

教學實踐研究計畫內容（系統端上傳 PDF 檔）

封面 Cover Page

教育部教學實踐研究計畫申請內容

Project Proposal for MOE Teaching Practice Research Program

學門專案分類／Division：民生學門

申請年度/Project Period：113 年度 ☒ 一年期 ☐ 多年期

分子視覺化擴增實境手機應用程式用於蛋白質功能與結構學習成效之研究

Assessing the effectiveness of using molecular visualization augmented reality mobile apps in
studying protein function and structure

（蛋白化學／Protein Chemistry）

計畫主持人(Principal Investigator)：林泓廷

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：國立臺灣海洋大學／食品科學系

計畫申請日期(Filing Date)：2023 年 12 月 07 日

本文與附件 Content & Appendix

分子視覺化擴增實境手機應用程式用於蛋白質功能與結構學習成效之研究／

Assessing the effectiveness of using augmented reality and mobile apps in studying protein function and structure)

一、教學實踐研究計畫研究問題與動機

1.1. 研究計畫問題

問題意識: 導入分子視覺化擴增實境手機應用程式用於蛋白化學課，是否可以提升學生參與及學生學習成效？

- 計畫申請人觀察，在課堂上詢問問題時，學生的回答率偏低，且還有下降的趨勢。而利用即時回饋系統、線上社群等平台可能會帶出較多的討論。
- 愈來愈多學生拿著平板進課堂來上課，而手機更是大家都有的標準配備。分子視覺化擴增實境手機應用程式進入門檻低，提供了便利性和靈活性，使學生可以非常直觀容易利用智能手機或平板電腦使用應用程式，也較樂於參與課堂上的活動與說明。
- 使用分子視覺化擴增實境手機應用程式來研究蛋白質功能和結構可以讓學生以三維和互動的方式視覺化複雜的蛋白質結構。這樣可以提供更沉浸式和引人入勝的學習體驗，增強對蛋白質功能的理解。
- 配合課堂上的互動式測驗和挑戰，這種遊戲化的學習體驗鼓勵學生主動參與，並融入了測驗、挑戰和獎勵等遊戲元素，進一步激發學生參與內容和積極參與學習的動力。這些功能不僅增強了整體學習體驗，還有助於學生更有效地記憶信息。

1.2. 研究議題的重要性與影響力

在生物化學、分子生物學及蛋白化學等相關課程中，對分子的結構及空間的理解可協助理解分子在獨立的狀態及與其他分子之間的交互關係 (molecular interaction)。本研究議題的重要性及影響力摘錄如下：

- 電腦自我效能 (Computer self-efficacy) 和其他社交效能 (Social efficacies) 會大幅影響學生的學習動機及學業成就。Chen (2017) 指出，電腦自我效能與學生自信、學生參與度、學習表現呈正相關。
- 擴增實境滿足允許用戶在現實世界上看到虛擬物體的重疊，滿足情境學習理論。情境學習理論說明若所有學習都發生在特定的情境中，學習的質量則為該情境中不同元素之間的聚合和互動的結果，如社會、物理和文化等因素，對於學習肉眼看不到的蛋白質或其他分子有其效益。
- 擴增實境提供空間認知 (Spatial cognition) 的相關訊息。Cheng and Tsai (2016) 指出學生對於空間認知素養有所提升，有利於建議空間框架。
- 分子視覺化擴增實境手機應用程式可以多種方式查看及操作蛋白質、核酸或多種化學分子。蛋白質分子的 3D 構形、構形變化 (Conformational change)、分子間交互作用與蛋白質的功能習習相關，理解結構和功能之間的關係有助於學生在相關領域上的學習。

二、教學實踐研究計畫主題及目的

2.1.研究計畫主題:

將突破傳統投影片配合口述教學的教學方式，於課前導入分子視覺化擴增實境手機應用程式於課堂之中，在課程中配合各單元的教學重點，設計相對的活動及遊戲，並期許學生利用此途徑持續學習。學生將於學期中分兩階段，分別以傳統教學及分子視覺化擴增實境手機應用程式導入的方式進行，並查看參與度、滿意度、認知和課程理解等方面是否存在顯著差異。

2.2.研究目的:

- 探討與比較”分子視覺化擴增實境手機應用程式導入”與”傳統上課資料概述”對大三學生在蛋白化學課程上學生於課堂中的投入層面 (engagement)之成效。

在這項研究中，我們將著重探索並比較這兩種不同的教學方法對學生的投入層面的影響。透過引入分子視覺化擴增實境手機應用程式和傳統上課資料概述，我們將評估學生在蛋白化學課程中的學習效能及動機，包括他們在課堂中的主動參與程度及興趣的展現。

- 探討與比較”分子視覺化擴增實境手機應用程式導入”與”傳統投影片搭配口述”對大三學生在蛋白化學課程上學生對於課程知識層面的成效

在這項研究中，我們將著重探索並比較這兩種不同的教學方法對學生的學習成果的影響。透過引入分子視覺化擴增實境手機應用程式和傳統上課資料概述，我們將評估學生在蛋白化學課程中的學習課程知識層面，包括他們在課堂中的對課程內容的興趣及理解程度。

三、文獻探討

3.1. 電腦自我效能

大學中電腦自我效能和學習之間的關聯一直是教育研究中的一個研究課題。電腦自我效能指的是個人對於自己有效且高效地使用電腦的能力的信念。它在確定個體如何應對和參與基於技術的學習環境方面發揮著關鍵作用。研究表明，在大學中，較高水平的電腦自我效能與更好的學習成果相關。當學生對自己的電腦技能有著強烈的信心時，他們更有可能積極參與學習活動，有效地使用在線資源並適應新技術。這反過來提升了他們的整體學習體驗和學業表現。此外，研究發現，電腦自我效能對學生的動機和使用技術進行學習的信心產生積極影響。Chen (2017)指出，電腦自我效能與學生自信、學生參與度、學習表現呈正相關。意指具有較高電腦自我效能的學生更有可能從事自主學習，探索高級技術工具並尋求額外的資源來提升他們的知識和技能。

然而，需要注意的是，電腦自我效能並非固定特質，可以通過有針對性的干預措施來發展和提高。教育機構可以通過提供適當的培訓和支持，幫助學生發展他們的電腦技能和信心，從而在培養電腦自我效能方面發揮重要作用。

3.2. 情境學習與擴增實境

情境學習理論強調在真實情境中進行學習並透過積極參與來提升學習效果。情境學習理論說明若所有學習都發生在特定的情境中，學習的質量則為該情境中不同元素之間的聚合和互動的結果，如社會、物理和文化等因素，對於學習肉眼看不到的蛋白質或其他分子有其效益。擴增實境是一種將數位資訊覆蓋在現實世界上的技術，增強對實體環境的感知和互動。擴增實境有潛力通過將虛擬元素整合到現實世界中，為學習者提供情境學習體驗 (Santos et al., 2016)。

擴增實境可提供模擬、可視化的蛋白質分子，增強學習體驗的情境性。它可以彌合理論與實踐之間的差距，讓學習者能夠以逼真和身臨其境的方式應用知識和技能。擴增實境滿足允許用戶在現實世界上看到虛擬物體的重疊，滿足情境學習理論。

3.3. 擴增實境與空間認知 (Spatial cognition)

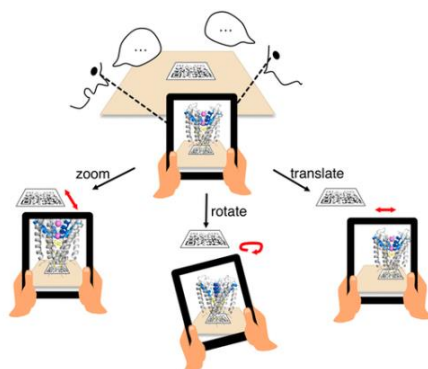
空間認知指人類如何感知、處理和導航空間資訊，而擴增實境技術通過電腦生成的知覺資訊增強現實環境，創造出混合現實體驗。空間認知與擴增實境之關聯是認知科學中一個值得關注和研究的領域。擴增實境通過改變感知、注意力和記憶影響空間認知 (Kwiatk et al., 2019)。通過將數字資訊覆蓋在物理環境上，擴增實境能夠提供額外的線索和背景，增強空間理解和導航。它還可以通過操縱距離、比例和深度的感知影響空間意識。通過充分利用擴增實境的潛力協助空間認知原則，可提升對我們周圍空間世界的理解。Cheng and Tsai (2016)指出學生對於空間認知素養有所提升，有利於建立空間框架。

3.4. 擴增實境與蛋白質分子學習

生物化學、蛋白質化學和分子生物學領域與擴增實境技術有著重要的關聯。隨著擴增實境技術的進步，研究人員開始探索其在這些領域的應用。擴增實境可以用於在三維虛擬環境中可視化和操作複雜的生物分子結構，如蛋白質和 DNA。這使研究人員能夠更深入地理解這些結構及其功能。通過在實體物體上覆蓋數字信息，擴增實境可以增強對生化過程和相互作用的研究。擴增實境還可以促進細胞和亞細胞水平上分子相互作用的可視化和模擬。研究人員可以使用擴增實境來研究細胞過程、蛋白質間的相互作用以及

藥物與靶標之間的相互作用，以更具互動性和沉浸感的方式進行研究。


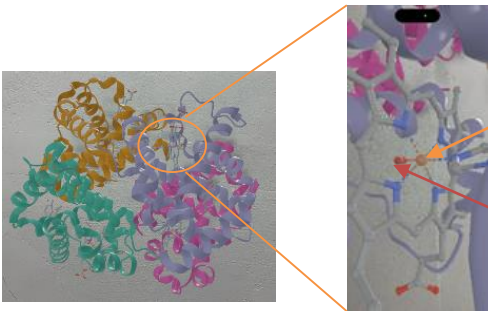
此外，擴增實境還可以用作教育工具 (Argüello & Dempski, 2020)。它可以為學生創造互動和引人入勝的學習體驗，使他們能夠以更直觀的方式視覺化和操作生物分子結構和過程 (Sung et al., 2020)。這可以大大提升對生物化學、蛋白質化學和分子生物學等複雜概念的理解和記憶。學生可透過手機擴增實境 app 從各個角度觀察大分子的構形 (圖三)。



圖三、以分子視覺化擴增實境手機 app 觀察分子 3D 結構 (Sung et al., 2020)

蛋白質分子的 3D 構形、構形變化 (Conformational change)、分子間交互作用與蛋白質的功能習習相關，理解結構和功能之間的關係有助於學生在相關領域上的學習。如表三所示，文字說明人類血液中的血紅素蛋白質的功能不夠具體，而書本上文字+圖片的說明仍然有其限制。以分子視覺化擴增實境來觀察血紅素蛋白質的 3D 結構，可以自行旋轉及放大，學生觀察到資訊及細節也會較多。

表三、人類血紅素蛋白質 (PDB 2DN1)

文字說明	文字 + 圖片	分子視覺化擴增實境放大/旋轉
血紅素蛋白可結合及輸送氧氣 (O ₂)	<p>血紅素蛋白可結合及輸送氧氣 (O₂)</p> 	<p>血紅素蛋白可結合及輸送氧氣 (O₂)</p>  <p>血紅素 (heme) 是一種含鐵輔基</p> <p>O₂</p>

四、教學設計與規劃說明

4.1. 教學設計與規劃

導入分子視覺化擴增實境手機應用程式用於蛋白質功能與結構學習進行教學設計，預計設計≥3 項利用手機應用程式的教學單元與課程內容結合，教材設計範例如後續 4.2 所示。本研究將分析導入分子視覺化擴增實境手機應用程式對學生參與意願及學習成效之影響，為避免因教學研究實驗對學生造成影響或有不公平之現象，實驗設計以時間作為分組依據，課程進行中前半課程為控制組，而後半課程(期中考後)為實驗組，依時間先後來分組，控制組與實驗組為同一班學生。教學設計規劃如下：

16 週的課程中，前 8 週使用投影片配合口述的傳統方式上課，課程單元如表四所示。而後 8 週納入分子視覺化擴增實境手機應用程式做為新的教學媒介，擬與課程結合的教學單元為：蛋白質 3D 結構與我們的週邊環境、蛋白質也可以像手指及原來蛋白質功能可以看得到的等。學生參與以問卷方式評估，學習成效以問卷、隨堂即時反饋系統、期中期末考等方式評估。

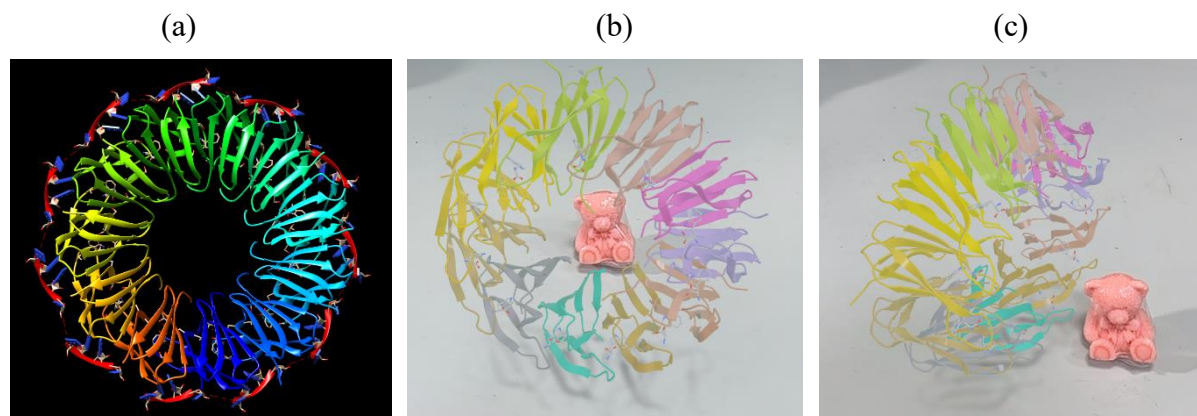
表四、教學設計規劃表

組別 (同一班學生)	研究教材導入	課程單元	成績評量方式
控制組 1-8 週 傳統講義教材		蛋白質概論	即時反饋系統 隨堂考試及期 中考
		蛋白質功能及構形	
		胺基酸物化性質	
		蛋白質生合成	
		蛋白質轉譯後修飾 I	
		蛋白質轉譯後修飾 II	
		蛋白質的演化與資訊學	
實驗組 9-16 週 擴增實境教材	AR 教材導入	蛋白質的各級結構	即時反饋系統 隨堂考試及期 末考
	蛋白質 3D 結構與 我們的週邊環境	蛋白質功能區塊與特徵	
		蛋白質的聚合形態	
	蛋白質也可以像 手指	蛋白質的交互作用	
		蛋白質的安定性	
		蛋白質的表現與純化	
	原來蛋白質功能 可以看得到	酵素動力學	
課堂參與評估: 問卷 學習成效: 問卷、隨堂即時反饋系統、期中期末考			

4.2. 以分子視覺化擴增實境手機應用程式設計之教學單元範例

4.2.1. 蛋白質 3D 結構與我們的週邊環境

計畫申請人依使用界面、穩定性、圖像表現及資料庫聯結等面向篩選出最適合之分子視覺化擴增實境手機應用程式後，請學生安裝手機 app 並說明使用方式。一開始計畫計畫申請人將挑選數個蛋白質結構形態可能較易引起學生興趣的來說明 (如圖四)，而新穎性教學教材之教學資源、目標及活動規劃如表五所示。



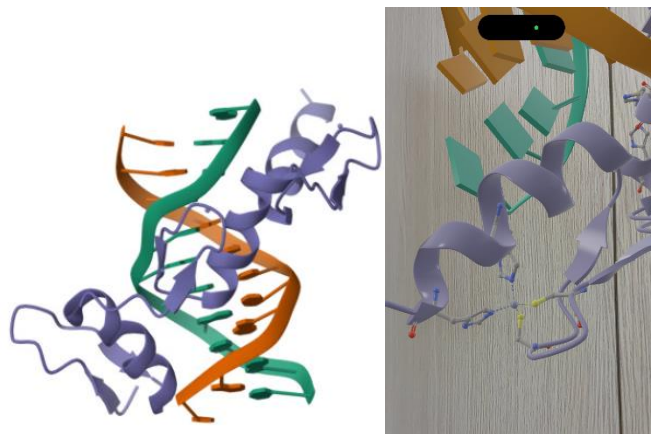
圖四、RNA 結合弱化蛋白的 (a) 2D (b) 3D 正視圖和(c) 3D 側視圖 (PDB 1GTF)。

表五、教學單元範例 1

單元名稱	蛋白質 3D 結構與我們的週邊環境
教學資源	以分子視覺化擴增實境手機應用程式應用於認識蛋白質 3D 結構教材
教學目標	<ul style="list-style-type: none"> ● 引起學生對於蛋白質分子多樣性的興趣 ● 學生對於蛋白質結構的初步認識 ● 介紹分子視覺化擴增實境手機應用程式為學習途徑 ● 分組討論及資料搜集 ● Hands-on 的操作
活動規劃	<p>一、準備活動</p> <p>I. 依使用界面、穩定性、圖像表現及資料庫聯結等面向篩選出最適合之分子視覺化擴增實境手機應用程式</p> <p>II. 選取數個具代表性的蛋白質結構</p> <p>III. 製備說明的教材</p> <p>二、發展活動</p> <p>I. 引起動機: 準備數個具代表性的蛋白質結構供學生參考，鼓勵學生利用分子視覺化擴增實境手機應用程式創做照片</p> <p>II. 觀察: 請同學觀察蛋白質結構裏面的 2、3、4 級結構</p> <p>III. 學習項目: 擴增實境應用、蛋白質 3D 結構形態、空間概念</p> <p>三、綜合活動</p> <p>學生參與即時反饋系統作答，以團體分數計分及獎勵的方式進行。並追蹤團體及學生的學習成效。</p>

4.2.2. 蛋白質也可以像手指

鋅手指 (zinc finger)是一種蛋白質構形，功能常與結合 DNA 或 RNA 相關，構形的特點是由半胱氨酸和組氨酸殘基配位的鋅離子，形態像兩隻手指 (圖五)。鋅手指的構形使其能夠識別並結合到 DNA 或 RNA 分子中特定的核苷酸序列。含有鋅手指的蛋白質功能可能與基因表現調控相關。而新穎性教學教材之教學資源、目標及活動規劃如表六所示。



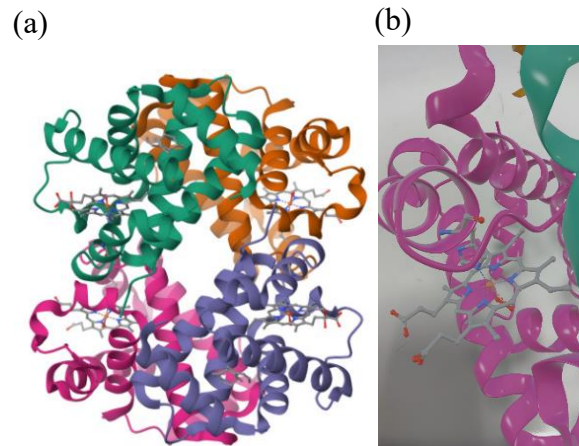
圖五、大鼠鋅手指-DNA 複合物之 (a) 2D 結構(b) 鋅結合位點 (PDB 1AAY)。

表六、教學單元範例 2

單元名稱	蛋白質也可以像手指
教學資源	以分子視覺化擴增實境手機應用程式應用於認識蛋白質 3D 結構教材
教學目標	<ul style="list-style-type: none"> ● 引起學生對於蛋白質分子多樣性的興趣 ● 學生對於蛋白質結構的進一步認識，可清楚描述蛋白質構形特徵 ● 學生可以清楚說明鋅手指對穩定蛋白質結構的協助 ● 介紹分子視覺化擴增實境手機應用程式為學習途徑 ● 分組討論及資料搜集及 Hands-on 的操作 ● 學生了解蛋白質分子與 DNA 交互作用方式，並可給予簡略說明
活動規劃	<p>1. 準備活動</p> <p>(1) 選取具代表性的蛋白質構形</p> <p>(2) 製備說明的教材</p> <p>2. 發展活動</p> <p>(1) 引起動機: 準備數個具代表性的蛋白質結構供學生參考，鼓勵學生利用分子視覺化擴增實境手機應用程式創做照片</p> <p>(2) 說明: 請同學說明鋅手指蛋白質的構形及機制</p> <p>(3) 學習項目: 擴增實境應用、蛋白質 3D 結構形態、結構特徵描述、空間概念</p> <p>3. 綜合活動</p> <p>學生參與即時反饋系統作答，以團體分數計分及獎勵的方式進行。並追蹤團體及學生的學習成效。</p>

4.2.3. 原來蛋白質功能可以看得到

血紅素蛋白是一種存在於紅血球中的蛋白質，負責將氧氣運送到全身各部位。血紅素蛋白由 2 條 α 及 2 條 β 多肽鏈組成，每個蛋白鏈都含有一個含鐵的血紅素基團(圖六)。這個鐵分子對於氧氣的結合和運輸至關重要。而新穎性教學教材之教學資源、目標及活動規劃如表七所示。



圖六、人類血紅素蛋白之 (a) 3D 結構 (平面呈現) 及(b) 氧分子結合位點 (立體呈現) (PDB 2DN1)。

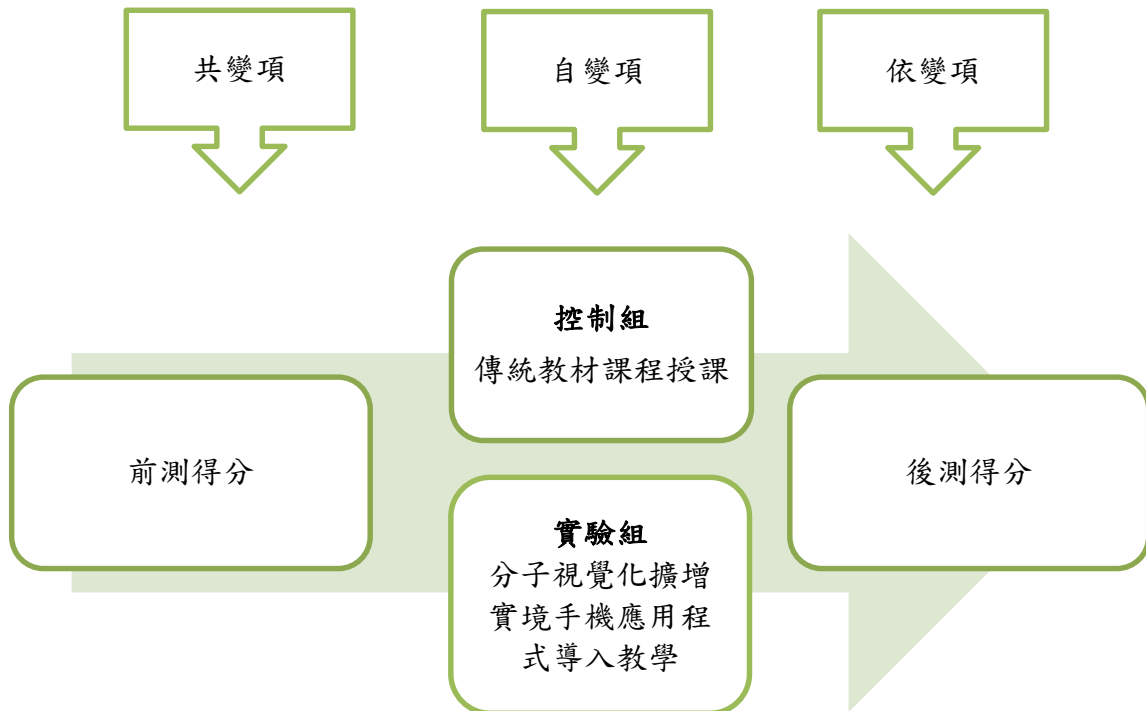
表七、教學單元範例 3

單元名稱	原來蛋白質功能可以看得到
教學資源	以分子視覺化擴增實境手機應用程式應用於認識蛋白質 3D 結構教材
教學目標	<ul style="list-style-type: none"> ● 引起學生對於蛋白質分子多樣性的興趣 ● 學生對於蛋白質結構的進一步認識，可清楚描述蛋白質各級結構 ● 介紹分子視覺化擴增實境手機應用程式為學習途徑 ● 分組討論及資料搜集 ● Hands-on 的操作 ● 學生了解蛋白質分子活性中心及結合位點，並可給予簡略說明
活動規劃	<p>一、準備活動</p> <p>I. 選取數個具代表性的蛋白質結構</p> <p>II. 製備說明的教材</p> <p>二、發展活動</p> <p>四、引起動機: 準備數個具代表性的蛋白質結構供學生參考，鼓勵學生利用分子視覺化擴增實境手機應用程式創做照片</p> <p>五、說明: 請同學說明蛋白質結構裏面的 2、3、4 級結構</p> <p>六、學習項目: 擴增實境應用、蛋白質 3D 結構形態、結構特徵描述、空間概念</p> <p>三、綜合活動</p> <p>學生參與即時反饋系統作答，以團體分數計分及獎勵的方式進行。並追蹤團體及學生的學習成效。</p>

五、研究設計與執行規劃

5.1. 研究架構及實施程序

本計畫預計探討食品科學系大學三年級學生導入分子視覺化擴增實境手機應用程式用於蛋白化學課程學生蛋白質功能與結構學習成效之研究，其學習動機及數位素養養成(含課程參與程度及學習成績)是否優於投影片搭配口述的教學法。本計畫之研究設計與架構如下圖所示：



研究變項說明

- 自變項：自變項為分子視覺化擴增實境手機應用程式導入與否(教學方式)
 - 實驗組
共 8 週課程、每週 3 節，課前說明並導入分子視覺化擴增實境手機應用程式，課中不定時使用分子視覺化擴增實境手機應用程式搭配教學主題上課，課後以即時反饋評量，其他教學活動不變。
 - 控制組
共 8 週課程、每週 3 節，課前口述概論，以傳統投影片搭配口述授課，課後給予課後以即時反饋評量，其他教學活動不變。
- 依變項：教學單元上完課後之問卷後測與評量後測得分。
- 共變項：將以不同教學單元學生前測得分作為共變項，以統計方式排除共變量之影響因素。
- 控制變項：不同課程單元(控制組單元與實驗組單元)學生都一樣，教師也都一樣。

六、教學暨研究成果

6.1 教學過程與成果

本計畫研究蛋白化學課程導入分子視覺化擴增實境手機應用程式之課程規劃，對大三學生之學習動機、課堂參與及學習成效提升所產生之影響。課程上不論是教材，教師，教學資源等在實驗組與控制組間均相同，為避免因教學計畫的實驗對學生造成影響或有不公平之現象，實驗設計以時間作為分組依據，控制組為開學至期中考，實驗組為期中考至期末，實驗組和控制組上的課程單元將不相同，而課程主題不同，是否將影響研究課程設計，後續以統計圖表呈現學生在使用 AR 後對於本課程學習成效之影響。

透過實境 (AR) 手機 APP 輔助課程內容，使學生不只是在文字中認識到蛋白質結構等內容，可以透過 AR 模型，更全面的去了解蛋白質結構，藉由模型能夠更深入的了解蛋白質的結合位點和蛋白質折疊方式，並透過 AR 實境，由學生自行挑選喜歡的蛋白質結構，使其與生活環境做連結，學生能夠自由創作、構思設計理念，藉此提升對蛋白質課程的興趣，並於課堂上與全班學生分享成果，共同探索蛋白質結構的樂趣。

教學過程	學生成果
	
	



6.2 教師教學反思

● 教學方式的轉變

過去蛋白化學課程多以教師口述與投影片展示為主，學生在學習蛋白質結構與功能時，僅能透過平面圖片或文字描述進行想像。導入 AR 應用程式後，學生可以在手機中操作三維結構，直觀地觀察蛋白質折疊、結合位點等，學習過程更具體，也能降低抽象概念造成的理解落差。

● 學生學習動機的提升

相較於傳統投影片的被動接收，學生能透過 AR 主動操作模型，增加互動性與探索性。學生對於課程內容展現出更高的興趣與專注力，願意主動提出問題，並在課堂中更積極參與討論。這顯示科技工具的融入，能有效改善學生因內容艱澀而產生的學習挫折感。

● 課堂參與方式的多樣化

傳統課堂多以教師單向講授為主，而 AR 輔助下，學生能自行挑選蛋白質結構，並嘗試與日常生活連結。此過程讓學生從學習者轉變為分享者，透過展示與發表成果，形成同儕之間的知識交流，讓課堂互動更為活躍。

● 教學評量與學習成果的延伸

傳統口述與投影片難以引導學生進行延伸思考，而 AR 的應用不僅使學生更易掌握蛋白質結構特徵，還能激發其創造力與想像力，進一步思考結構與功能之間的關聯。這樣的深度理解有助於學生將知識應用於未來實驗與研究，學習成效更具延續性。

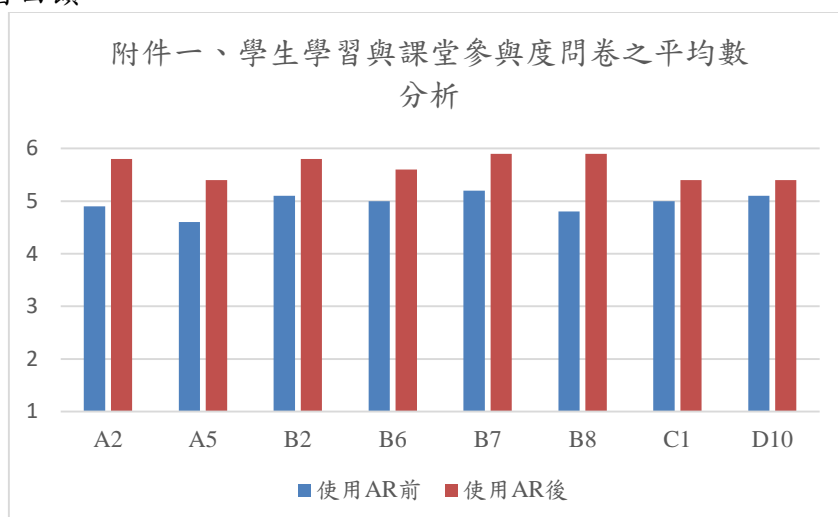
● 教師角色的調整

在傳統教學中，教師是主要的知識傳遞者；然而在 AR 課程中，教師更像是引導者與協助者，需協調學生的學習進程，並針對學生的操作疑問與討論做即時回饋。此改變也促使教師必須不斷更新自身的教學方法與數位工具運用能力。

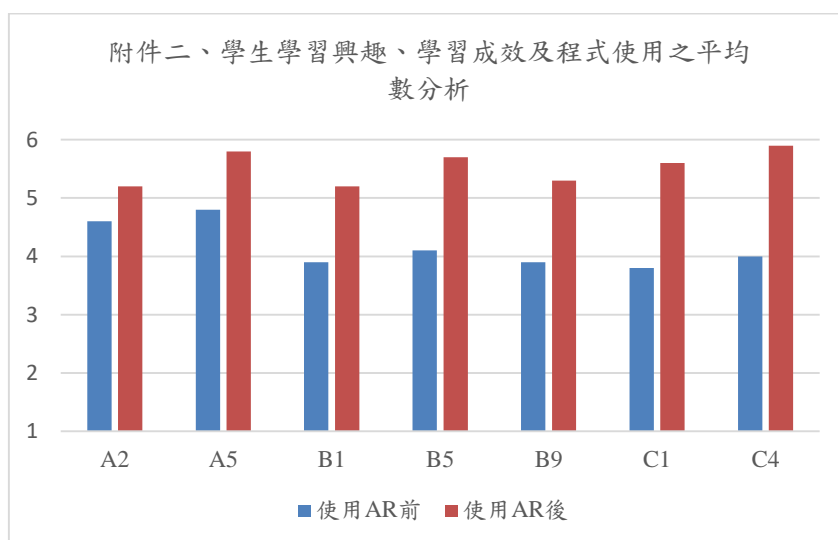
● 可應用於其他生物分子相關課程

本次在蛋白化學課程的應用顯示，AR 技術不僅適用於蛋白質結構與功能的學習，也可延伸至生物化學及分子生物學等課程。透過三維模型輔助，學生能更直觀理解生物大分子的互動與動態過程，未來若能跨課程整合，將有助於建立更完整的分子生物學知識網絡。

6.3 學生學習回饋



圖八、擷取附件一問卷中部份問題之滿意度平均數長條圖 (7 分制)



圖九、擷取附件二問卷中部份問題之滿意度平均數長條圖 (7 分制)

表八、擷取課後問卷中部份問題之滿意度平均數

	使用 AR 前	使用 AR 後
附件一		
A2. 我確信我能理解這門課程所教授的理念	4.9	5.8
A5. 我確信我能在這門課中出色完成分配的問題和任務	4.6	5.4
B2. 對我來說，學習這門課程所教授的內容是重要的	5.1	5.8
B6. 即使在測驗中表現不佳，我也會試著從我的錯誤中學習	5	5.6
B7. 我認為我在這門課程中所學到的內容對我來說是有用的	5.2	5.9

B8. 我認為我們在這門課程中所學到的內容是有趣的	4.8	5.9
C1. 當我為測驗準備時，我嘗試將課堂和教科書中的資訊整合在一起	5	5.4
D10. 當我學習一個主題時，我試著讓一切互相配合	5.1	5.4
附件二		
A2. 我每週更期待參與蛋白化學課程	4.6	5.2
A5. 我更能理解教師的講授內容	4.8	5.8
B1. 我對於在分子的層級上想像蛋白質的 3D 結構有自信	3.9	5.2
B5. 我更能理解蛋白質的一、二、三、四級結構	4.1	5.7
B9. 我更能理解蛋白質與其他分子間的交互作用方式	3.9	5.3
C1. 我會再次使用分子視覺化擴增實境手機應用程式來協助學習	3.8	5.6
C4. 使用分子視覺化擴增實境應用程式很容易學習操控（旋轉、平移、縮放）分子	4	5.9

七、建議與省思

- 臺灣教育相關 App 開發仍然較少
目前市面上針對教育用途的 AR 或分子視覺化應用程式相對不足，尤其是結合專業領域（如生物化學、分子生物學）的工具。臺灣若能結合跨領域人員，共同開發更貼近課程需求的教學 app。此舉不僅能提升教學資源的多元性，也有助於推動本土教育科技產業的發展，減少對國外軟體的依賴。
- 可提供進階型計畫，擴大教師教學的影響力
此次計畫顯示，AR 工具能有效提升學生學習動機與成效，若能進一步將研究成果延伸至進階型計畫，將有助於建立可持續推廣的模式。進階型計畫可涵蓋更多課程與不同教育階段，例如高中生物、研究所的專業課程，藉此擴大影響面。也可透過教師社群分享與跨校合作，培養更多教師熟悉並運用此類科技工具，提升整體教學品質。長遠而言，這將有助於形塑以「科技輔助教學」為特色的教育環境，提升臺灣在教育創新領域的能見度與影響力。

八、參考文獻

- Argüello, J. M., & Dempski, R. E. (2020). Fast, simple, student generated augmented reality approach for protein visualization in the classroom and home study. *Journal of Chemical Education*, 97(8), 2327-2331. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.0c00323>.
- Chen, I. S. (2017). Computer self-efficacy, learning performance, and the mediating role of learning engagement. *Computers in Human Behavior*, 72, 362-370. <https://doi.org/10.1016/j.chb.2017.02.059>.
- Cheng, K. H., & Tsai, C. C. (2016). The interaction of child-parent shared reading with an augmented reality (AR) picture book and parents' conceptions of AR learning. *British Journal of Educational Technology*, 47(1), 203-222. <https://doi.org/10.1111/bjet.12228>.

- Kwiatek, C., Sharif, M., Li, S., Haas, C., & Walbridge, S. (2019). Impact of augmented reality and spatial cognition on assembly in construction. *Automation in Construction*, 108, 102935.
- Pintrich, P. R., & De Groot, E. V. (1990). Motivational and self-regulated learning components of classroom academic performance. *Journal of Educational Psychology*, 82, 33-40.
- Santos, M. E. C., Lubke, A., Taketomi, T., Yamamoto, G., Rodrigo, M. M. T., Sandor, C., & Kato, H. (2016). Augmented reality as multimedia: the case for situated vocabulary learning. *Research and Practice in Technology Enhanced Learning*, 11, 4.
- Sung, R. J., Wilson, A. T., Lo, S. M., Crowl, L. M., Nardi, J., St Clair, K., & Liu, J. M. (2020). BiochemAR: an augmented reality educational tool for teaching macromolecular structure and function. *Journal of Chemical Education*, 97(1), 147-153. <https://doi.org/10.1021/acs.jchemed.8b00691>.

九、附件

附件 1

學生學習動機與課堂參與度問卷共 44 題

(評分為 7 分制，1=非常不正確；7=非常正確)

A. 自我效能

- 1.相較於這個班上的其他學生，我期望表現出色。
- 2.我確信我能理解這門課程所教授的理念。
- 3.我期望在這門課中表現出色。
- 4.相較於這個班上的其他學生，我認為我是一個優秀的學生。
- 5.我確信我能在這門課中出色完成分配的問題和任務。
- 6.我認為我能在這門課中獲得好成績。
- 7.相較於這個班上的其他學生，我認為我的學習技巧優秀。
- 8.相較於這個班上的其他學生，我認為我對這個主題了解很多。
- 9.我知道我將能夠學習這門課程的材料。

B. 內在價值

- 1.我偏好具有挑戰性的課業，以便學到新的事物。
- 2.對我來說，學習這門課程所教授的內容是重要的。
- 3.我喜歡這門課程所學到的內容。
- 4.我認為我能夠將在這門課程中學到的知識應用於其他課程。
- 5.即使需要更多的工作，我經常選擇我能夠從中學到東西的論文題目。
- 6.即使在測驗中表現不佳，我也會試著從我的錯誤中學習。
- 7.我認為我在這門課程中所學到的內容對我來說是有用的。
- 8.我認為我們在這門課程中所學到的內容是有趣的。
- 9.對我來說，理解這個主題是重要的。

C. 測驗焦慮

- 1.在測驗期間，我緊張得無法記起我所學到的事實。
- 2.在參加測驗時，我感到不安和不舒服。
- 3.我對測驗非常擔心。
- 4.當我參加測驗時，我會想著自己做得很差。

D. 認知策略的使用

- 1.當我為測驗準備時，我嘗試將課堂和教科書中的資訊整合在一起。
- 2.當我做作業時，我試著記住老師在課堂上講的內容，以便能正確回答問題。
- 3.對我來說，判斷所讀內容的主要觀點是困難的。
- 4.當我學習時，我會用自己的話表達重要的觀點。
- 5.即使不明白，我總是試著理解老師在講什麼。
- 6.當我為測驗準備時，我試著記住盡可能多的事實。
- 7.學習時，我會把筆記重寫一遍，以幫助我記住材料。
- 8.當我為測驗準備時，我會不斷地對自己重複說重要的事實。
- 9.我利用從舊作業和教科書中學到的知識來完成新的作業。
10. 當我學習一個主題時，我試著讓一切互相配合。
- 11.當我閱讀這門課程的材料時，我會不斷地對自己重複說單詞，以幫助我記住。
- 12.我會對教科書的章節進行大綱式的整理，以幫助我學習。
13. 閱讀時，我試著將我所閱讀的事物與我已經知道的事物聯繫起來。

(E) 自我調節

14. 我會問自己問題，以確保我知道我所學的材料。
15. 當工作困難時，我要麼放棄，要麼只學習容易的部分。
16. 即使不必要，我也會做練習題和回答章末問題。
17. 即使學習材料乏味且無聊，我會持續工作直到完成。
18. 在我開始學習之前，我會思考我需要做哪些事情來學習。
19. 我常常發現自己閱讀課堂材料，但不知道它的意思。
20. 當老師在講話時，我會想其他事情，並不真正聽他們在說什麼。
21. 當我閱讀時，我會停下來，回顧我已經閱讀的內容。
22. 即使我不喜歡一門課，我仍然努力取得好成績。

附件 2

學生學習興趣、學習成效及程式使用共 19 題
(評分為 7 分制，1=非常不正確；7=非常正確)

A. 學習興趣 (Learning interests)

1. 我上課時較樂於回答有關蛋白化學的問題
2. 我每週更期待參與蛋白化學課程
3. 我最期待參與蛋白化學課程甚於其他課程
4. 我希望蛋白化學能開設後續的進階課程
5. 我更能理解教師的講授內容

B. 學習成效

1. 我對於在分子的層級上想像蛋白質的 3D 結構有自信。
2. 我認為對於生物分子的三維結構上有初步的認識。
3. 我認為對於生物分子的三維結構上有足夠的知識。
4. 我可以說明為何蛋白質為具形態多樣性的大分子
5. 我更能理解蛋白質的一、二、三、四級結構
6. 我能說明蛋白質的一、二、三、四級結構
7. 我可以說明血紅素蛋白的功能及機制
8. 我可以說明蛋白質構形鋅手指結構穩定的原因及功能
9. 我更能理解蛋白質與其他分子間的交互作用方式

C. 擴增實境應用程式的使用

1. 我會再次使用分子視覺化擴增實境手機應用程式來協助學習
2. 使用分子視覺化擴增實境應用程式很容易取得蛋白質功能的資訊
3. 使用分子視覺化擴增實境應用程式很容易取得蛋白質 3D 結構的資訊
4. 使用分子視覺化擴增實境應用程式很容易學習操控（旋轉、平移、縮放）分子…
5. 使用分子視覺化擴增實境應用程式很容易辨識分子間的互動…

