

教育部教學實踐研究計畫成果報告

計畫編號：PMN1080107

學門專案分類：醫護學門

執行期間：2019-08-01～2021-07-31

整合融入數學與物理概念以深化生理學教學之課程發展

配合課程名稱：醫用物理學、基礎醫學導論、心臟血管系統

計畫主持人：蔡克勵

執行機構及系所：高雄醫學大學醫學系生理學科

成果報告公開日期：

☒立即公開 ☐延後公開(統一於 2023 年 3 月 31 日公開)

繳交報告日期：2021 年 9 月 16 日

整合融入數學與物理概念以深化生理學教學之課程發展

一、 報告內文

1. 研究動機與目的

本人專長為生理學，之前的研究領域一向為細胞膜運輸（包含離子通道）及呼吸生理學。13 年前我開始在本校醫學系及後醫系任教後，一直專注於將研究專長與教學活動結合，把自己所接受的學術訓練之心得傳授給醫學生。雖然多年來獲得學生與學校各種榮譽與獎勵，本身亦積極投入教學工作，在教學相長中得到樂趣與成就感，然而我發現，不少醫學生即使接受了兩年完整的基礎醫學教育，直到畢業前，仍然不習慣以量化方式思考生理學問題。更甚者，對於與生理學相關之重要數理概念，仍存在許多誤解與盲點。試舉一個淺顯的例子：在肺功能測定 (pulmonary function test) 實驗中，有部分醫學生無法看出呼氣流速 (expiratory flow) 對時間作圖之圖形中，曲線所圍的面積即為呼氣體積 (expiratory volume)。事實上這僅需要簡單的物理與積分概念即可判斷。凡此均顯示，至少對部分醫學生而言，其先前所修習的微積分、普通物理學與普通化學並未能應用至基礎醫學（包括生理學）的學習。另一方面，以往的生理學教學沒有強調這些數理觀念，恐怕將使醫學生忽略量化思考的重要性。由以上教學現場發現的問題，引起我強烈的動機，試圖以創新的課程設計來解決此一重要議題。

本計畫之主題，係結合課堂講授、團隊導向學習 (team-based learning, TBL)、虛擬軟體及示範實驗，以整合數學與物理重要基本原則，融入於生理學教學之課程發展。為了證實此種課程設計確實能達到成效，則需要實證為基礎 (evidence-based) 的研究。因此本計畫之目的為：藉由研究的佐證，證明在本課程設計之引導下，學生的學習成效確有提升，進而將類似的課程設計推廣到教學社群與其他科目之教學。

2. 文獻探討

生理學是一門探討生物體功能的科學，而其所應用的方法，離不開基礎科學如數學、物理與化學。正如知名生理學者 Burton (2000) 所闡釋：16 世紀哈維 (William Harvey) 提出人體血液循環學說所根據的基礎，只是簡單的心輸出量 (cardiac output) 計算，便足以推翻兩千年來西方醫學對血液流動的錯誤理論。這個歷史例證說明了量化思考與物理原則對於生理學教學與學習的重要性。然而，多數臺灣醫學生學習生理學的模式，仍以記憶性知識為主，很少真正應用到數學與物理的概念。例如本校醫學生對於系上課程的回饋意見中便曾表達「像物理、微積分等等，只要及格之後大概一輩子都用不到了，因此總是草草準備，根本沒有花心思研讀。然而，低年級寶貴的時間卻在這些應付考試的途中悄悄用盡了，最後不但物理等課程忘得一乾二淨，原本能排進低年級的生理、微免等醫學扎根課程，都因為基礎學科的排擠而被迫塞在三四年級...」(張中嘉等，2015)。令人遺憾的是，這些微積分與物理等課程，本來應該用來奠定生理學的基礎，與生理學的學習相輔相成，而不應被視為干擾、排擠生理學課程的緣由。

事實上，以上現象絕非臺灣所獨有。在國外的研究中，亦發現學生學習生理學的主要困難之一，在於那些與數學、物理息息相關的生理學原理 (Michael, 2007)。譬如 Watkins 與 Elby (2013) 就報告過，生物醫學領域的許多數學公式源自代數與微積分，也是美國學生頗感困擾的內容。以呼吸生理學為例，許多南非醫學生對於呼吸時的壓力、體積、氣流等物理量都有誤解，因此無法正確理解肺功能檢查結果 (Badenhorst

等，2016)。以上情況，均與本人在教學現場的經驗相似。可見這並非一時一地獨有之現象，而身為教師的我們，必須有嶄新的方法來因應，幫助學生克服學習困境。面臨以上困境，有識之士早已呼籲應該在醫學系的生理學課程中重新重視量化思考，並使學生在概念上瞭解微積分與物理定律如何應用於生理學，俾能真正深化生理學的教學與學習 (Bullock, 1994)。二十一世紀將是生物醫學突飛猛進的時代，原有的傳統生物醫學（如生理學）與數學、物理之間，必須有更深入的跨領域整合，才能提供新時代知識的動力。為了呼應以上需求，首先應該由大學部的課程改革開始。因此美國醫學院學會 (Association of American Medical Colleges, AAMC) 於 2009 年發表了著名的報告 *Scientific Foundations for Future Physicians* (簡稱 *SFFP* 報告)，強調必須在醫學教育中強調量化能力並連結基礎自然科學 (包括數學與物理)。*SFFP* 報告列舉了八大關鍵能力 (competency) 應該在醫學院大學部課程中培養，其中 Competency E1 與 E2 分別對應數學與物理能力 (Association of American Medical Colleges-Howard Hughes Medical Institute Joint Committee, 2009)。*SFFP* 報告的問世，引發美國各醫學院在醫學教育中導入數理課程的潮流，各校均開始審視並反思如何有效地在生物醫學課程中整合數學與物理概念 (Gouvea 等，2013; Hilborn 與 Friedlander，2013)。與此同時，美國科學促進會 (American Association for the Advancement of Science, AAAS) 也在 2011 年發表標題為 *Vision and Change in Undergraduate Biology Education* 的重要文獻，呼籲生物學家、物理學家、化學家與數學家應當聯合起來，透過跨領域的取徑 (interdisciplinary approach) 運用於大學部入門課程中 (American Academy for the Advancement of Science, 2011)。因應前述變革，美國醫學院學會於 2011 年之後大幅度修改了醫學院入學考試 (Medical College Admissions Test, MCAT) 綱領，將重要數學與物理概念納入命題範圍，自 2015 年起施行 (Association of American Medical Colleges, 2014)。這個改變，更進一步促使許多學校啟動大學部科學課程的改革，將生物學與物理學整合為跨領域的能力本位課程 (competency-based curriculum) (Thompson 等，2013)。

近來全世界生理學界有鑑於數理概念對於生理學的重要性，已有許多學者進行了相關課程的改革 (Goodman 等，2015)。比較著名的範例包括：Dwyer 等人 (1997) 設計軟體教學，簡介微分方程式如何用於描述細胞膜上離子流動與膜電位的變化；Belloni (1999) 與 Badeer (2001) 將流體力學原理整合於心血管生理學課程；Navar (1998) 以數學公式說明腎臟對體液的調控；呼吸生理學家 West (2008) 闡明換氣 (ventilation) 時的力學等。此外，本人曾親自參與的國際醫學生生理學競賽 (Inter-Medical School Physiology Quiz, IMSPQ)，歷屆考題中更不乏運用數理公式的問答題以供全世界頂尖醫學生競試 (Cheng, 2010)，非常值得我們借鏡。由以上一系列趨勢可見，數學與物理整合融入生理學課程，已成為世界醫學教育的潮流，我們必須及早因應此種挑戰。本教學實踐計畫的宗旨即為在現行臺灣的教育環境中，以創新的課程設計，有效導入此種改革。

3. 研究問題

本計畫之研究問題，係探討是否能藉由整合數學與物理重要基本原則，融入於生理學教學之課程發展，進而提升學生的學習成效？本課程設計藉由講授式上課、團隊導向學習及虛擬軟體，以多種教學法並行，整合融入數學與物理概念於生理學之教學，以求驗證此種課程設計確實能達到成效。

4. 研究設計與方法

(1) 研究對象

以本校醫學系二年級至四年級、後醫系一至二年級學生為研究對象。醫學系學生在大一、大二已修過微積分、普通物理學。後醫系學生入學前，大約 70% 以上畢業於生物醫學及醫護相關系所，大約 20% 來自理工與電機、資訊系所。

(2) 融入課程與教學活動

本研究設計是融入課程跟教學活動做行動研究。因為受到疫情影響，所以延長執行時間，剛好有兩年的時間可以做連續性的觀察。在 108 學年度，當時的醫學系三年級是 M106 班，導入的課程是基礎醫學導論跟心臟血管系統；醫學系二年級 M107 班，上的是二年級的應用物理學。此外在後醫系一年級 BM108 班，同樣也是修習基礎醫學導論跟心血管系統。在 109 學年度，M106 班進入四年級，學生可以選擇性的選修醫師科學家來觀摩實驗；M107 班進入三年級，修習基礎醫學導論跟心血管系統。後醫系二年級 BM108 班亦可以選修醫師科學家，後醫系一年級 BM109 班進入基礎醫學導論跟心血管系統課程。所以總共有四個班同時在進行觀察。研究進程如下圖：

108 學年度研究進程

醫學系二年級		醫學系三年級	醫學系四年級
醫學系三年級 M106	醫用物理學	基礎醫學導論 心臟血管系統	醫師科學家*
	醫用物理學	基礎醫學導論 心臟血管系統	醫師科學家*
醫學系二年級 M107		基礎醫學導論 心臟血管系統	醫師科學家*
後醫系一年級 BM108		基礎醫學導論 心臟血管系統	醫師科學家*
		基礎醫學導論 心臟血管系統	醫師科學家*

* 選修進行示範實驗

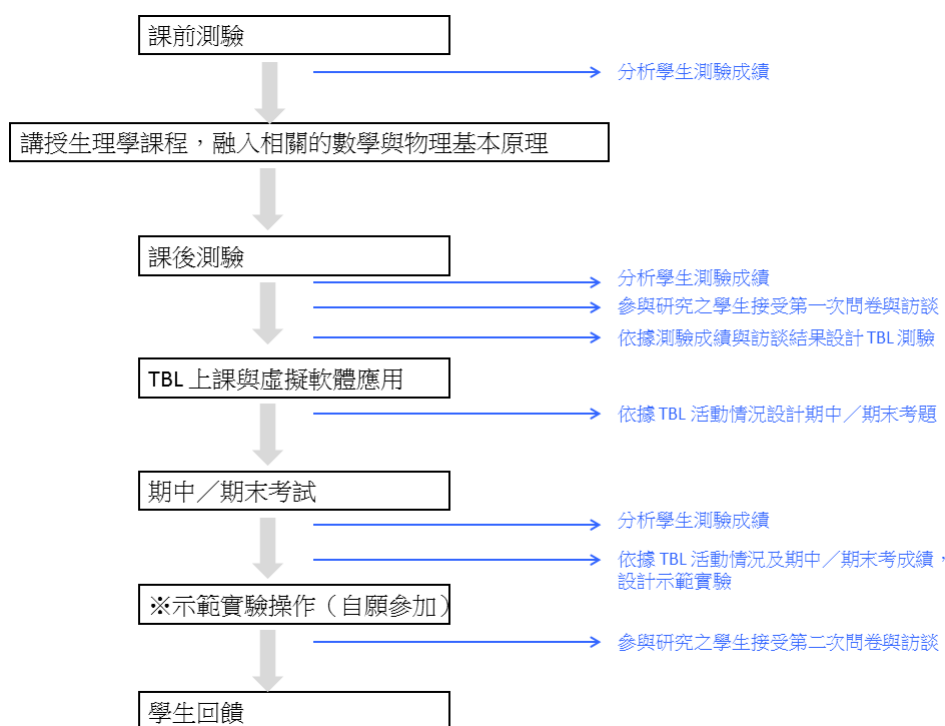
109 學年度研究進程

醫學系二年級		醫學系三年級	醫學系四年級
醫學系四年級 M106	醫用物理學	基礎醫學導論 心臟血管系統	醫師科學家*
	醫用物理學	基礎醫學導論 心臟血管系統	醫師科學家*
醫學系三年級 M107		基礎醫學導論 心臟血管系統	醫師科學家*
後醫系二年級 BM108		基礎醫學導論 心臟血管系統	醫師科學家*
		基礎醫學導論 心臟血管系統	醫師科學家*
後醫系一年級 BM109		基礎醫學導論 心臟血管系統	醫師科學家*

* 選修進行示範實驗

在上述每一課程中，均採用以下研究流程：首先在上課前先做課前測驗，講授式上課中，融入相關的數學與物理基本原理，結束時做課後測驗。接下來以團隊導向學習 (TBL) 授課，其中有包含虛擬軟體的應用活動。成績考察包含期中考、期末考。如果同學有興趣，第二年可以來選修醫師科學家的課程，觀摩示

範的實驗操作。最後接受學生的回饋，並徵求自願者訪談。



(3) 學習成效評估

量化方法部分：上課以即時反應系統 (immediate response system, IRS) 進行課前測驗，評估學生先備知識、分析學生盲點。課後測驗：以相同問題在下課後評估學生的學習效果。以統計方法比較每位同學的課前測驗與課後測驗成績、期中考或期末考成績、TBL 個別測驗與團隊成績與同儕互評成績。考題進行試題分析 (test item analysis)，用 Test Analysis Program (TAP) 軟體計算每一試題的難度 (item difficulty) 與鑑別力 (item discriminating power)。試題的信度 (reliability) 以內部一致性 (internal consistency) 代表，測量其 Cronbach's α 係數 (Miller 等，2013)。比較前後兩次測驗成績時，以 paired Student's *t*-test 比較；不同組別之成績，以 unpaired Student's *t*-test 比較， $p < 0.05$ 視為有顯著差異。

質性方法部分：在課程結束後進行問卷調查。以結構式的問題，詢問參與者對本課程中各部分的滿意度、對於數理與生理知識的理解及對自我學習成效的評估。

(4) 學生學習回饋

量化方法部分：蒐集學生對於講授式上課及 TBL 教案的滿意度。

質性方法部分：在實驗示範後進行深度訪談。重點在於探索參與者在課程中的表現，以半結構式 (semi-structured) 問題瞭解受試者對此訓練的自我評估與看法。

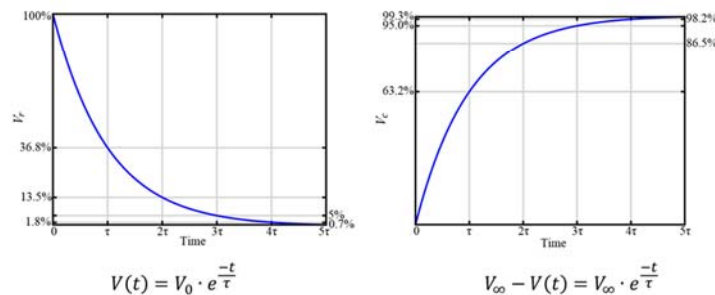
5. 教學暨研究成果

(1) 教學過程與成果

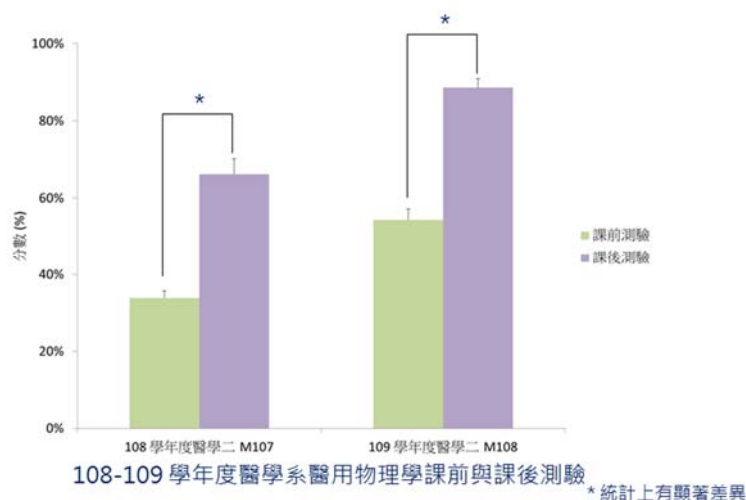
【醫用物理學教材範例】上課時講授微分方程如何應用在體內一些藥物和生物物質的濃度稀釋上。此外由此引導出了一些類似的曲線，應用於放射性衰變、細胞膜電位的變化、一級生物化學反應等等。

醫用物理學

- 典型的線性非時變系統常可見於生物醫學應用，例如：放射性衰變、一級反應的反應物含量、細胞膜電位的變化、血中藥物的稀釋等等。



比較兩學年醫學系 M107 與 M108 兩班，課後測驗成績比起課前測驗顯著提升：



【基礎醫學導論教材範例】上課時導入熱力學來估計細胞膜上離子運動的方向，判斷離子在細胞內、外的最後平衡濃度。

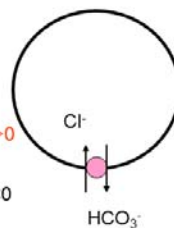
基礎醫學導論——細胞生理學

$$\Delta\mu_{i \rightarrow o}^{HCO_3} = \mu_o^{HCO_3} - \mu_i^{HCO_3} = +708 \text{ kJ/mol} > 0$$

$$\Delta\mu_{o \rightarrow i}^{Cl} = \mu_i^{Cl} - \mu_o^{Cl} = +1180 \text{ kJ/mol} > 0$$

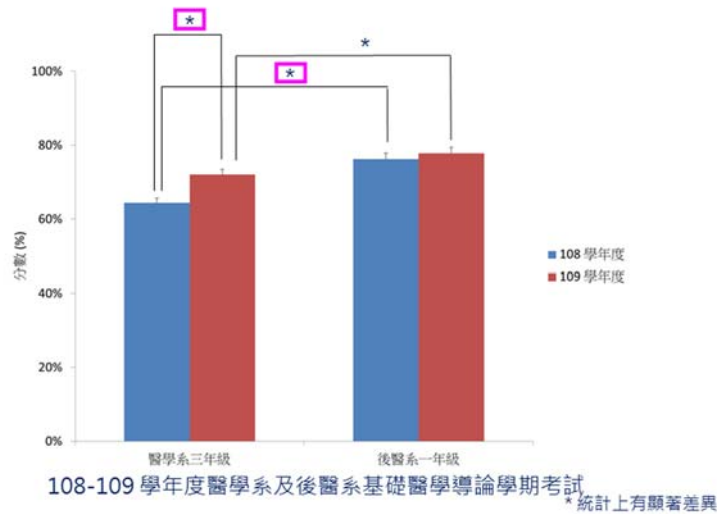
$$\Delta\mu_{Total}^{Cl-HCO_3} = \Delta\mu_{o \rightarrow i}^{Cl} + \Delta\mu_{i \rightarrow o}^{HCO_3} = +1888 \text{ kJ/mol} >> 0$$

$$\Delta\mu_{Reversed}^{Cl-HCO_3} = \Delta\mu_{i \rightarrow o}^{Cl} + \Delta\mu_{o \rightarrow i}^{HCO_3} = -1888 \text{ kJ/mol} << 0$$

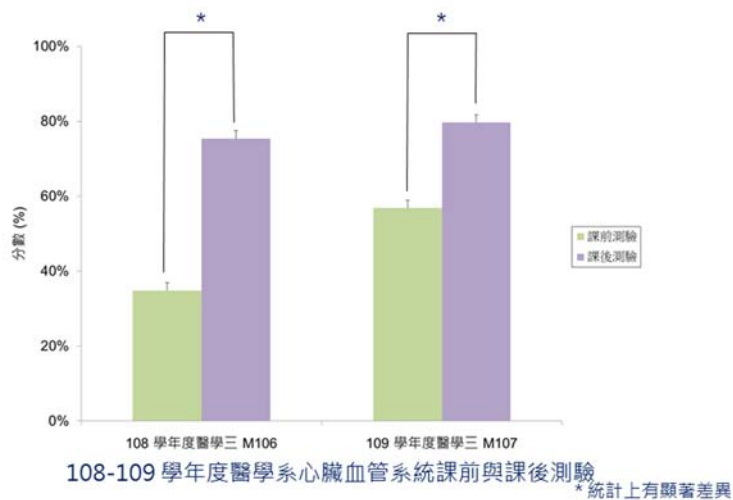


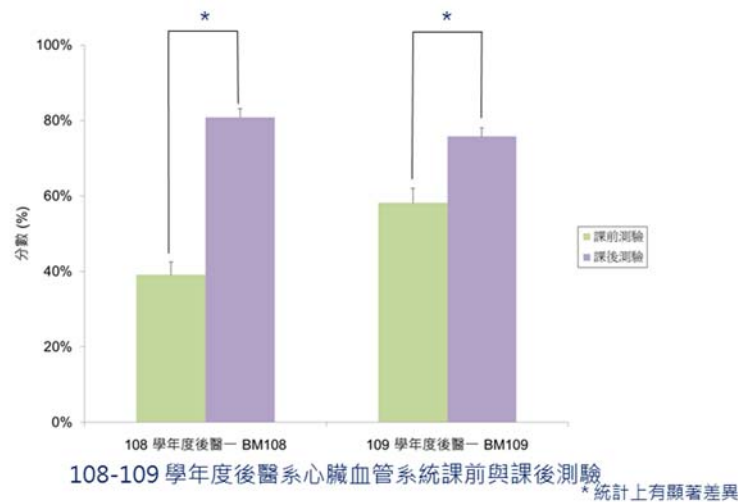
Reversed operation in erythrocytes in lungs

比較 108 學年度與 109 學年度醫學系與後醫系期中考和期末考成績，交叉分析呈現：M107 班比起 M106 班，因為已經上過了醫用物理學導入的生理學概念，所以他們在基礎醫學導論部分考試成績有顯著提升。此外，在同一學年度來比較，後醫系成績都比同屆醫學系的成績略高。可能的解釋是：因為後醫系學生大概有 20% 是來自於大學的理工科系，因此對數理概念較為熟稔。

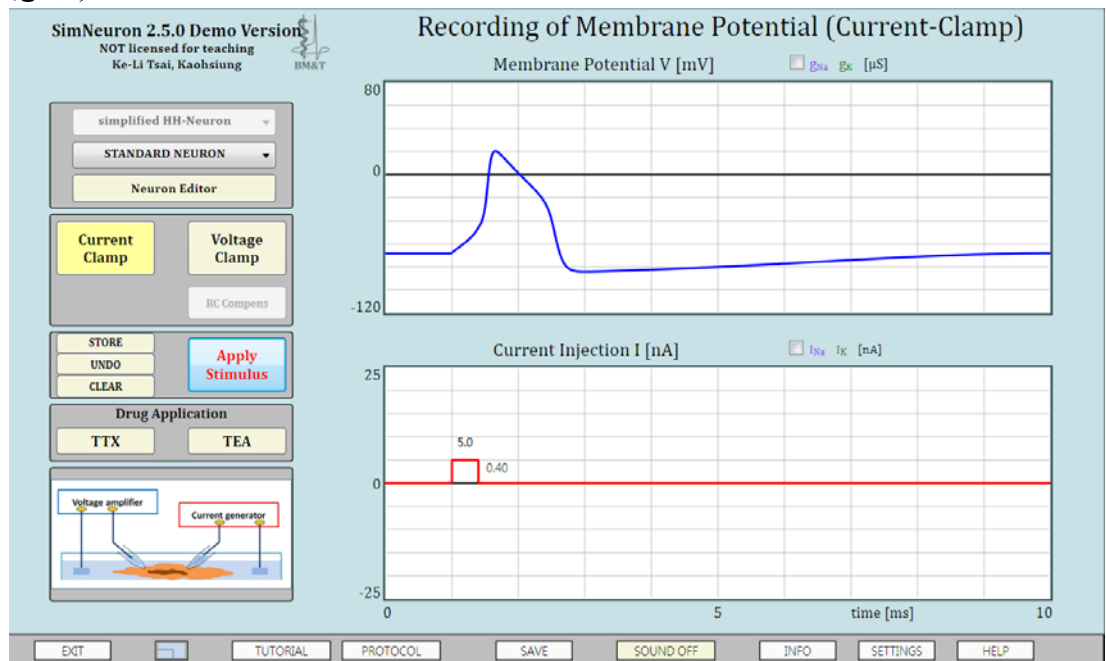


【心臟血管系統教材範例】運用流體力學來分析心音，解釋在心血管疾病中，為何會發生不正常的心音？比較 108 學年度與 109 學年度醫學系與後醫系各班的課前測驗與課後測驗成績，課後測驗均有顯著進步。

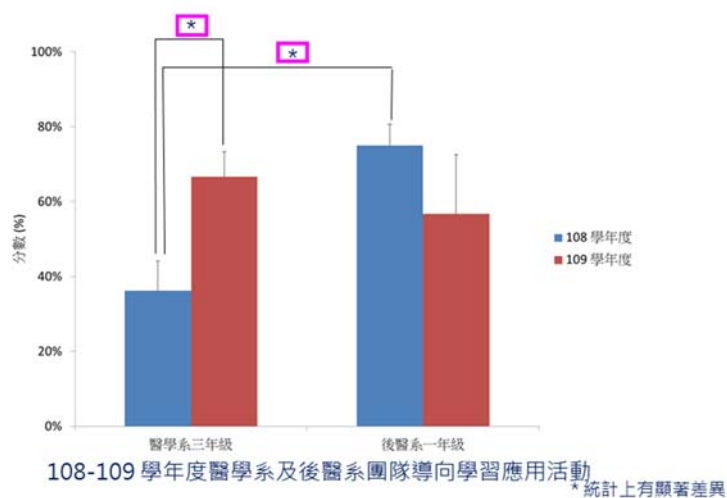




【虛擬軟體模擬範例】請學生操作虛擬生理學軟體 Virtual Physiology SimNeuron 2.5.1，不更動電壓門控離子通道 (voltage-gated ion channel) 之性質，試著改變參數，使 Standard Neuron 轉變為 Pacemaker 細胞（改變項目愈少愈好）。



在團隊導向學習部分，同樣觀察到：醫學系 M107 班相較於 M106 班，因為前者在二年級時修習醫學用物理學，內容已經導入生理學相關的概念，所以該班之團隊導向學習得到的評分比後者顯著提升。另外，尚未經醫用物理學導入時，醫學系成績比後醫系成績較低，但是經過醫用物理學導入之後，兩系差距消失，沒有顯著差異。



各學年度期中考、期末考試題經過試題分析，結果如下，大致上都合乎標準：

108 學年度

	醫學二 M107 醫用物理學 學期考試	醫學三 M106 基礎醫學導論 學期考試	後醫一 BM108 基礎醫學導論學 期考試
人數	136	144	63
平均難度 (Item Difficulty)	0.713	0.579	0.762
平均鑑別力 (Discrimination Power)	0.469	0.529	0.295
Cronbach's α 係 數	0.47	0.51	0.535

109 學年度

	醫學二 M108 醫用物理學 學期考試	醫學三 M107 基礎醫學導論 學期考試	後醫一 BM109 基礎醫學導論學 期考試
人數	155	141	61

平均難度 (Item Difficulty)	0.92	0.731	0.778
平均鑑別力 (Discrimination Power)	0.242	0.726	0.248
Cronbach's α 係數	0.413	0.556	0.437

(2) 教師教學反思

根據以上研究結果，可獲得以下結論：

- i. 各科目之課後測驗相較於課前測驗，學生得分均顯著提升。
- ii. 醫學系 M107 班在二年級時先接受醫用物理學課程有關數學與物理概念導入生理學，升上三年級後，在基礎醫學導論、心臟血管系統課程中，無論學期考試成績或團隊導向學習之應用活動成績，均有顯著進步。
- iii. 醫學系 M106 班未曾在醫用物理學課程中導入生理學，在基礎醫學導論、心臟血管系統課程中，無論學期考試成績或團隊導向學習之應用活動成績，均顯著低於同年之後醫系 BM108 班。此種差距在 M107 班與後醫系 BM109 班之間消失。

(3) 學生學習回饋

- i. 在課程結束後進行問卷調查，學生代表性意見如下：
 - A 內容完整、論述清楚，老師的回饋令人興奮：例如做出漂亮的成果會拍小組照、和老師問答時老師顯得十分開心等等。檢討與申復的時間恰到好處：有時講解、又不會花太多時間在無意義的詭辯。上完課開心興奮的心情一直持續到吃完晚餐、去圖書館面對一堆共筆。
 - B. 老師出應用題很有趣，很喜歡最後那兩題要用電腦軟體去製作出答案的題目，他們不像選擇題一樣死可以背答案，反而讓我們有機會從跟同學互動討論各種可能情境，去嘗試、失敗，失敗了再討論為什麼不對，最後嘗試出一個合理的情境且符合老師的要求。我希望以後可以更常遇到這種題目，真的很棒而且學習效果上很好，我可以從簡單一題之中學到很多情況，而且因為是自己討論來的所以記憶猶深。
 - C. 老師給予的預讀資料難度適中，並且有指引閱讀重點與方向，能夠讓我們快速的抓到要點。此外，老師還設計了應用活動，提醒我們不僅要學會基礎知識，還要懂得靈活應用，使我們收穫良多，希望未來的 TBL 都能夠如此活潑有趣！
 - D 謝謝老師的用心！讓我們了解相關知識，對血管系統更加了解，能夠推理出一些生理現象。
 - E 老師真的是難得，可以將理科的東西講得很清楚。
 - F 這次的課程內容難度比正課再艱深一點，但透過預讀資料、補充資料的學習，加上課程中與同學的討論、應用活動的練習，讓我們對於血液動力學有更深入的理解。老師所設計的題目，不管是個人測驗、團體測驗、還是應用活動，都非常用心，每一題都有他的解題要點與重要觀念，收穫良多，謝謝！

- ii. 共有 5 位學生自願接受深度訪談，學生代表性意見如下：
- A 部分醫學生與醫師認為，雖然臨床醫學也會用到數學與物理，他們並不想去深究，到時候只要會套用軟體或儀器的計算結果就可以了。但是經過老師的提點，我覺得學習更多與人體生理學有關的數學與物理，可以讓我們更深入理解生理現象。
- B 之前有另一位醫師在上課時說過，他希望我們不只是學習醫用物理學，更希望能夠進而喜愛物理。這樣的教學熱忱令人感動！
- C 很多同學說他們之所以選擇唸醫學系，是因為他們高中最擅長的科目是生物。我覺得這樣的想法太狹隘，很多醫學知識都需要數理為基礎，謝謝老師的用心！
- D 雖然老師有心在課程中帶入數理觀念，然而醫學系學生普遍面臨繁重的課業壓力，仍然偏重醫師國考科目，不容易真正用心於此。
- E 很多課堂上的概念，之前都只有模糊的認識，經過老師反覆以團隊導向學習的應用活動刺激思考後，才發現以前所學其實只是片面的。現在的確有更深入的理解。

6. 建議與省思

- i. 本研究之結果證明，藉由長期統整性、縱貫性之課程介入，整合融入數學與物理概念於生理學課程中，將能增進醫學生對生理學重要觀念之理解。生理學課程導入數學與物理概念之後，醫學生可以更深入生理機制之物理化學基礎，亦更能以量化概念思考人體生理現象。
- ii. 藉由本計畫發展之創新課程，能在保留原本醫學系與後醫系的課程框架下，有效促進醫學生將數理觀念融入醫學之學習成效。
- iii. 由於醫學系課業繁重，現階段醫學生之學習重心仍以通過第一階段醫師國考為主，然而數理相關概念並非國考應試重點，因此無法要求醫學生花費大量心力於此。此為執行本計畫之主要困難。
- iv. 本研究之成果，將有助於教學社群發展其他科目之類似教學法。

二、 參考文獻

1. Association of American Medical Colleges (AAMC)–Howard Hughes Medical Institute (HHMI) Joint Committee (2009). *Scientific Foundations for Future Physicians (SFFP)*, Washington, DC, USA: AAMC.
2. Badeer, H.S. (2001). Hemodynamics for Medical Students. *Advances in Physiological Education* 25: 44-52.
3. Badenhorst, E., Mamede, S., Abrahams, A., Bugarith, K., Friedling, J., Gunston, G., Kelly-Laubscher, R. and Schmidt, H.G. (2016). First-Year Medical Students' Naïve Beliefs about Respiratory Physiology. *Advances in Physiological Education* 40: 342-348.
4. Belloni, F.L. (1999). Teaching the Principles of Hemodynamics. *Advances in Physiological Education* 22: S187-S202.

5. Bullock, J.O. (1994). First Principles: Physical Science Concepts as A Foundation for Advanced Studies In Physiology. *Advances in Physiological Education* **11**: S55–S66.
6. Michael, J. (2007). What Makes Physiology Hard for Students to Learn? Results of A Faculty Survey. *Advances in Physiological Education* **31**: 34–40.
7. Miller, M.D., Linn, R.L. and Gronlund, N.E.(2013). *Measurement and Assessment in Teaching* (11th ed.). Boston, MA, USA: Pearson.
8. Steven and Cruickshank, Mathematics and Statistics in Anesthesia, Oxford University Press, 1998
9. Watkins, J. and Elby, A. (2013). Context Dependence of Students' Views about the Role of Equations in Understanding Biology. *CBE—Life Sciences Education* **13**: 274–286.
10. 張中嘉等 (2015)。為高醫尋路——尋回逝去的認同：學生意見白皮書。高雄：高雄醫學大學醫學系系學會。