

【附件三】成果報告（此為格式範例，詳情請見[格式說明](#)；請於系統端上傳 PDF 檔）

封面 Cover Page

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

計畫編號/Project Number：PAG1121137

學門專案分類/Division：生技農科

計畫年度： 112 年度一年期 111 年度多年期

執行期間/Funding Period：2023.08.01 – 2024.07.31

(計畫名稱/Title of the Project)

將 PyMOL 繪圖軟體及 YouTube 影片製作等科技導入教學
以提升結構生物學之學習成效

**Integrating PyMOL software and YouTube video production into the
teaching of structural biology to improve learning effectiveness**

(配合課程名稱/Course Name)

結構生物學(3 學分必選修課程)/ Structural Biology

計畫主持人(Principal Investigator)：蕭育源 Yu-Yuan Hsiao

協同主持人(Co-Principal Investigator)：無

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：(學校名／系所名)

陽明交通大學 工程生物科學學院 分子醫學與生物工程研究所

成果報告公開日期： 立即公開 延後公開

繳交報告日期(Report Submission Date)：2024 年 9 月 13 日

計畫名稱 (Title of the Project)

一、本文 (Content)

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

「結構生物學」是近代一個重要的生物學分支，已知目前所有諾貝爾獲獎者的研究中有高達 15% 為結構生物學相關，足以顯見結構生物學的重要性，故此門課程為陽明交通大學生物科技學系的重要「必選修課程」之一。結構生物學內涵為使用先進生物物理技術，直接對蛋白質的原子層級結構進行解析觀察，釐清蛋白質中的各原子的空間組成，提升對蛋白質功能的了解，亦可用於推導疾病的成因。在應用上，結構生物學可應用於結構基礎藥物設計 (Structure-based drug design)，根據蛋白質和藥物的立體結構，經由電腦計算兩者間的空間位置，並利用物理化學特性互補相容的方法，篩選出配對最佳的候選藥物，而後進行生物實驗確認，目前市售的抗流感病毒藥物「克流感」就是使用此方法研發成功。總之結構生物學在學術研究及醫藥應用上皆扮演著舉足輕重的地位，而如何提升結構生物學課程的教學成效而讓學生可以學以致用則是一個重要課題。

結構生物學是一門探討生物巨分子三維結構的學科，然而要以有限的二維書本印刷，來呈現蛋白質的三維結構，或者要以傳統二維非動態的書本，來呈現蛋白質構型變化而產生的動態作用機制是非常困難的，目前雖已經有開發出利用立體圖 (Autostereogram) 的繪圖方法 (<https://en.wikipedia.org/wiki/Autostereogram>)，利用 wall-eyed 以及 cross-eyed 的方式在二維的狀態下呈現出肉眼可見的三維圖片，但此方法需要特殊技巧且非每個人都能夠做到，故實用性不高，也因此導致授課教師需要使用大量的二維圖片並搭配許多的說明來才能夠讓學生堆疊出立體結構的概念，然而在此過程中也有可能造成學生對於結構的錯誤理解或者學習效果不佳。也因此我們想將專業的結構繪圖軟體 PyMOL 引入到課堂之中，授課時交錯使用投影片與 PyMOL 來克服此教學困難點，而期末時則設計以 PyMOL 為基礎來製作 YouTube 的結構分析相關影片作為期末實作報告，此舉可以加強學生的結構分析及 PyMOL 使用能力，亦可提升學生的學習動機，確實促進結構生物學的教學成效。

2. 研究問題 (Research Question)

此教學研究計畫的**研究主題**為將兩種科技，即「PyMOL 軟體」與「YouTube 影片製作」導入結構生物學課程的教學，想要藉由這兩種科技的引入來克服傳統生物學的授課障礙，提升學生對結構的了解，加強其結構分析能力，達成更好的

學習成效。然而導入這兩種科技可能會增加學生的學習負擔以及時間消耗，故我們也將利用鷹架理論的構成，搭配做中學、團隊本位學習以及專題本位學習，讓學生親自動手做並搭配團隊學習與專題來提升學生的學習效率，並且促進此兩種科技的課程融入，避免因為增加學習特定科技而造成學生時間的浪費或排擠到正課時間。而此計畫的**研究問題**則為探討這樣的科技輔助教學以及新穎且具創意的教學方式是否確實改善結構生物學的學習成效而達成更高層級的學習目標。

3. 文獻探討 (Literature Review)

由於在原本計畫書中對於 PyMOL 相關課程的文獻回顧，以及目前國內外結構生物學相關課程如何利用 PyMOL 來輔助教學的資訊略嫌不足，故此結案報告的文獻探討已重新更新並將會以 3 個部分進行：1. PyMOL 軟體的操作及輔助學習之優點 2. 目前國際上 PyMOL 相關的課程以及結構生物學課程內 PyMOL 的使用情況 3. 鷹架理論、做中學、團隊本位學習、專題本位學習以及 YouTube 影片製作等方式輔助課程進行之優點。

PyMOL 軟體的操作及輔助學習之優點^{1,2}

據統計結構生物學相關研究論文，有四分之一以上是使用 PyMOL 繪製蛋白質結構圖形，故為普及之結構分析軟體，PyMOL 具有許多不同的結構呈現方式來展現生物巨分子的三維結構，如 Cartoon、Surface 或 Ball-and-Stick...等，且支援簡易的動畫製作。學生可用 PyMOL 建構出自己理解的蛋白質結構圖並且輸出成圖片或動畫，然後即可簡單地插入投影片，或者剪接成為影片來呈現。PyMOL 也有助於結構的分析，可操控、旋轉或放大縮小生物巨分子，調整或突變蛋白質與 DNA 上的胺基酸或核苷酸，也可探討受質或配體與生物巨分子產生交互作用，量測分子間距，計算鍵結角度...等，有助於分析蛋白質並闡述其結構與功能的關係。除了學術研究上的優點外，若應用於教育層面上，PyMOL 也具以下優點：(1) 提供免費且功能齊全的教育版本下載使用。(2) 介面容易操作，同時具有滑鼠操作與指令操作模式，亦提供網頁指令介紹與查詢系統 PyMOL WIKI 網頁 (https://PyMOLwiki.org/index.php/Main_Page)，讓學生能夠自主學習進階技巧。(3) 除 PyMOL WIKI 外，網路上有許多 PyMOL 的教學資源或教學影片，學生只要經由搜尋即可自主學習，如網頁的文章 <https://kknews.cc/tech/lje8krz.html>，而亦有專業人士書寫之 tutorials，如: A Beginner's Guide to Molecular Visualization Using PyMOL, Nicholas Fitzkee, Mississippi State University, the United States, <https://fitzkee.chemistry.msstate.edu/sites/default/files/ch4403/pymol-tutorial.pdf>。也因以上的優點，許多的文獻已經證明 PyMOL 的可視化功能確實可以促進結構生物學或者生物化學的學習與理解¹，亦有 PyMOL 可以使用並輔助特定教學章節的例子²。

目前國際上 PyMOL 相關的課程以及結構生物學課程內 PyMOL 的使用情況

PyMOL 在國外的教學有兩種課程模式，第一種為以一整個學期的課程來教授如何使用 PyMOL 以及如何應用 PyMOL 於各種不同的結構生物學的研究之上，如加拿大麥克馬斯特大學 (McMaster University) 之課程 Biochemistry and Biomedical Sciences 3Z03 - Structural Determination and Analysis of Macromolecules <https://biochem.healthsci.mcmaster.ca/wp-content/uploads/2024/06/BIOCHEM-3Z03-Course-Outline-W2024.pdf>，亦有研究論文說明該如何利用一整個學期的課程來學習 PyMOL³，此研究論文內容包含整學期的時間規劃。第二種則是將為 PyMOL 定位為一個專業的結構分析軟體，一整個學期的課程中會有一堂課專門介紹 PyMOL 的內涵及使用，而與其他堂課程較無關係，如印度理工學院羅克分校 (Indian Institute Of Technology Roorkee) 的 Structural Biology 課程 (By Prof. Saugata Hazra- IIT Roorkee) https://onlinecourses.nptel.ac.in/noc21_bt14/preview 以及加拿大貴湖大學 (University of Guelph) 的 Protein Structural Biology and Bioinformatics (MCB*6370) <https://www.uoguelph.ca/mcb/course-outlines/protein-structural-biology-and-bioinformatics-w22-mcb6370>。分析此兩種授課模式可得知目前在國外的課程中，是將 PyMOL 定位為研究上的一個重要的蛋白質分析軟體，而較無將 PyMOL 融入於結構生物學或者其他課程之中作為促進學生的學習成效之用。

不過由於由於 PyMOL 具有輔助教學的潛力，因此在國外有一篇研究論文利用了三堂課各 50 分鐘的課程，來顯示 PyMOL 具有作為一個教學輔助軟體的潛力⁴，此篇論文讓學生使用 PyMOL 操控廣為研究熟知的血紅蛋白作為練習，學生用 PyMOL 觀察蛋白的主要結構特性、受體結合區區域，或疾病關聯的特徵，如造成鐮刀型血球性貧血的 Glu 轉換成 Val 的突變，並藉此熟悉 PyMOL 各種介面操作使用，進而加深對於血紅蛋白的結構與功能的理解。作者發現經過了這三堂課程的訓練之後，這些學生對於相關議題的內容理解以及考試都顯示出長足的進步。儘管有此篇論文的發表，及過去的文獻雖說明 PyMOL 可以促進結構相關知識的理解，但如何將 PyMOL 整合入各種課程之教學研究明顯不足，也無人指出該如何將 PyMOL 融入結構生物學課程以提升學生學習成效，也因此顯示出我們的研究具有研究的重要性以及應用價值。

鷹架理論、做中學、團隊本位學習、專題本位學習以及 YouTube 影片製作等方式輔助課程進行之優點

將 PyMOL 導入結構生物學的教學內是想利用「鷹架理論」來促進學生對於蛋白質結構的理解，進而習得結構分析之能力。鷹架理論 (Scaffolding Theory)⁵，⁶ 又稱支架式教學，概念為當學習者在學習新的技能與概念時，施教者可提供怎樣的準備，最能協助學習者成長，就如同蓋高樓時的鷹架，當學生的新技能與概念建立起來後，就不在需要鷹架而能夠自主發展。近側發展區的延伸 (Zone of

Proximal Development)，簡稱 ZPD⁶ 是鷹架理論的發展背景的主軸，當學習者遭遇到一項新挑戰，一個新任務時，項目的難度是不是在「學習者無法達到」與「學員可以達到」之間，而是在「學員可以透過協助達到」的區間；而鷹架主要就是用於比喻在這 ZPD 區間要提供給學員的協助 (Guide)。而本課程就是想利用 PyMOL 的學習以及老師所指導之結構分析來構成鷹架，鷹架拆除後也就是教學完成後，學生能培養出獨自分析結構的能力，並根據蛋白質結構所提供的訊息，推導蛋白質的功能，並設計實驗驗證自己的假設。

由於 PyMOL 是個專業的結構分析軟體，需要不少的時間學習，故如何利用結構生物學固定的三學分時間，額外教授 PyMOL 軟體的使用並將其融入結構生物學課程中來輔助學習並增進學習成效是一個重要的課題。為達成此目標我們將引入「做中學」、「團隊本位學習」以及「專題本位學習(YouTube 影片製作)」來有效率的協助 PyMOL 的學習以及教學的融入。做中學 (Learning by doing)⁷ 是美國教育學家杜威 (John Dewey) 所提出的一種教學概念，此做中學的概念即代表著生活，生活即需要適應周遭的種種。適應也包括創造、選擇、變化，以期待能對眼前個別問題作最有效的個別應付，而應付眼前問題的方式首重經驗，經驗可以幫助學生更能夠應付突臨其來的問題，而經驗則需的不斷培養與改造，不慣的培養改造經驗，能體驗中修正並且學習即是一種教育，而做中學的教育方法，正符合前述，教育必須要注重實際經驗，要從做中學學習。故此課程會有三分之一的時間，會讓學生自己手動操作 PyMOL 軟體，執行課堂上的隨堂作業或完成期末的專題報告，來達成做中學的效果。

團隊本位學習 (Team-based Learning)^{8,9} 是將班級分為多個小的團隊，團員個人需要獨立思考，而團員與團員間則會利用團體自學、集體討論、相互詰問…等方式來將彼此間的基礎知識穩固，而後再一同解決問題。此方式著重於團隊成員間的合作、有效溝通、創造思考而將所遭遇的問題解決，並可以彌補傳統口說式授課的不足。我們將採此學習法之異質分組法，將不同程度或專長的學生放入同一組中，讓較熟悉的學生帶領較不熟悉的學生前進，並彼此交流專業知識，讓學習效果更佳。而課程進行時也會把網路上的各種 PyMOL 教學資源給予各組，讓他們可以團體的模式自主學習，而期末的專題報告則以 YouTube 的影片製作，也是以團體為單位完成，提供了一個團隊本位學習的良好環境。

專題本位學習 (Project-Based Learning)¹⁰ 將會應用於期末的專題報告與 YouTube 影片製作，我們期許學生可以「從事某些事物」來取代單純地「學習某些事物」，這種方式雖然與「做中學」的思維相近，但並不只是聚焦於動手操作，而是指學習者先接收到一個任務，此任務可以解決某種特殊的問題或情況，學習者定義計畫的目標後，需蒐集、分析訊息和資料，而後再進行實驗並嘗試的去解開問題，最終即可形成結論並且能夠闡述發現。我們欲使用此專題本位學習的方式，讓學生能夠閱讀完專業的結構生物學研究論文並進行期末專題報告以及 YouTube 影片製作，進而在此過程中了解如何分析結構，並且建構蛋白質結構分

析的觀念及思考模式、具有邏輯的判斷分析蛋白質或其他生物巨分子之結構。

在期末的專題報告中我們亦引入了 YouTube 結構影片製作¹¹，導因為 YouTube 是在這個世代中最具有代表性的數位媒體，不管課內或課外，都受到大眾的喜愛與廣泛地使用，其不僅提供娛樂，還提供了一個學習資源取得的途徑，若用於期末專題上，則可增加學生的學習動機。除提升學習動機外，YouTube 影片製作對也有著以下優點：(1)因影片時長規定為 4 至 8 分鐘，可以訓練學生具有邏輯的、簡潔的陳述研究的發現，提升學生的摘要能力。(2) 影片中規定需含有學生自己製作的 PyMOL 動畫，故也可以提升學生積極學習 PyMOL 的動機，相輔相成。(3) 學生所製作的影片將會上傳至 YouTube 頻道之上，可作為往後學生學習的範本，或者作為結構知識與資訊的傳遞平台，傳遞最新的結構生物學研究成果。由於以上優點，我們將選用 YouTube 影片製作進入我們教學場域之中，來提升學生學習動機以促進學習成效。

4. 教學設計與規劃 (Teaching Planning)

本課程之教學規劃為先以由教師口授來建構出結構生物學之基礎知識，加上 PyMOL 的教學與使用來輔助學習，並以此兩者為基礎，融入鷹架理論、做中學以及團體本位學習...等多種學習法提升學生對 PyMOL 的使用及蛋白質結構的理解，也以專題本位學習的方式，將期末報告以及 YouTube 影片製作做為課程的評量，以這些循序漸進的方法讓學生除了具有結構生物學之知識外，也具有獨立自主結構分析之能力，將所學延伸到分析及應用的層級。在此三學分的結構生物學課程中授課之設計及規劃如下：

(1) 學期前 1/3 課程：前兩小時以教授口授上課為主，後一小時為 PyMOL 實作教學，讓學生熟悉的 PyMOL 基礎操作，在此實作的一小時中會以組為單位學習，並且加入隨堂練習或派發指定作業，如繪製結構圖片或者量測氫鍵距離...等，確定學生已習得如何使用 PyMOL。

(2) 中間的 1/3 課程：前兩小時仍為老師的口授教學，此時上課時會提供課程中所討論的蛋白質或 DNA 等巨分子結構檔案，學生在上課時會使用 PyMOL 並隨著老師一起分析結構，講求對蛋白質三維結構的真實理解。而最後的一小時為小組時間，學生以組為單位選定期末報告的結構生物學相關研究論文並彼此討論與學習論文內容，規劃報告邏輯順序、結構動畫製作與 YouTube 影片的呈現；教師會視學生的學習情況教授更進階的 PyMOL 操作技巧，如特殊動畫的製作。

(3) 學期後 1/3 課程：前兩小時仍為老師的口授教學，並且接近期末時進行期末考試，讓學生不要只有偏重 PyMOL 使用及 YouTube 影片製作，而是強調基礎的了解並且記憶結構生物學的基礎內涵與重要知識。最後一小時仍為小組時間，由於期末報告規定不能使用研究論文中的所有結構圖片，學生小組需要理解論文後

自己重製出與自己觀點符合之結構圖片。當開始以自身觀點繪製 PyMOL 結構圖片時，將伴隨著親身進行之結構分析，淺移默化的增加了結構分析的能力，且由於期末需分工製作 YouTube 結構動畫影片，學生須完整且精要的呈現研究論文，亦會提升學生結構分析之觀念，以上做法更會加深其對結構的理解。學期的期末報告發表時間，學生將發表 YouTube 影片(4-8 min)並以口頭報告的模式進行期末報告(30 min)。

於課程開始前所規劃的課程進度如下，教學空間統一於教室進行，此教室有足夠的電源供應提供給學生自行攜帶的電腦設備使用，此課程進度與內容有依此次授課情況做了調整更，調整後的進度表則新於**教學暨研究成果**：

每週進度表		
結構生物學以以下兩本教科書為主內容，輔以教師挑選之期刊研究論文及先進結構生物學方法介紹進行教學，書目如下： 教科書 1 - 書名：Protein Structure and Function, Gregory A Petsko and Dagmar Ringe. (2008) ; ISBN: 9780199556847 教科書 2 - 書名：Introduction of Protein Structure, Carl Branden and John Tooze. (1998) ; ISBN: 0-8153-2305-0		
週次	課程進度、內容、主題	
	授課內容 (2 hours)	實作相關內容 (1 hour)
1	課程簡介 (蛋白質的結構與功能簡介) + 分組 + 課程前測問卷	
2	蛋白質的基本構成-胺基酸之結構與特性	PyMOL 介面介紹與軟體安裝
3	蛋白質二、三級結構-1 α -helices and α domain structure	PyMOL 結構呈現方式實作
4	α domain structure 實例： Hemoglobin and Myoglobin -1 (差異型教學及問卷)	PyMOL 量測(距離與角度)之功能操作 + 期末報告 Paper 選擇
5	α domain structure 實例： Hemoglobin and Myoglobin - 2	PyMOL 立體圖與特殊表現方式 (如半透明模式)練習 + PyMOL 製圖作業
6	蛋白質二、三級結構-2 β -sheets and β domain structure	PyMOL 小組練習 + PyMOL 製圖作業檢討
7	β domain structure 實例： 1.病毒表面蛋白 2.抗體 3.神經退化疾病	PyMOL 動畫練習-1 +小組論文討論
8	四種結構解析方法之介紹 (NMR、SAXS、X-ray crystallography and Cryo-EM)	PyMOL 動畫練習-2 +小組論文討論
9	X-ray crystallography 結構解析方法實作 (在實驗室進行)	
10	蛋白質二、三級結構-3 turns, loops and α/β domain structure	小組論文討論+期末報告與 YouTube 影片規劃以及進度回報
11	蛋白質二、三級結構-4	小組論文投影片製作討論

	α + β domain structure 與無二級結構所構成之 domain	
12	蛋白質的功能區-活性中心(active site)與(binding site)結合位及其調控方式	小組論文投影片製作討論
13	結構的堆疊比較與模擬 Structure alignment and homology model modeling	PyMOL 結構堆疊技巧+期末報告與 YouTube 影片規劃以及進度回報
14	期末考試	
15	蛋白質結構在生物科技以及藥物設計的應用	與老師討論期末報告與 YouTube 影片初稿+修正建議
16	期末專題報告與 YouTube 影片發表	
17	期末專題報告與 YouTube 影片發表 + 課程後測問卷	
18	預備周	

學生成績考核之方式與成績占比如下：

- (1) 出席、平時成績以及 PyMOL 製圖作業 20%：教師評分
- (2) 期末考試 40%：考試成績
- (3) 期末結構生物學論文之專題報告 (Paper) 25%：教師評分+學生互評
- (4) YouTube 影片製作與發表 (Paper) 15%：教師評分+學生互評

5. 研究設計與執行方法 (Research Methodology)

此教學研究計畫中我們想利用科技導入教學的方式，具創意的提升學生在結構生物學課程的學習動機與成效，我們會同時採取三種研究法，包含了**行動研究法**、**調查/問卷研究法**以及**質性研究**(qualitative research)並陳的方式來確認此教學研究計畫的執行成效。行動研究法在此結構生物學的課程中有兩種情境，教師的情境為以科技導入教學，學生的情境則為以科技輔助學習並且推展到應用創作的階段(期末報告與 YouTube 影片製作)，我們將重複行動研究的循環「計畫」、「行動」、「觀察」、「反省」，期許師生兩者皆能夠以行動研究法達成課程精進目的。

調查/問卷研究法部分，首先我們將會以前後測問卷的方式確認科技導入教學是否真的可以提升學生的學習動機與成效，問卷將會以量化問題與簡答問題兩種方式進行量化與質化的分析。而學生在課程中必須學習之結構生物學知識則會利用期末筆試來確認，避免只學 PyMOL 而偏廢了結構生物學本身之基礎知識。而在學期中我們有一堂所謂的「**差異教學**」，即是先使用傳統口授方式搭配既有之投影片進行教學，授課時間約為 80 分鐘。傳統方式教學完成後，將會再以 PyMOL 輔助教學的方式授課，授課內容相同，讓學生在當日的課程中即時了解 PyMOL 使用對於教學之影響，也可以體察在原本授課模式下不了解的地方，改以 PyMOL 輔助教學是否能夠獲得改善。當日即會進行**差異教學的問卷調查**，收集學生對於兩種教學方式的回饋。

質性研究也會使用在此研究計畫中，老師可以藉由學生平時繳交之作業、筆試中簡答題的作答、學生平時小組討論之回饋、期末報告的表現以及 YouTube 的影片製作等方式來評估學生的學習質量且針對學生學習之本質進行評估。我們的研究之整體架構如下圖所示：

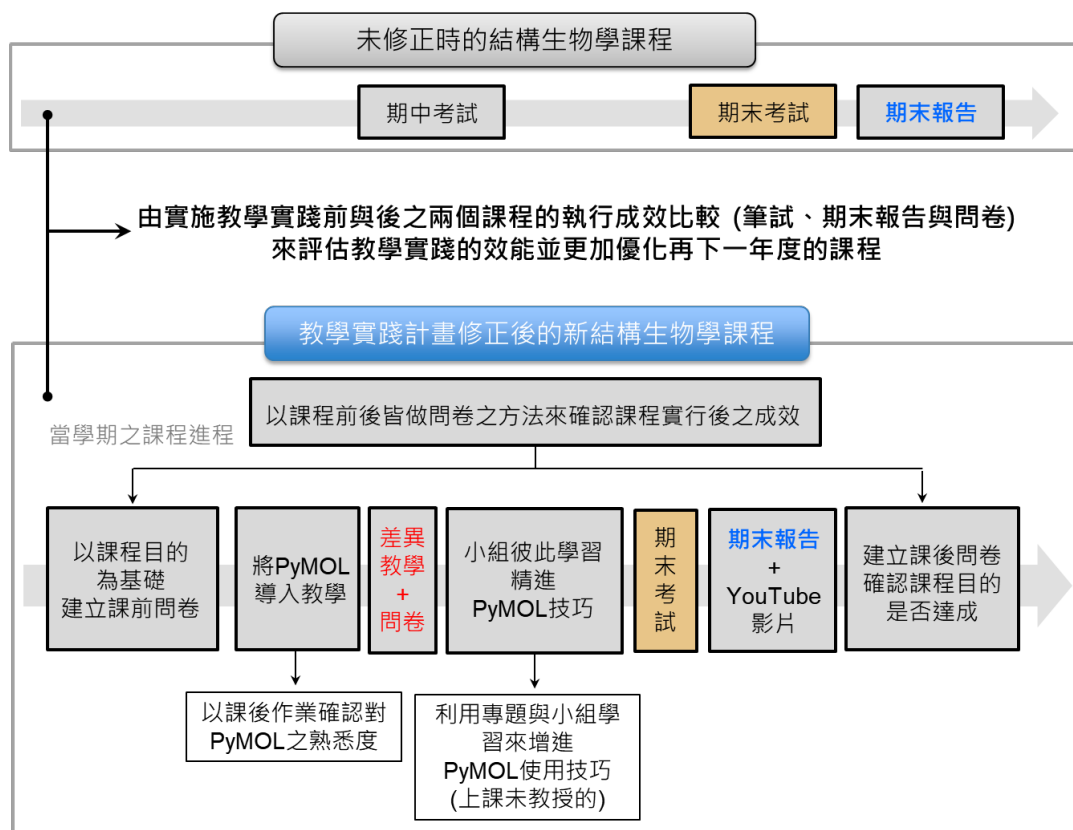


圖. 此教學實踐計畫之研究設計與執行規劃。

此教學研究對象則為大學部 2 - 4 年級學生及碩、博士班研究生，總人數約 20 - 30 人 (過去平均修課人數約為每學期 25 人)，會將這 20 - 30 人分成約 5 - 6 小組來進行教學活動，分組時會採異質分組，及每個小組皆有類似的年級構成，部會整組都是大學生，所以可以彼此相互學習。研究場域則是結構生物學之教學現場，一般的授課教室。

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

為了此計畫執行之嚴謹性，並預期將此教學實踐計劃發表，以達到公開此研究成果以供未來的教師、學生參考學習之用，故此教學研究計畫的執行規畫以及所有問卷皆通過陽明交通大學人體研究倫理審查委員會 (Institutional Review Board (IRB) of National Yang Ming Chiao Tung University) 審查通過，IRB 通過編號為 NYCU112104BF。也因欲投稿至國外教育學相關之研究期刊，我們與本校英教所碩士生洪竺郁合作，將此計畫內所有的問卷內容以及學生填答與回覆皆以英

文化完成，期許未來能夠順利發表。而其他主要的研究成果如下所示：

(1) 教學過程與成果

本次修課人數總數為 28 人，博士班學生 2 人，碩士班學生 14 人，大學部學生 12 人，期末通過此課程者有 26 人，有 1 位學生期中退選，1 位同學不及格。本次教學研究計畫成果有以下四點：**(1) 完善後的課程綱要**：為更有效率的授課，我將課程內容作大範圍的重新整合，去除過時或者重複的章節，並加入較新的結構新知與概念，此外，此課程大綱也包含了每節實作課程中 PyMOL 教學的細項，包含各種功能與指令的介紹，詳細的剖析如何將 PyMOL 的不同程度之指令與使用融入相應的課程內容中。**(2) 三份質化與量化並重之問卷**，包含課程前測、差異型教學以及課程後測問卷，有效問卷數量分別為 28 份、26 份以及 27 份問卷。**(3) 學生期末報告之投影片以及 YouTube 結構影片**，除今年度的學生影片外，我們也利用今年的教育部教學實踐計畫之幫助，把過去學生所完成之結構生物學影片整理並剪接成影片，總計新完成 3 部影片，包含 2022、2023 及 2024 年的學生作品。**(4) 質性分析結果**，此部分由老師以觀察並輔以與過去學生表現比較之方式進行判斷。

完善後的課程綱要

由於將 PyMOL 的使用導入課堂教學之中勢必要花費些許時間來進行 PyMOL 的軟體使用教學，所以如何善用時間而不與正課時間排擠會是一個很重要的課題，也因此除了使用團隊本位學習幫助學生學習 PyMOL 以及提供網路資源讓學生自學的兩種方法之外，我們額外的採取兩種策略來善用授課時間，第一種即是將過去課程內容去蕪存菁，將較為過時或重複的內容移除，同時也將新穎的結構生物學知識加入，藉此將授課內容精緻化以減少授課時間的浪費；第二種方式即是將 PyMOL 的指令和使用方法與課程內容掛勾，讓同學在學習結構生物學之知識時也能夠同時習得 PyMOL 的使用，讓課程內容與 PyMOL 的使用交融在一起。為達成以上目的，我們重新編排了課程內容，並在適當的時候教授與課程內容相符的 PyMOL 指令以及使用方式，來讓課程時間的使用效益最大化，經過了一學期的嘗試，已經規整出最佳化的課程內容以及相對應的 PyMOL 指令教學的最佳時機，完善後的每周課程綱要以及 PyMOL 教學進程如下表：

週次	上課日期	課程進度、內容、主題	注意事項
1	2024-02-22(四)	選課須知、規則以及課程要求說明	課前問卷填寫
2	2024-02-29(四)	20240229_What_is_protein_structure	期末報告 paper 選擇須知
		PyMOL 實作：1. Pymol 基礎環境建置 2. 給予線上學習的連結以及網頁	
3	2024-03-07(四)	20240229_amino_acid	下周交期末報告 paper

	PyMOL 實作：1.學生自學 PyMOL 的基礎操作 (複習上堂課所給予的影片與連結) 2. 選取以及下指令的基本規則 3. Project 的建立與更名 Homework 1：背景透明及只改變 sidechain 顏色而不改 mainchain 顏色之指令或方式 Homework 2：每組提供一個的老師未教且實用的 PyMOL 指令		
4	2024-03-14(四)	20240229_amino_acid + peptide chain 性質+ Ramachandran Plot statistics	規劃 paper 閱讀之工作分配與欲完成日期
	PyMOL 實作：1. 說明各組提供的指令用法並轉成檔案讓學生回家更深入的練習 Homework：1. 如何將背景透明-新方法 2. 如何使用指令來進行 Alignment		
5	2024-03-21(四)	20240313_a_helix_domain	各組 Paper 進度決定
	PyMOL 實作： Measurement H-bond and angle、alignment 方法、Ray 指令 (背景透明)以及 cartoon 表示法的多樣性呈現 Homework：1. Ray 邊線描粗的方法 2. 要記得 3 種 HELIX 的特性比較		
6	2024-03-28(四)	20240328_a_domain	paper 進度報告 Group 1, 2, 5, 7 (向老師匯報)
	PyMOL 實作：.pse 存檔、edit all、不同 layer 的呈現方式(.obj)、各種呈現方式的使用時機以及調整方法 (ex. Line 與 ribbon 用於 alignment)、transparency、ball and stick 的用法與調整方式 Homework：使用 PyMOL 繪製與研究論文上相同之結構圖片(4/3 以 E-mial 繳交)		
7	2024-04-04(四)	清明節假期	
8	2024-04-11(四)	1. 20240328_a_domain 2. Hemoglobin 簡介	paper 進度報告 G3, 4, 6 (5, 7) (向老師匯報)
	檢討 Homework		
9	2024-04-18(四)	1. 差異型教學 Hemoglobin – pymol 使用	填寫問卷
	差異型教學問卷填寫 (提供午餐)		
10	2024-04-25(四)	1. Hemoglobin-複習 + NO 2. β -sheet (蜘蛛絲開場)	小組時間-討論 paper 與製作動畫 1 Hour
	PyMOL 實作：製圖須注意事項 講義：X_Structural_figure_pymol_spdbv.ppt		
11	2024-05-02(四)	1. β -sheet (ok) 2. 投影片有修正 (直接連接至 b-structure)	
	PyMOL 實作：1. XX_Movies_pymol (動畫製作講義) 2. 3 種 movie 方法示範 (視窗 Movie, F1-F2, Script) 3. Script 的文字檔案格式介紹 4. Action – generate – morph (結構轉換)+表面電荷		
12	2024-05-09(四)	1. Turn (投影片未來移動到 β -structure 後面) 2. α + β structure (未來放到最後再上課)	小組時間 1 Hour
13	2024-05-16(四)	1. β -structure (2 hours) (以後接在 β -domain 上比較好，才有連接性：投影片有再修正)	小組時間 1 Hour

14	2024-05-23(四)	期中考	
15	2024-05-30(四)	1. X-ray Crystalloraghy+Method (1.5 hour) 2. 填問卷 20 min 3. 檢討考卷	填寫期末問卷
16	2024-06-06(四)	期末報告 4-8 min YouTube 影片 (9:00 上課到 1:00) + 25 min report + 5-10 min QA	
17	2024-06-13(四)	不及格同學進行補考	
18	2024-06-20(四)	自主學習	

三份質化與量化並重之問卷

我們於此教學研究計畫的執行期間總計完成三份質化與量化並重之問卷，包含課程前測、差異型教學以及課程後測問卷，問卷題目皆已通過本校之 IRB 審查，有效問卷數量分別為 28 份、26 份以及 27 份，問卷的題目清單以及填答統計詳列於附錄。

前測的問卷著重於背景資料的調查，包含是否了解結構生物學?是否使用過或熟悉 PyMOL 以及 YouTube?...等問題，可以用來與後測的問卷進行比較，核心的比較結果是想了解經過一學期的 PyMOL 輔助的結構生物學課程，學生對於結構生物學是否更加了解?在學習的過程中加入 PyMOL 的輔助，是否對於課程的理解以及結構分析具有幫助?還有期末專題使用 YouTube 的影片及報告，是否提升學生的結構分析概念與能力?前後測比較的問題摘要如下：

(1) 請問您對「結構生物學」的熟悉程度?(1-5 分) 分 (1 分：完全沒聽過；2 分：好像有聽過；3 分：聽過但不熟悉；4 分：聽過並了解部分內容；5 分：熟悉並了解內容)

	分數					Avg
	1	2	3	4	5	
前測 (人數)	1	3	15	9	0	3.14
後測 (人數)	0	0	0	16	11	4.41

根據前後測的人數與平均分數比較分析可以得知在一學期的課程之後，學生由「聽過而並不熟悉」轉變成「熟悉」結構生物學，顯示教學具有成效。

(2) 請問您熟悉 PyMOL 嗎?(1-5 分) 分 (1 分：完全沒聽過；2 分：好像有聽過；3 分：聽過但不熟悉；4 分：聽過並了解部分內容；5 分：熟悉並了解內容)

	分數					Avg
	1	2	3	4	5	
前測 (人數)	4	3	6	15	0	3.14
後測 (人數)	0	0	2	10	15	4.48

根據前後測的人數與平均分數比較分析可以得知在課程開始之前，有一半以上學生有接觸過 PyMOL，可能原因為修此課程的學生來自結構生物學相關的實驗室，但平均結果顯示整體學生的程度是接近「聽過但不熟悉」，經過一學期的課程大部分同學轉變成「熟悉」PyMOL，顯示單就 PyMOL 的教學而言具有成效。

(3) 請問您現在覺得 PyMOL 的使用對於結構生物學課程之學習的幫助程度為? (1-5 分) _____ 分 (1 分：完全沒幫助且耗時；2 分：可有可無；3 分：幫助小但耗時；4 分：部分有幫助；5 分：幫助非常大) 原因為?

	分數					Avg
	1	2	3	4	5	
後測 (人數)	0	0	2	8	17	4.56

根據後測的人數與平均分數比較分析可以得知大多數人覺得 PyMOL 的使用對於結構生物學課程之學習的幫助程度非常大。同時間我們也分析了分數較低(3 分)的同學為何認為幫助不大，同學所填答的原因為「看投影片的內容已經可以進行一定的 3D 立體想像，雖然在 PyMOL 中細節更多，內容也較完善，但下載檔案和操作也需要時間成本」。

(4) 請問 PyMOL 的使用是否能夠幫助你分析結構? (1-5 分) _____ 分 (1 分：完全沒幫助且耗時；2 分：可有可無；3 分：幫助小但耗時；4 分：部分有幫助；5 分：幫助非常大) 原因為?

	分數					Avg
	1	2	3	4	5	
後測 (人數)	0	0	1	8	18	4.63

根據後測的人數與平均分數比較分析可以得知大多數人覺得 PyMOL 的使用對於結構分析的幫助程度非常大。同時間我們也分析了分數較低(3 分)的同學為何認為幫助不大，同學所填答的原因為「不夠熟悉以致無法快速地直接應用」。

由以上問卷結果可以得知學習 PyMOL 的時間以及對於 PyMOL 的熟悉程度是一個重要的關鍵因素，也因此我們也有調查我們所利用的團隊本位學習是否有助於 PyMOL 的自學，同時我們也調查同學們是否支持使用 PyMOL 來輔助教學，相關調查如下：

(5) 請問團隊本位學習(分小組)對於 PyMOL 的學習使用是否有幫助? (1-5 分) _____ 分 (1 分：完全沒幫助且耗時；2 分：可有可無；3 分：幫助小但耗時；4 分：部分有幫助；5 分：幫助非常大) 原因為?

	分數					Avg
	1	2	3	4	5	
後測 (人數)	0	0	1	15	11	4.37

根據後測的人數與平均分數比較分析可以得知大多數人覺得團隊本位學習(分小組)對於 PyMOL 的學習使用是具有相當程度的幫助的，顯示我們的教學設

計策略正確。同時間我們也調查了分數較低(3 分)的同學為何認為幫助不大，同學所填答的原因為「分組但很少討論 PyMOL，所以幫助不大，我更傾向老師帶大家一步步操做的方法」。

(6) 經過一學期的學習，你支持在結構生物學課程中使用 PyMOL 來輔助教學嗎?支持程度為?(1-5 分) 分 (1 分：堅決反對；2 分：不支持；3 分：持平；4 分：支持；5 分：非常支持) 原因為?

	分數					
	1	2	3	4	5	Avg
後測 (人數)	0	0	2	6	19	4.63

根據後測的人數與平均分數比較分析可以得知大多數人支持在教學時使用 PyMOL 來輔助教學，顯示我們的方向正確。同時間我們也調查了分數較低 (3 分) 的同學為何認為幫助不大，同學所填答的原因為「我認為能了解結構和它的機制就好，至於幫了解的工具或方式可以自己選擇，PyMOL 或是投影片亦或是 PDF 檔差別不大」。我們也收集了贊成的同學的贊成原因，同學所填答的原因為「如果只有用 PPT 上課很難解釋 3D 結構的部分，使用 PyMOL 可以解決此問題。」。

由以上問卷結果可以得知學生們認為團隊本位學習有助於彼此學習 PyMOL 的使用，而且很強烈的支持在結構生物學課程中導入 PyMOL 的輔助教學，這樣的調查結果與「差異型教學」的問卷調查結果相符，差異型教學之問卷調查結果如下：

(7) 在未使用或使用 PyMOL 輔助教學的情況下，你對此門結構生物學的課程的吸收程度為?(1-5 分) 分 (1 分：完全無法吸收；2 分：可吸收很小部分；3 分：部分吸收；4 分：完全吸收；5 分：完全吸收而且可以應用) 無法吸收的原因是?

	分數					
	1	2	3	4	5	Avg
未使用(人數)	1	3	19	3	0	2.92
使用(人數)	0	0	1	17	8	4.27

(8) 就您的上課經驗，你覺得使用 Pymol 對於蛋白質結構的空間概念之理解相較於不使用 Pymol 的情況下，是否有顯著提升?請就提升的程度給分? (1-5 分) 分 (1 分：完全沒提升且耗時；2 分：好像有點提升但耗時；3 分：有提升一點；4 分：有提升；5 分：非常有提升) 原因為?

	分數					
	1	2	3	4	5	Avg
後測(人數)	0	0	3	8	15	4.46

此兩題問卷的結果顯示，在使用 PyMOL 的情況下，同學們不管對於課程的吸收程度或者是對於蛋白質結構的空間概念都得到提升，甚至可以達到應用的層級，與前後側的問卷結果相同，皆支持 PyMOL 使用對結構生物學的學習有幫助。

與學生一面倒的支持 PyMOL 軟體適合使用在結構生物學課程中不同，學生對於 YouTube 影片製作在結構生物學課程的必須性顯示出較弱的支持度，但也有同學是支持 YouTube 影片具有效用，YouTube 的影片製作相關問卷如下：

(9) 就請問結構生物學相關影片製作對於提升結構分析能力是否有幫助?(1-5分)
分 (1分：完全沒幫助且耗時；2分：可有可無；3分：幫助很小但耗時；4分：部分有幫助；5分：幫助非常大)原因為?

	分數					Avg
	1	2	3	4	5	
後測(人數)	1	0	7	16	3	3.74

大多數人覺得 YouTube 影片剪輯對於提升結構分析能力部分有幫助，但也有同學認為完全沒有幫助，原因為「我認為影片製作對結構分析能力要求不高，沒有基礎背景知識也能做出精良的影片。」。但也有同學覺得非常有幫助，原因為「有，因為會一直使用 pymol，且為了幫助觀眾看懂要思考許多細節並呈現。」。

(10) 經過一學期的學習，你支持在結構生物學課程使用 YouTube 影片製作輔助教學嗎?支持程度為?(1-5分)
分 (1分：堅決反對；2分：不支持；3分：持平；4分：支持；5分：非常支持) 原因為??

	分數					Avg
	1	2	3	4	5	
後測(人數)	2	0	13	10	2	3.37

大多數人覺得 YouTube 影片在課程的使用上表示持平並偏向支持，但也有同學反對，原因為「我不支持是因為，影片製作耗時又耗費心力。對於結構生物學能力的提升也很少，大部分都在處力動畫生成及影片剪輯。」。但也有同學覺得非常支持，原因為「作影片真的會知道在 paper 中被忽略的細節，也對整體的印象加深。」。

學生期末報告之 YouTube 結構影片

利用教育部教學實踐計劃的幫助，我們將今年與過去 3 年由各組學生製作的結構生物學影片重新整理，並將同年度的各組的影片剪接成一部影片，總計新完成 3 部影片，包含 2022、2023 及 2024 年的學生作品，作品皆放置於我們結構生物學實驗室的 YouTube 的頻道上，影片的連結及封面如下。(實驗室頻道的連結為：https://www.youtube.com/channel/UCtswTLouBtyRsLVR_9U_cfA)



<https://www.youtube.com/watch?v=2HZMQFDtDN8&t=4s>



<https://www.youtube.com/watch?v=mIYRciOV5L8>



<https://www.youtube.com/watch?v=jiIEkJ2LDLg>



<https://www.youtube.com/watch?v=c3RGztUjomQ>

質性分析結果

藉由老師以觀察比較使用 PyMOL 前後之學生表現，發現加入 PyMOL 輔助教學後學生的課程參與程度較高，可能原因為相比於傳統口述型教學，PyMOL 的使用讓學生有動手做的感覺，加上每周幾乎都有 PyMOL 衍生的任務或作業需要達成，學生必須隨著課程進度而精進自己本身的 PyMOL 使用能力，而期末的影片製作更需要 PyMOL 的幫忙，所以學生對整體課程的參與程度有明顯進步。同時學生們的也表現出較佳的團隊參與，原因為課程之初即需要大量的合作學習 PyMOL 和閱讀討論論文，與未使用 PyMOL 參與教學相比，更早建立了團隊討論的習慣以及團隊默契，並一起提升了結構生物學的認知與素養。

加入 PyMOL 之後，期末報告的質量也有顯著的提升，原因有三，其一為規定學生必須重新繪製論文上的所有圖片並可增加圖片，所以學生們不受原本論文圖片的限制，可以以自己的觀點增加圖片來解釋論點；其二為 YouTube 影片的製作需要加入動畫，此動畫也能夠使用於期末的報告之上，可以更明確說明論文中難以使用平面圖片來說明之論點；最後的原因也是 YouTube 影片製作，學生需要在更加簡短的影片說明此論文最重要的發現，需要具有很強的摘要能力，也因此

需要學生對於整份論文有更深入的認知後才能精要化，故期末報告的整體水平得以提升。

最後是學生的結構分析能力是否提升，答案是加入 PyMOL 之後有非常大的躍進，原因為 PyMOL 本身就是專業的結構分析軟體，學生可以直接使用 PyMOL 自身的分析能力工具，如鍵長鍵角的量測以及結構堆疊的功能，再加上期末報告需要了解結構生物學的研究論文中如何分析結構並得出結論，學生們可以學習到結構分析的基本素養以及制式化分析流程，也因此相比於未使用 PyMOL 以及影片製作而言有更好的結構分析能力。

(2) 教師教學反思

在計畫送審之初，審查委員有提出問題，表示因為此課程的修課同學之背景有大學生、碩士生以及博士生，是否會因為學生背景或基礎學能的差異而造成教學成效不彰，或課程難度偏向難或者簡單而造成特定族群的學習權利的喪失。也因此我在此門課程之中有統計各階段之學生的考試成績表現，各階段之學生成績表現如下：大學生(10 人)：期末平均成績 89 分，研究生(14 人)：期末平均成績 85 分，博士生(2 人)：期末平均成績 84 分。結果顯示大學生獲得最高之平均成績，其成績並不受到學位高低影響，此結果可能導因為碩博班生的研究壓力較大，故無法更妥善的準備考試，亦有可能有其他原因導致，但不論原因為何，結果顯示此門課程並不會對年級較低的學生造成學習壓力而產生太大的分數差異。

(3) 學生學習回饋

學生在三個問卷中已有明確表達對於這門課程規劃、PyMOL 軟體的融入以及 YouTube 的影片製作等相關課程議題之意見，回饋內容可參考問卷結果。此門課程的教學評鑑結果為 4.57 分/總分 5 分，顯示學生對此門課程的滿意程度高，因為問卷填寫了許多建議因而教學反映問卷的意見較少，主要意見為「老師教學很認真」。

7. 建議與省思 (Recommendations and Reflections)

PyMOL 的使用很明確地受到學生的肯定與歡迎，也確實提升了學生對課程的理解，以及增加了過去傳統口授課程中無法獲得的結構分析能力，未來會確實將 PyMOL 融入此課程中，並且會持續優化。較有歧異的是 YouTube 影片製作，學生的回饋相當的兩極化，大部分的學生表示持平偏向支持 YouTube 的影片作為期末的報告之一，理由是時常在影片製作中發現結構分析的細節，並且有助於結構分析觀念的建立，贊成使用影片的學生之評論摘錄如下：「當你製作影片時需要去想腳本，就會反覆看論文的內容、觀察論文的邏輯是否通順，在這個邊看邊想的過程中，就算一開始對論文內容有誤解也會更理解。」、「影片需要將理解

的內容重新編排並輸出，有助於更深入地去挖掘論文的内容。」、「因為在剪輯影片的過程中，需要去思考要怎麼有條理地表達這篇論文的成果，在這不斷思考的過程中，對論文内容的了解也會愈發透徹。」及「制作影片前要對 paper 有很足夠的瞭解，會讓人花時間去做更深的分析；做出來之後，除了會有成就感之外，還可以幫助對本篇 paper 不瞭解的人有初步的認知，在後續講解時會更聽得懂。」。而少部分的同學(1-2 人)則是反對影片製作作為期末的報告，原因是影片製作過分耗時。所以在未來優化課程設計時，雖然 YouTube 的影片製作有助於對論文的理解，但是執行模式需要再多考慮並重新設計。

二、參考文獻 (References)

1. Rachel E. Rigsby, Alison B. Parker; **Using the PyMOL application to reinforce visual understanding of protein structure.**; <https://doi.org/10.1002/bmb.20966> ; Biochemistry and Molecular Biology Education; Vol 44, 5; September/October 2016; pp. 433-437
2. Simmons AD, Nguyen TKT, Follis JL, Ribes-Zamora A; **Using a PyMOL Activity to Reinforce the Connection between Genotype and Phenotype in an Undergraduate Genetics Laboratory.** PLOS ONE 9(12): 2014; e114257. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0114257>
3. Magnus Kjaergaard, Laura Skak Rasmussen, Johan Nygaard Vinther, Kasper Røjkjær Andersen, Ebbe Sloth Andersen, Esben Lorentzen, Søren S. Thirup, Daniel E. Otzen, Ditlev Egeskov Brodersen; **A Semester-Long Learning Path Teaching Computational Skills via Molecular Graphics in PyMOL.** The Biophysicist 1 December 2022; 3 (2): 106–114. doi: <https://doi.org/10.35459/tbp.2022.000219>
4. J. E. Lineback and A. L. Jansma; **PyMOL as an Instructional Tool To Represent and Manipulate the Myoglobin/Hemoglobin Protein System;** Journal of Chemical Education 2019; 96 (11); 2540-2544; DOI: 10.1021/acs.jchemed.9b00143
5. Beed, Penny L., et al. “**Moving Learners toward Independence: The Power of Scaffolded Instruction.**” The Reading Teacher, vol. 44, no. 9, 1991, pp. 648–55. JSTOR.
6. V. K. Zaretskii; **The Zone of Proximal Development,** Journal of Russian & East European Psychology, 47:6, 70-93, 2009 ; DOI: 10.2753/RPO1061-0405470604.
7. 吳木崑(Mu-Kun Wu)。杜威經驗哲學對課程與教學之啟示-The Insights of John Dewey's Empirical Philosophy for Curriculum and Teaching ; 臺北市立教育大學學報，教育類；40 卷 1 期 (2009 / 05 / 01)，P35 – 54
8. 史美瑤 (2012b)。以學生學習為中心的教學：團隊導向學習法。評鑑雙月刊，38。取自 <http://epaper.heeact.edu.tw/archive/2012/07/01/5828.aspx>
9. 梁仁楷;張奕華;吳權威。TEAM Model- TBL 團隊合作學習模式之理念與實踐案例。教育系；發行編號：HB20150115C ;日期：2015 年 01 月 15 日

10. 陳毓凱;洪振方。兩種探究取向教學模式之分析與比較-**The Comparison and Analysis of Two Inquiry-oriented Teaching Models**。科學教育月刊，200712 (305期)，p4-p19.

11. Srinivasacharlu, A. “**Using YouTube in Colleges of Education.**” Shanlax Interational Journal of Education, vol. 8, no. 2, 2020, pp. 21–24.

三、附件 (Appendix)

本期末報告有 4 份附件，附件一為本研究計畫中的三份問卷的量化類型問題之分數統計結果，附件二至四則分別為中英文並陳之前測問卷、差異型教學問卷以及後測問卷。

附件一：三份問卷中，量化類型問題之統計結果

前測問卷統計結果

Likert Scale 答案統計			
Likert Scale Response Distribution by Question			
題目 questions 答案 options	1	2	3
1	1	4	0
2	3	3	0
3	15	6	3
4	9	15	13
5	0	0	12
Avg	3.14	3.14	4.32

差異型教學問卷統計結果

Likert Scale 答案統計						
Likert Scale Response Distribution by Question						
題目 Questions 答案 Options	1	2	3	4	5	6
1	1	0	0	1	0	0
2	3	0	0	5	0	0
3	19	1	0	16	0	3
4	3	17	13	4	14	8
5	0	8	13	0	12	15
Avg	2.92	4.27	4.50	2.88	4.46	4.46

後測問卷統計結果

Likert Scale 答案統計					
Likert Scale Response Distribution by Question					
題目 Questions 答案 Options	1	3	4	5	6
1	0	0	0	1	0
2	0	0	0	8	0
3	0	2	2	16	1
4	16	10	8	1	8
5	11	15	17	1	18
Avg	4.41	4.48	4.56	2.74	4.63

Likert Scale 答案統計					
Likert Scale Response Distribution by Question					
題目 Questions 答案 Options	7	9	10	11	12
1	0	1	1	0	2
2	0	1	0	0	0
3	1	7	7	2	13
4	15	15	16	6	10
5	11	3	3	19	2
Avg	4.37	3.67	3.74	4.63	3.37

附件二：中英文並陳之前測問卷

教學實踐研究計畫-課前問卷

參與者您好

本問卷之統計資料將使用於教育部教學實踐研究計畫，計畫標題為「將 PyMOL 繪圖軟體及 YouTube 影片製作等科技導入教學以提升結構生物學之教學成效」；在進行資料統計或研究發表時，此問卷將會做去識別化處理，以確保您的隱私。對於此問卷有任何問題煩請直接對主持人提出，若無問題則請您仔細作答。非常謝謝您的配合。(此問卷採用李克特量表-Likert scale 採計分數)

Dear participants,

The results of this survey will be used in the Ministry of Education's Teaching Practice Research Program. The title of the project is "Integrating the PyMOL Graphics System and YouTube Video Production into Teaching to Enhance the Effectiveness of Structural Biology Instruction." This questionnaire will be de-identified when conducting data analysis or research publication to ensure your privacy. Please talk to the host directly if you have any questions, if no, please answer them carefully. Thank you very much for your cooperation. (Survey questions are based on a 5-point Likert scale)

課前問卷 Pre-test Survey

1. 請問您對「結構生物學」的熟悉程度? (1-5分) _____ 分 (1分：完全沒聽過；2分：好像有聽過；3分：聽過但不熟悉；4分：聽過並了解部分內容；5分：熟悉並了解內容)

Are you familiar with the field of 'structural biology'? (1 point: I have never heard of it; 2 points: I think I have heard of it; 3 points: I have heard of it, but I am not familiar with it; 4 points: I have heard of it before and understand part of the content; 5 points: I am familiar with it and understand the content)

2. 請就您的印象描述何謂「結構生物學」?

Please describe your impression of 'structural biology'.

3. 請問您熟悉 Pymol 嗎? (1-5分) _____ 分 (1分：完全沒聽過；2分：好像有聽過；3分：聽過但不熟悉；4分：聽過並些微使用過；5分：熟悉如何使用)

Are you familiar with Pymol? (1 point: I have never heard of it; 2 points: I think I have heard of it; 3 points: I have heard of it, but I am not familiar with it; 4 points: I have heard of it before and used it a little bit; 5 points: I am familiar with how to use it)

4. 請問您對 YouTube 熟悉嗎? (1-5分) _____ 分 (1分：完全沒聽過；2分：好像有聽過；3分：聽過但不熟悉；4分：聽過並些微使用過；5分：熟悉如何使用)

Are you familiar with the social media YouTube? (1 point: I have never heard of it; 2 points: I think I have heard of it; 3 points: I have heard of it, but I am not familiar with it; 4 points: I have heard of it before and used it a little bit; 5 points: I am familiar with how to use it)

5. 請問您有自己的 YouTube 頻道嗎? 若有，請問你有幾支影片在頻道上?

Do you have your own YouTube channel? If yes, how many videos have you uploaded to your channel?

6. 請問您有自己剪輯過影片或加字幕嗎?

Have you ever edited a video or added subtitles by yourself?

附件三：中英文並陳之差異型教學問卷

教學實踐研究計畫-差異型教學問卷

參與者您好

本問卷之統計資料將使用於教育部教學實踐研究計畫，計畫標題為「將 PyMOL 繪圖軟體及 YouTube 影片製作等科技導入教學以提升結構生物學之教學成效」；在進行資料統計或研究發表時，此問卷將會做去識別化處理，以確保您的隱私。對於此問卷有任何問題煩請直接對主持人提出，若無問題則請您仔細作答。非常謝謝您的配合。(此問卷採用李克特量表-Likert scale 採計分數)

Dear participants,

The results of this survey will be used in the Ministry of Education's Teaching Practice Research Program. The title of the project is "Integrating the PyMOL Graphics System and YouTube Video Production into Teaching to Enhance the Effectiveness of Structural Biology Instruction." This questionnaire will be de-identified when conducting data analysis or research publication to ensure your privacy. Please talk to the host directly if you have any questions, if no, please answer them carefully. Thank you very much for your cooperation. (Survey questions are based on a 5-point Likert scale)

差異型教學問卷

1. 在未使用 Pymol 輔助教學的情況下，你對此門結構生物學的課程的吸收程度為? (1-5 分) _____分 (1分：完全無法吸收；2分：可吸收很小部分；3分：部分吸收；4分：完全吸收；5分：完全吸收而且可以應用)

無法吸收的原因是?

How well can you absorb the course content in structural biology **without** the assistance of Pymol in instruction? Rate on a scale of 1-5. (1 point: completely unable to absorb; 2 points: able to absorb a very small portion; 3 points: absorbed some parts; 4 points: complete absorption; 5 points: complete absorption and can apply)

What are the reasons for being unable to absorb the material?

2. 在使用 Pymol 輔助教學的情況下，你對此門結構生物學的課程的吸收程度為? (1-5 分) _____分 (1分：完全無法吸收；2分：可吸收很小部分；3分：部分吸收；4分：完全吸收；5分：完全吸收而且可以應用)

無法吸收的原因是?

How well can you absorb the course content in structural biology with the assistance of Pymol in instruction? Rate on a scale of 1-5. (1 point: completely unable to absorb; 2 points: able to absorb a very small portion; 3 points: absorbed some parts; 4 points: complete absorption; 5 points: complete absorption and can apply)

What are the reasons for being unable to absorb the material?

3. 就您的上課經驗，你覺得使用 Pymol 對於此門課程的理解程度相較於不使用 Pymol 的情況下，是否對於課程的理解有所幫助？請就幫助的程度給分？(1-5 分) _____分 (1 分：完全沒幫助且耗時；2 分：可有可無；3 分：幫助很小但耗時；4 分：部分有幫助；5 分：幫助非常大)

原因為？

Based on your class experience, do you think using Pymol helps in understanding this course compared to not using Pymol? Please rate the level of help from 1 to 5. (1 point: no help and time-consuming; 2 points: optional; 3 points: little help but time-consuming; 4 points: some help; 5 points: significant help) **Can you provide the reasons?**

4. 在未使用 Pymol 輔助教學的情況下，你能否利用講義上的圖片以及老師的講解清楚的了解蛋白質結構的相對位置與機制相關之結構變化？請就了解程度給分。(1-5 分) _____分 (1 分：完全無法吸收；2 分：可吸收很小部分；3 分：部分吸收；4 分：完全吸收；5 分：完全吸收而且可以應用) 無法了解或部分了解的原因是？

Without the assistance of Pymol in instruction, can you understand the relative positions of the protein structure and the structural changes related to mechanisms clearly through the images on the handouts and the teacher's explanations? Please rate your understanding from 1-5. (1 point: Unable to understand at all; 2 points: Can understand a small part; 3 points: Partially understand; 4 points: Fully understand; 5 points: Fully understand and can apply)

What are the reasons for not understanding or partially understanding?

5. 在使用 Pymol 輔助教學的情況下，你能否利用講義上的圖片以及老師的講解清楚的了解蛋白質結構的相對位置與機制相關之結構變化？請就了解程度給分。(1-5 分) _____分 (1 分：完全無法吸收；2 分：可吸收很小部分；3 分：部分吸收；4 分：完全吸收；5 分：完全吸收而且可以應用) 無法了解或部分了解的原因是？

With the assistance of Pymol in instruction, can you understand the relative positions of the protein structure and the structural changes related to mechanisms clearly through the images on the handouts and the teacher's explanations? Please rate your understanding from 1-5. (1 point: Unable to understand at all; 2 points: Can understand a small part; 3 points: Partially understand; 4 points: Fully understand; 5 points: Fully understand and can apply)

What are the reasons for not understanding or partially understanding?

6. 就您的上課經驗，你覺得使用 Pymol 對於蛋白質結構的空間概念之理解相較於不使用 Pymol 的情況下，是否有顯著提升？請就提升的程度給分？(1-5 分) _____分 (1 分：完全沒提升且耗時；2 分：好像有點提升但耗時；3 分：有提升一點；4 分：有提升；5 分：非常有提升)

原因為？

Based on your class experience, do you feel that using Pymol significantly has significantly improved your spatial understanding of protein structures compared to not using Pymol? Please

rate the level of improvement from 1-5. (1 point: no improvement and time-consuming; 2 points: slight improvement but time-consuming; 3 points: slight improvement; 4 points: noticeable improvement; 5 points: significant improvement)

What is the reason for your rating?

附件四：中英文並陳之後測問卷

教學實踐研究計畫-問卷

參與者您好

本問卷之統計資料將使用於教育部教學實踐研究計畫，計畫標題為「將 PyMOL 繪圖軟體及 YouTube 影片製作等科技導入教學以提升結構生物學之教學成效」；在進行資料統計或研究發表時，此問卷將會做去識別化處理，以確保您的隱私。對於此問卷有任何問題煩請直接對主持人提出，若無問題則請您仔細作答。非常謝謝您的配合。(此問卷採用李克特量表-Likert scale 採計分數)

Dear participants,

The results of this survey will be used in the Ministry of Education's Teaching Practice Research Program. The title of the project is "Integrating the PyMOL Graphics System and YouTube Video Production into Teaching to Enhance the Effectiveness of Structural Biology Instruction." This questionnaire will be de-identified when conducting data analysis or research publication to ensure your privacy. Please talk to the host directly if you have any questions, if no, please answer them carefully. Thank you very much for your cooperation. (Survey questions are based on a 5-point Likert scale)

課後問卷

1. 請問您現在對「結構生物學」的熟悉程度? (1-5 分) _____ 分 (1 分：完全沒聽過；2 分：好像有聽過；3 分：聽過但不熟悉；4 分：聽過並了解部分內容；5 分：熟悉並了解內容)

Are you familiar with the field of 'structural biology' now? Please rate on a scale of 1-5. (1 point: I have never heard of it; 2 points: I think I have heard of it; 3 points: I have heard of it, but I am not familiar with it; 4 points: I have heard of it before and understand part of the content; 5 points: I am familiar with it and understand the content)

2. 請就您的了解描述何謂「結構生物學」?

Please describe your impression of 'structural biology'.

3. 請問您現在熟悉 Pymol 嗎? (1-5 分) _____ 分 (1 分：完全沒聽過；2 分：好像有聽過；3 分：聽過但不熟悉；4 分：聽過並些微使用過；5 分：熟悉如何使用)

Are you familiar with Pymol now? Please rate on a scale of 1-5. (1 point: I have never heard of it; 2 points: I think I have heard of it; 3 points: I have heard of it, but I am not familiar with it; 4 points: I have heard of it before and used it a little bit; 5 points: I am familiar with how to use it)

4. 請問您現在覺得 Pymol 的使用對於結構生物學課程之學習的幫助程度為? (1-5 分) _____ 分 (1 分：

完全沒幫助且耗時；2分：可有可無；3分：幫助小但耗時；4分：部分有幫助；5分：幫助非常大)

原因為？

Do you consider the use of Pymol helpful for learning structural biology courses? (1 point: not helpful and time-consuming; 2 points: optional; 3 points: slightly helpful but time-consuming; 4 points: moderately helpful; 5 points: extremely helpful)

Can you provide the reasons?

5. 請問 Pymol 的學習難易度? (1-5 分) _____分 (1分：超難；2分：有點難；3分：還好，花點時間即可；4分：有點簡單；5分：非常簡單)

如果覺得困難，困難的點在哪裡？

How difficult is it to learn Pymol? Please rate on a scale of 1-5. (1 point: extremely difficult; 2 points: somewhat difficult; 3 points: manageable with some time; 4 points: somewhat easy; 5 points: very easy)

If you find it difficult, what are the specific challenges you encounter?

6. 請問 Pymol 的使用是否能夠幫助你分析結構? (1-5 分) _____分 (1分：完全沒幫助且耗時；2分：可有可無；3分：幫助很小但耗時；4分：部分有幫助；5分：幫助非常大)

原因為？

Does the use of Pymol help you in structural analysis? Please rate on a scale of 1-5. (1 point: not helpful and time-consuming; 2 points: optional; 3 points: slightly helpful but time-consuming; 4 points: moderately helpful; 5 points: extremely helpful)

Can you provide the reasons?

7. 請問團隊本位學習(分小組)對於 Pymol 的學習使用是否有幫助? (1-5 分) _____分 (1分：完全沒幫助且耗時；2分：可有可無；3分：幫助很小但耗時；4分：部分有幫助；5分：幫助非常大)

原因為？

Has team-based learning (learning in groups) been helpful for learning and using Pymol? Please rate on a scale of 1-5. (1 point: not helpful and time-consuming; 2 points: optional; 3 points: slightly helpful but time-consuming; 4 points: moderately helpful; 5 points: extremely helpful)

Can you provide the reasons?

8. 請問你自己是否有利用 Pymol wiki、Google 或其他網路資源學習 Pymol?

如果有，請問你的課外資源為何？

Have you used Pymol wiki, Google, or other online resources to learn Pymol?

If yes, what specific resources did you use?"

9. 剪輯影片是否對於了解研究論文的內容有所幫助? (1-5 分) ____分 (1 分：完全沒幫助且耗時；2 分：可有可無；3 分：幫助很小但耗時；4 分：部分有幫助；5 分：幫助非常大)

原因為?

Does editing videos help in understanding the content of research articles? Please rate on a scale of 1-5. (1 point: not helpful and time-consuming; 2 points: optional; 3 points: slightly helpful but time-consuming; 4 points: moderately helpful; 5 points: extremely helpful)

Can you provide the reasons?

10. 請問結構生物學相關影片製作對於提升結構分析能力是否有幫助? (1-5 分) ____分 (1 分：完全沒幫助且耗時；2 分：可有可無；3 分：幫助很小但耗時；4 分：部分有幫助；5 分：幫助非常大)

原因為?

Does producing structural biology-related videos enhance structural analysis skills? Please rate on a scale of 1-5. (1 point: not helpful and time-consuming; 2 points: optional; 3 points: slightly helpful but time-consuming; 4 points: moderately helpful; 5 points: extremely helpful)

Can you provide the reasons

11. 經過一學期的學習，你支持在結構生物學課程中使用 Pymol 來輔助教學嗎?支持程度為? (1-5 分) ____分 (1 分：堅決反對；2 分：不支持；3 分：持平；4 分：支持；5 分：非常支持)

原因為?

After a semester of learning, do you support the use of Pymol in structural biology courses to enhance teaching? To what extent do you support this? Please rate on a scale of 1-5. (1 point: strongly oppose; 2 points: do not support; 3 points: neutral; 4 points: support; 5 points: strongly support)

Can you provide the reasons?

12. 經過一學期的學習，你支持在結構生物學課程使用 YouTube 影片製作輔助教學嗎?支持程度為? (1-5 分) ____分 (1 分：堅決反對；2 分：不支持；3 分：持平；4 分：支持；5 分：非常支持)

原因為?

After a semester of study, do you support the use of YouTube video production in structural biology courses to enhance teaching? To what extent do you support this? Please rate on a scale of 1-5. (1 point: strongly oppose; 2 points: do not support; 3 points: neutral; 4 points: support; 5 points: strongly support)

Can you provide the reasons?