*, *26*(5),1725-1733. https://doi.org/10.1002/cae.22039

Schneps, M. H., Ruel, J., Sonnert, G., Dussault, M., Griffin, M., & Sadler, P. M. (2014). Conceptualizing astronomical scale: Virtual simulations on handheld tablet computers reverse misconceptions. *Computers & Education*, *70*, 269-280. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.09.001

Schnotz, W., & Preuß, A. (1999). 7 Task-dependent construction of mental models as a basis for conceptual change. *Advances in Psychology*, *128*, 131-167. https://doi.org/10.1016/S0166-

4115(99)80051-X

Sesli, E., & Kara, Y. (2012). Development and application of a two-tier multiple-choice diagnostic test for high school students' understanding of cell division and reproduction. *Journal of Biological Education*, *46*(4), 214-225. https://doi.org/10.1080/00219266.2012.688849

Squire, K., Barnett, M., Grant, J. M., & Higginbotham, T. (2004). Electromagnetism supercharged! Learning physics with digital simulation games. In Y. B. Kafai, W. A. Sandoval, N. Enyedy, A. S. Nixon, & F. Herrera (Eds.), *International Conference of the Learning Sciences 2004: Embracing diversity in the learning sciences* (pp. 513-520). Erlbaum. https://reurl.cc/zAkpN6

Stull, A. T., & Hegarty, M. (2015). Learning with concrete and virtual manipulative models: Are models scaffolds or crutches? In D. C. Noelle, R. Dale, A. S. Warlaumont, J. Yoshimi, T. Matlock, C. D. Jennings, & P. P. Maglio (Eds.), *37th Annual Meeting of the Cognitive Science Society* (CogSci 2015) (p. 2995). Cognitive Science Society.

Tarng, W., Tseng, Y.-C., & Ou, K.-L. (2022). Application of augmented reality for learning material structures and chemical equilibrium in high school chemistry. *Systems*, *10*(5), 141. https://doi.org/10.3390/systems10050141

Wang, T.-L., & Tseng, Y.-K. (2018). The comparative effectiveness of physical, virtual, and virtual-physical manipulatives on third-grade students' science achievement and conceptual understanding of evaporation and condensation. *International Journal of Science and Mathematics Education*, *16*(2), 203-219. https://doi.org/10.1007/s10763-016-9774-2

Wexelblat, A. (1993). The reality of cooperation: Virtual reality and CSCW. In A. Wexelblat (Ed.), *Virtual reality: Applications and explorations* (pp. 23-44). Academic Press. https://doi.org/10.1016/B978-0-12-745045-2.50010-6

Wojciechowski, R., & Cellary, W. (2013). Evaluation of learners' attitude toward learning in ARIES augmented reality environments. *Computers & Education*, *68*, 570-585. https://doi.org/10.1016/j.compedu.2013.02.014

Yoon, S., Anderson, E., Lin, J., & Elinich, K. (2017). How augmented reality enables conceptual understanding of challenging science content. *Educational Technology & Society*, *20*(1), 156-168.

科學教育學刊
2023, 第三十一卷第一期, 1-25
DOI:10.6173/CJSE.202303_31(1).0001

Contemporary Journal of Science Education
2023, 31(1), 1-25

Effects of a Cell Division Learning System Combining Virtual Reality and Augmented Reality on Students' Conceptual Understanding and Science Learning Motivation

Wen-Pin Chiu[1], Wernhuar Tarng[2], Yih-Ru Lee[1] and Tzu-Ling Wang[1,*]

[1]Graduate Institute of Mathematics and Science Education, National Tsing Hua University
[2]Institute of Learning Sciences and Technologies, National Tsing Hua University

Abstract

Virtual reality (VR) and augmented reality (AR) technologies expose learners to new environments and enhanced experiences. This study aimed to examine the effects of the cell division learning system combined with VR and AR technologies on junior high school students' conceptual understanding and learning motivation. This cell division learning system is developed based on the different characteristics of the individual concepts of the cell division unit combined with the corresponding advantages of VR and AR. It includes three topics: genetic materials, homologous chromosomes, and cell division. The participants came from four classes of seventh grade in a junior high school in Taoyuan City. Two of the classes were the experimental group with 49 students, who adopted the cell division learning system, and the other two classes were the control group, with a total of 51 students, who adopted general teaching. This study adopted a quasi-experimental pretest-posttest design. The teaching time of the two groups was three classes, each class was 45 minutes, a total of 135 minutes, and the experimental teaching lasted for two weeks. The research instruments included a two-tier cell division diagnosis test and the science learning motivation scale. The results showed that students who adopted the teaching of cell division learning system can promote students' understanding of the whole unit and individual concepts of cell division better than those who adopted general teaching. The results also showed that the teaching of the cell division learning system is significantly better than the general teaching in promoting students' science learning motivation. The implication of this study is that when the characteristics of the concept match the unique advantages of AR or VR, the learning system can effectively improve the learning effect.

Key words: Science Learning Motivation, Cell Division, Virtual Reality, Conceptual Understanding, Augmented Reality

* Corresponding author: Tzu-Ling Wang, tzuling.wang906@gmail.com; ORCID: 0000-0001-8836-5028
Received: 2022/12/15, Revised: 2023/2/24, Accepted: 2023/3/3, Available Online: 2023/5/31