

**【附件三】 成果報告**

**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：PGE1101199

學門專案分類/Division：通識(含體育)-體育課程

執行期間/Funding Period：2021.08.01 – 2023.01.31

**跑走運動學分析探究與實作對運動生物力學的學習成效**

**The Learning Efficiency of the Inquiry and Practice  
in the Kinematical Analysis of Walking and Running**

(配合課程名稱：運動生物力學)

計畫主持人：陳重佑

執行機構及系所：國立臺灣體育運動大學體育學系

成果報告公開日期：

立即公開  延後公開(統一於 2024 年 9 月 30 日公開)

繳交報告日期(Report Submission Date)：2023 年 3 月 20 日

## 跑走運動學分析探究與實作對運動生物力學的學習成效

### 一. 本文 Content

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

體育運動專業大專校院是主要未來學校體育、健身運動、競技運動指導人員培育的搖籃，所以，「能講解、能示範」往往是這些指導人員最重要的從業要求，通常就讀體育運動專業的大專學生在進入大學前，或有長期參與專業競技運動、健身運動訓練，或有對於各種運動參與具相當高的興趣，擁有一定水準身體能力基礎並強化未來示範動作的技巧，對於多數的體育運動專業大學生難度較低，但是，整合各種學術科目，將這些學術科目的知識應用至運動指導，發揮能講解的「打一嘴好球」精神，則有學用結合的高度落差發生。細究其原因，總能發現傳統的學科教學方式多為授課教師單方向的將知識投向學習者，授課教師幾乎控制了知識注入學習者的速度與內容，而學習者自我決定學習內容與學習速度的選擇性較低，則會有學習動機降低的現象發生，甚至就會發生專注於課堂教師的時間降低（注意力不集中）、執行非課堂工作的頻率增加（例如使用智慧型手機的次數更為密集）。扭轉教學現場的學習氛圍，探究以學習者為主的間接教學方法增進體育運動專業學生學習運動生物力學之效能，則為本研究計畫的動機。本教學實踐研究計畫的主要目的在結合本校已有的 Optojump 系統，即時測量與回饋跑步、走路的步長、步頻、著地時間、騰空時間訊息，作為運動生物力學課程學習者探究與實作跑步、走路課題的工具，以提升體育運動專業大學生在運動生物力學課程的學習成效。

#### 2. 文獻探討 Literature Review

科學的本質在於通過實驗、實作獲得的證據建構知識，因此，在科學探究的過程中，學習者、教學者就能藉由證據概念的知識合理解釋證據背後的意念 (Roberts, 2017; Roberts, Gott, & Glaesser, 2010)，也由於學習者科學探究能力的提升，間接影響科學的論證能力，所以陳美智與洪振方 (2018) 指出科學證據概念扮演科學論證能力中介變項的角色。在強化學習者探究能力的歷程，學習者必須思索證據取得的信度與效度，才能建立操弄變項與觀察變項的緊密關係進行結論，而學習者親自動手參與探究歷程，必須熟習提問解決疑惑的技能，也要對自己周邊的社會深入觀察與知覺、富有好奇心，才可能達到科學態度求真求實的目標 (National Research Council [NRC], 1996; 楊秀婷、王國華, 2007)，甚而習得與同儕或教學者合作、溝通、分享知識探索的心得，以素養導向為主體的 12 年國教課程綱要則將科學探究能力作為核心素養重點。

從問題提出、規劃實驗、呈現結果建構知識的探究與實作課程發展方向，探究學習強調以學習者為中心的翻轉學習模式，翻轉教學是傳統教師對學習者單一方向的灌輸知識的立場對換教學方法，傳統教學是授課教師講解、學習者聽講，而翻轉教學則是學習者在上課前學習或是在家自行學習、課堂期間則為學習者間的討論或師生互動，在翻轉教學的進行中，教師扮演的是學習者間討論的主持人或引導人角色 (羅志仲, 2014; 陳錦鴻, 2014)，以落實將學習工作還給學習者本身的事實，轉變了學習者被動學習方式成為主動學習、自主學習的形式，從學習的知識給予路徑的倒轉，而又稱為反向教學 (contra-traditional teaching approach)、倒轉教學 (reverse teaching)、翻轉學習 (flipped learning)、

反轉課堂 (inverted classroom)，由於在翻轉教學的歷程中，教學者由控制學習歷程轉變為與學習者共同分享學習，所以翻轉教學也被視為是間接教學 (indirect instruction) 的教學方法 (Rink, 2009)。Rink (2009) 與 Wubbels, Levy, and Brekelmans (1997) 認為學習者在主要的基本知能學習時，直接教學 (direct instruction) 方法、傳統的教師講授方法較具有效率；可是，在授課教師主導學習內容的教學方法，雖然可以提升學習成效，學習者卻只能“被動接受”訊息，而因為指導者對於學習進程的掌控抑制學習者自我主動學習的學習效益 (Janelle, Kim, & Singer, 1995)。Sams and Bergmann (2012) 認為以教學者為中心的講述知識方式，是傳統講述式教學模式，學習者需要於課室中認真聽講，並於課室後或回家進行大量反覆的複習，由於被動接收課程知識、缺少與教學者的課程討論，則沒有培養學習者主動思考的能力，乃屬於強調記憶、低層次理解的認知學習。

力學的範疇包括運動學 (kinematics) 與動力學 (kinetics)，其中，運動學乃是通過位移、速度、加速度、角位移、角速度、角加速度等參數描述運動的現象，而不探討運動產生的根源；而動力學則是以力、力矩、動量、衝量、功、動能、位能、功率等參數，解釋運動產生的根源。在運動生物力學的教學工作中，運動學概念的傳達或許以鉛球出手後、跳遠離地後的拋射體運動闡述等速度運動與等加速度運動的概念，但是，與體育學系學生更為貼近的主題則可以使用跑步或走路的工作形式。從外在行為比較走路與跑步的動作差異，可以發現走路在任何一段時間都會有單一腳或兩腳同時接觸地面的支撐階段，而跑步則會有雙腳同時離地的騰空階段之特徵，因此跑步與走路最大的差異，在於跑步完全不會有雙腳同時接觸地面的情況。以力學觀點解釋衝刺跑，若想要在許多競爭者中一馬當先，必然得在最短的時間內，以最大的速度完成目標距離，而這種短時間、高速度的衝刺行為，就含有許多力學影響因素，並表達成下列(1)至(6)的數學表達式，

$$\text{時間} = \text{距離} \div \text{平均速度} \quad (1)$$

$$\text{平均速度} = \text{步長} \times \text{步頻} \quad (2)$$

$$\text{步長} = \text{離地距離} + \text{飛行距離} + \text{著地距離} \quad (3)$$

$$\text{飛行距離} = \frac{v^2 \sin \theta \cos \theta + v \cos \theta \sqrt{(v \sin \theta)^2 + 2gh}}{g} \quad (4)$$

$$\text{步頻} = \frac{1}{\text{每步所需時間}} \quad (5)$$

$$\text{每步所需時間} = \text{著地時間} + \text{飛行時間} \quad (6)$$

其中， $v$  為離地瞬間速度、 $\theta$  為離地瞬間重心角度、 $h$  為離地瞬間重心高度、 $g$  為重力加速度。

Hay (1993) 根據這些數理關係，描繪出具有層次性的模式圖，如圖 1。

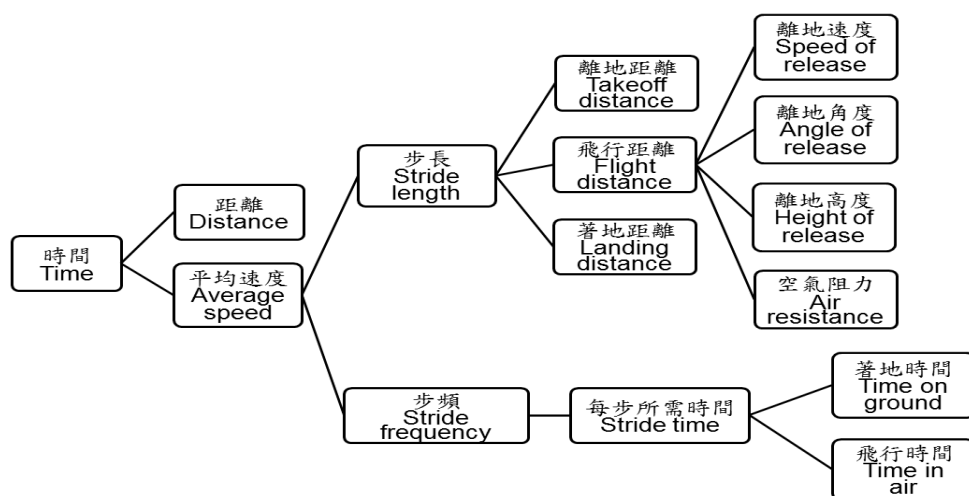


圖 1. 影響跑步的因素。改繪自“*The Biomechanics of Sports Techniques (4th ed.)*” by J. G. Hay, 1993, p. 402.

在比較跑者運動特徵的研究，通常以跑步機與實際跑道模擬運動情境分析跑者的步長與步頻，結果發現跑者的運動表現與觸地時間較短 (Hayes & Caplan, 2012) 和足部接觸模式改變 (Hasegawa, Yamauchi, & Kraemew, 2007) 等因素有關。在實際跑道上的步頻改變研究，Monte, Muollo, Nardello, and Zamparo (2017) 招募 40 名跑者在不同步頻下進行衝刺跑測驗，其中優秀的男性百米衝刺成績約為  $11.0 \pm 0.3$  秒、一般男性成績約為  $11.7 \pm 0.2$  秒、優秀的女性百米衝刺成績約為  $12.1 \pm 0.3$  秒、一般女性成績約為  $12.8 \pm 0.3$  秒，步頻依序分別為 4.3 步/秒、4.13 步/秒、4.16 步/秒、4.06 步/秒，研究者以 OptoJump 蒐集衝刺至 60-68 公尺的運動學參數，再根據正弦波法以身高、體重、觸地時間與飛行時間推算跑者的重心垂直方向位移與腿部壓縮量，結果發現最大速度區段的重心垂直位移、觸地時間與飛行時間在自選步頻時分別約為 0.0604 公尺、0.115 秒與 0.127 秒，且男性相對於女性有更短的觸地時間及重心垂直方向位移與更長的飛行時間，且腿部壓縮量在自選步頻時約達 0.213 公尺。這些測量的過程與運動學數值的即時提供，對於體育學系學生學習運動生物力學課程的樂趣就有大幅提昇的機會，也可以在運動生物力學課程實施中採用探究與實作的精神增加學習者採用後設認知 (metacognition) 的機制建構相關知識。根據 Deci and Ryan (1985) 的自我決定理論 (self-determination theory)，自我決定程度影響學習者的動機程度，學習者在知覺工作執行的自我決定程度越高，就會產生內在動機影響行為，去尋求工作執行的挑戰，以期望效能感的發生，動機的程度由高到低依序為內在動機、外在動機、無動機，在學習者對於學習工作感興趣或有樂趣的情況下，就會促進學習者更多的時間與努力付出，外在的獎賞對工作執行的支配也會大幅降低，自我決定理論也指出學習者的學習過程若有高度的自主性 (autonomy)、勝任感 (competence)、關係感 (relatedness)，就有一定程度的自我決定程度 (葉麗琴、葉麗珠, 2012)，進而影響內在動機。因此，自我 (self) 是影響動機的關鍵因素，特別是學習者對於環境有更高的控制感時，就能加增主動參與的程度，處理更為細緻、深層的學習訊息，而產生更多促進學習的正向因素 (Carver & Scheier, 1990; McCombs, 1989; 程炳林, 2002)。陳錦鴻 (2014) 也指出學習者在被動給予訊息轉為主動參與的學習主體時，學習者就能深度思考、解決問題、自主學習，進而增加溝通表達與合作學習的能力。Mazur (1997) 使用同儕教學 (peer instruction) 的教學策略要求哈佛大學物理系學生課前自主學習、閱讀學習教材、網路提出問題，在課室活動中僅進行授課教師簡略的講述，授課教師則立即提供深具挑戰性的問題組織學習者討論、解決，而增進了學習者的學習動機；Lage, Platt, and Treglia (2000) 要求學習者於進入教室前需要閱讀指定教材，而在課室活動中進行討論、實作，也發現學習者的學習動機有顯著提升之相同結果。能夠產生自主學習的學習者，就有可能具備較高的學習動機與學習成就，特別是學習者在自我決定的自我掌控機制下，可以自主調節學習方法、選擇學習內容，就能計畫與管理學習時間，創造適合學習者本身的學習環境，而擁有且管理自己的學習歷程 (Abdullah, 2001; Zimmerman, 2002)。

在現實教學現場中體育運動專業大學生的學用落差問題，輔導學生在運動學基本知識建構前操作 Optojump 的跑步、走路測量，並使用探究與實作的教學方法應用於運動生物力學課程，再就這些跑步、走路問題的討論建構運動生物力學的運動學概念，理應能實現未來學習者講述相關知識給他人的能力，也能培養學習者離開課室或學校後的自我問題解決能力。

### 3. 研究問題 Research Question

本研究計畫旨在探討以學習者為中心的探究與實作教學策略，對於體育專業大專學生修習運動生物力學課程的困難與解決方法，也需要進一步探討教學方法對於體育運動專業學生在運動生物力學課程學習成效。根據研究的目的，本研究的研究問題為：

通過跑步、走路的運動學分析，並採用探究與實作的教學方法可以提升體育專業大專學生在運動生物力學線運動學的學習成效。

#### 4. 研究設計與方法 Research Methodology

研究針對研究者教授體育學系二年級修習運動生物力學課程的學生進行觀察，在運動學單元的學習前引導學生使用 Optojump 進行 45 公尺的跑步、走路逐步資料收集，並就收集到的資料填入 Hay (1993) 影響跑步的因素模式中，以幫助學習者建構跑步、走路動作階段的元素與實測資料，進而設計影響跑步因素的研究問題，在課程實施實施後則實施運動生物力學的學習成就評量。課程實施的二次線運動學學習成就保留測驗將採用重複量數 t 檢定，考驗學生在探究與實作教學方法後的學習效果。

##### A. 研究設計

本教學實踐研究計畫係採單組前後測設計 (one-group pretest-posttest design)，因為教學工作為整個計畫實施的主軸，研究的乃在觀察課程參與學習者的改變，雖然計畫實施不採用控制組，也為了學習者的權益，擬不設對照組別，但是，在線運動學程就測驗的題項分析中，可以在教學品質上掌握學習者的課程涉入程度。

##### B. 研究範圍

由於探究與實作教學方法要求學習者的自我學習、自己動手做的歷程，所以，要求學習者要有一定量的學習參考資料，為了要求學習者能夠系統性的學習運動生物力學專業知識，本研究的課程實施則採用禾楓出版社出版的 McGinnis 運動生物力學 (張至滿、劉錦璋、陳帝佑、洪得明、陳重佑、何維華、蔡虔祿、朱彥穎、程欣儀翻譯) 一書作為主要教材，並且因為課程設計的實驗部分提供有關的參考資料，課程中會操作本校既有的 Optojump 系統 (45 公尺)，以即時提供學習者關於跑步、走路的步長與步頻訊息。

##### C. 研究對象與場域

本計畫的研究對象為體育學系二年級學生，根據該年級學生入學時的課程配當，運動生物力學為必修課程，學習成就評量的場域則為學校統一安排的教室，實驗資料學習收集的場域則為本校田徑場。運動生物力學課程參與的學生計有 A 班 54 人、B 班 58 人。體育學系三年級以上的重修學生、插班生與碩士班學生，則因為過去修習過課程、學習起點行為差異等因素，排除為本研究的學習成果分析範圍。

##### D. 教學工具與課程實施

根據研究在教學工作的設計，學習者在運動生物力學課程的實作乃是使用本校已有的 Optojump 系統 (45 公尺, 1000 Hz, MicroGate Inc., Italia)，於課程中在田徑跑道上架設系統，提供課程參與學生實際記錄跑步、走路的足部著地資料，此測量系統每一公尺有 99 個光柵 (photocell)，以感測受測者足步踩踏通過的位置與時間。連續性的跑步、走路動作通過 Optojump 系統後，套裝軟體就會根據左腳、右腳阻斷光柵的時間計算下肢擺動時間、支撐時間等參數。課程參與學生在學會自行收集慢跑、衝刺跑、慢走、快走動作的相關資料後，會要求課程參與學生套用 Hay (1993) 的跑步影響因素模式，與同儕相互比較這些影響因素的動作間、動作內差異，並相互討論這些運動學參數的意義。在第二次測試的課程實施前，計畫主持人會引導學生思考調整跑步、走路動作的課題，例如跳高、跳遠、三級跳、彈性跑等技術性的跑走動作，在這些動作技術執行後，探討有哪些運動學參數會有明顯的調整。經過這些探究與實作的學習後，課程參與學生則會具備運動學的基礎知識，再由計畫主持人統整線運動學的相關知識，以符合後設認知建構的情境。

##### E. 資料處理與分析

本研究在學習線運動學單元 (章節) 後一週實施學習成效的評量，也會在期末考階段進

行相同題目的線運動學延遲保留學習成效評量，這二次的線運動學成就評量結果將會採用重複量數 t 檢定進行統計考驗，統計的顯著水準訂為  $\alpha = .05$ ，使用的統計軟體為 SPSS 20.0 版。也會進行每一題項的學習結果分析，以掌握學習者在運動學知識建構的困難，題項分析的樣式如圖 2。

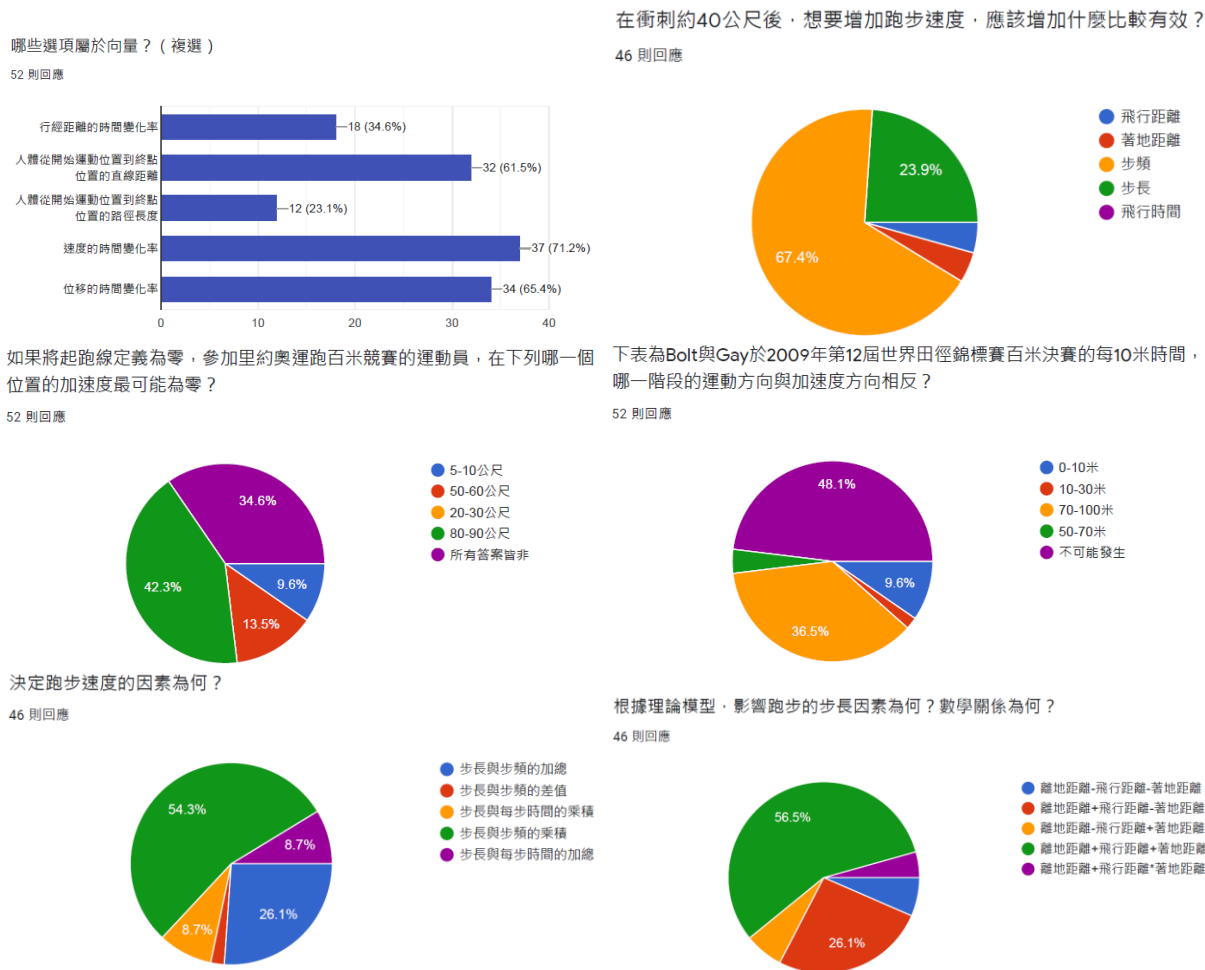


圖 2. 學習成就測驗的樣式列舉。

## 5. 教學暨研究成果 Teaching and Research Outcomes

### (1) 教學過程與成果

課程的實施在課程參與學生熟悉 Optojump 系統操作後，則要求課程參與學生討論跑步速度與步頻、步長的關係，並透過實際的現場測試，獲得快速、中速、慢速跑走的騰空時間、著地時間、步長、速度等資料。課程參與學生則再透過圖 1 的影響跑步因素，交疊計算跑步速度、步長與每步時間，表 1 與圖 3 則為學生自己多次測驗整理的描述統計資料。根據表 1 的速度資料平均速度達  $5.67 \pm 0.20$  m/s 的快速跑動作，平均步長為  $1.74 \pm 0.11$  m，經過計算則獲得步頻約為 3.26 step/s，或許這非為體育學系的學習者可以表現之最大速度，但是，學習者再就騰空時間、著地時間的總合 0.309 s，進行倒數計算也可獲得約 3.26 step/s 的結果。在圖 3 的步頻、步長、跑速關係中，也可以知道隨著跑步速度的增加，步長、步頻會隨之增加，步長的變化為開口向下的趨勢特徵，而步頻則為開口向上的趨勢特徵，慢速跑時的速度調整因子為步長，快速跑時的速度調整因子則為步頻，這一結果均符合教科書或經點相關實驗的結果。

表 1. 控制三種跑速的騰空時間、著地時間、步長、速度等參數描述統計結果。

參數	平均數	標準差	最大值	最小值
慢速				
騰空時間 (s)	0.077	0.039	0.164	0.023
著地時間 (s)	0.296	0.030	0.345	0.249
步長 (m)	1.003	0.077	1.170	0.843
速度 (m/s)	2.693	0.162	3.147	2.473
中速				
騰空時間 (s)	0.127	0.026	0.175	0.070
著地時間 (s)	0.222	0.018	0.253	0.192
步長 (m)	1.458	0.088	1.667	1.273
速度 (m/s)	4.204	0.219	4.647	3.820
快速				
騰空時間 (s)	0.133	0.021	0.171	0.082
著地時間 (s)	0.176	0.013	0.195	0.147
步長 (m)	1.741	0.114	1.983	1.480
速度 (m/s)	5.672	0.204	6.093	5.330

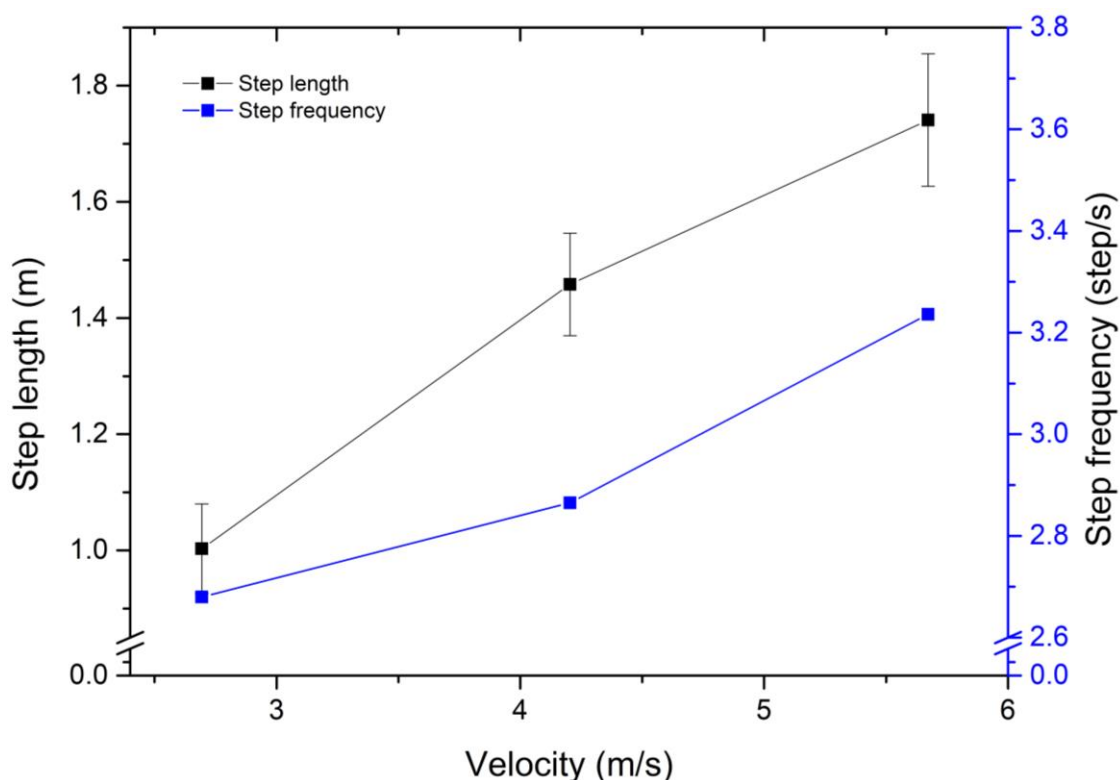


圖 3. 課程參與學生的步長、步頻與速度關係曲線。

課程單元學習結束後 1 週，則為運動學的學習評量，在總共 50 題的運動學考題中，關於跑步議題的試題（如附件資料）共約有 10 題，全體二年級學生 112 人的平均答對題數為  $7.8 \pm 1.3$  題，答對率達 78.4%。12 週後則為本課程的期末考試，研究者將同樣跑走議題的 10 題題目混入期末考範圍試題中，總題目為 60 題，結果顯示全體二年級學生 112 人的平均答對題數為  $7.9 \pm 1.8$  題，答對率達 79.1%。經相依樣本 t

檢定後，結果顯示未達統計意義.05的顯著差異， $t(111) = 1.021, p = .736$ ，表示課程參與學生在 12 週後的保留測驗中，尚能表現出對於跑走議題運動學概念的持續性掌握。

## (2) 教師教學反思

傳統運動科學的學習方式，總會是老師講授、教科書傳達訊息，即便現在網路資訊的普及時代，學習者採用準靜態的學習方式，仍是許多知識獲得的主流方法，而這種準靜態的學習方式也多屬於單一方向之目標知識進入學習者。過往荀子：「不聞不若聞之，聞之不若見之，見之不若知之，知之不若行之。」，雖然體育學系學生尚能採用形式運思的方式習得專業運動科學的知識，可是，操作測驗、思考測驗、操弄測驗、分享測驗結果，將能促進更多元的同學間、師生間互動，落實手腦並用、學用整合的做學問目標。再者，以傳統的想法來看，越是教學認真的授課教師，越會無窮盡地增加授課教材內容，以免學習者遺漏絲毫新興研究成果，不過未來學習者離開學校進入各層次的職場，還會有認真的授課教師在身邊無時無刻地整理專業新知、為學習者傳道授業解惑嗎？顯然這個答案多半是否定的，多數的學習者進入就業市場，對於新知識、疑惑的觀點，泰半僅能與同僚討論，更多是採用自行鑽研相關資料或自圓其說各種歧異，這種未來需要自己找答案、自行解釋、設法傳達想法於他人的實際職場需求，似乎與傳統學習階段的知識取得過程或方向大相逕庭。培養學習者具有自我找尋問題解答的自學能力，現在已然取代了授課教師講授專業知識的強力填塞，因此，將學習工作還給學習者本身的間接教學方法，成為教育改革的重要方向，也是授課教師需要努力追求突破的一環。

## (3) 學生學習回饋

課程中，由於實驗實施為離開課堂教室的現場操作，課程參與學生又能立即從實驗操作中獲得跑步速度、步頻、步長的訊息，也能夠反覆檢證這些參數獲得的方法，而掌握更深入的跑走運動學參數意義，有趣的實作意義均可以從學習者參與課程的程度深入瞭解。再者，從學習者 1 週後的立即保留測驗答題正確率 78.4%、12 週後的延遲保留測驗答題正確率 79.1% 來看，運動生物力學課程實施跑步的步長、步頻、速度實作與探究，對於學習者的知識獲得應有一定的成效。

## 6. 建議與省思 Recommendations and Reflections

運動生物力學是運動科學中相當重要的一門學科，體育運動專業學習者具備正確的相關知識，就能確切實踐「能示範、能講解」的技能，與他人分享動作技術執行的概念。但是，運動生物力學的數學公式、方程式往往會造成學習者的自我效能降低，而影響了運動生物力學深具高實踐價值的特性。本教學實踐研究計畫通過跑步運動學分析探究與實作的實驗操作培養，可以建立學習者更積極、更正向的學習態度，參與課程的學生將來就業職場遭遇的問題，都會因為擁有自我獨力學習的素養，而能屢屢克服難關。可是，在評量方面，由於計畫採用選擇題的評量設計以建立研究的客觀學習成果與量化分析，對於課程參與者較高層次的分析、綜合、評價等面向的觀察就略顯不足，未來利用雙向細目表的策略設計更深入的學生學習評量工具，則為未來課程設計的工作方向。

## 二. 參考文獻 References

- 陳美智、洪振方 (2018)。高一學生科學探究能力對論證預測效果之研究：以科學證據概念為中介變項。《高雄師大學報》，45，43-84。
- 陳錦鴻 (2014)。翻轉教育成功的關鍵。《臺灣教育》，688，45-46。
- 程炳林 (2002)。大學生學習工作、動機問題與自我調節學習策略之關係。《教育心理學報》，33 (2)，79-102。
- 楊秀婷、王國華 (2007)。實施引導式探究教學對國小學童學習成效之影響。《科學教育學刊》，15 (4)，439-459。
- 葉麗琴、葉麗珠 (2012)。自我決定理論在健身運動領域之驗證。《大專體育學刊》，14，188-196。
- 劉湘瑤 (2016)。科學探究的教學與評量。《科學研習》，55 (2)，5-11。
- 羅志仲 (2014)。翻轉教室翻轉學習。《師友月刊》，563，20-24。
- Abdullah, M. H. (2001). *Self-directed learning* (ERIC No.: ED459458). Bloomington, IN: Indiana University.
- Champagne, A. B., & Kouba, V. L. (2004). Writing to inquire: Written products as performance measures. In J. J. Mintzes, J. H. Wandersee, & J. D. Novak (Eds.), *Assessing science understanding: A human constructivist view* (pp. 216-237). Burlington, MA: Elsevier Academic Press.
- Deci, E. L., & Ryan, R. N. (1985). *Intrinsic motivation and self-determination in human behavior*. New York, NY: Plenum Press.
- Hasegawa, H., Yamauchi, T., & Kraemer, W. J. (2007). Foot strike patterns of runners at the 15-km point during an elite-level half marathon. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 21, 888-893.
- Hay, J. G. (1993). *The biomechanics of sports techniques* (4th ed.). Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Hayes, P., & Caplan, N. (2012). Foot strike patterns and ground contact times during high-calibre middle-distance races. *Journal of Sports Sciences*, 30, 1275-1283.
- Janelle, C. M., Kim, J., & Singer, R. N. (1995). Subject controlled performance feedback and learning of a closed motor skill. *Perceptual and Motor Skills*, 81, 627-634.
- Lage, M. J., Platt, G. J., & Treglia, M. (2000). Inverting the classroom: A gateway to creating an inclusive environment. *The Journal of Economic Education*, 31, 30-43.
- Mazur, E. (1997). *Peer instruction: A user's manual*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Monte, A., Muollo, V., Nardello, F., & Zamparo, P. (2017). Sprint running: How changes in step frequency affect running mechanics and leg spring behavior at maximal speed. *Journal of Sports Sciences*, 35, 339-345.
- National Research Council [NRC]. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academic Press.
- Rink, J. E. (2009). *Teaching physical education for learning* (6th ed.) New York, NY: McGraw-Hill.
- Roberts, R. (2017). Understanding evidence in scientific disciplines: Identifying and mapping 'the thinking behind the doing' and its importance in curriculum development. *Practice and Evidence of Scholarship of Teaching and Learning in Higher Education Special Issue: Threshold Concepts and Conceptual Difficulty*, 12(2), 411-429.
- Roberts, R., Gott, R., & Glaesser, J. (2010). Students' approaches to open-ended science investigation: The importance of substantive and procedural understanding. *Research Papers in Education*, 25(4), 377-407.
- Sams, A., & Bergmann, J. (2012). *Flip your classroom: Reach every student in every class every day*. Eugene, OR: International Society for Technology in Education.
- Wubbels, T., Levy, J., & Brekelmans, M. (1997). Paying attention to relationships. *Educational*

*Leadership, 54, 82-86.*  
Zimmerman, B. J. (2002). Self-regulated learning and academic achievement: An overview.  
*Educational Psychologist, 25, 3-17.*

### 三. 附件 Appendix

關於線運動學單元學習成效評量的題目內容

決定跑步速度的因素為何? \*

步長與步頻的加總

步長與步頻的差值

步長與每步時間的乘積

步長與步頻的乘積

步長與每步時間的加總

根據理論模型, 影響跑步的步長因素為何? 數學關係為何? \*

離地距離-飛行距離-著地距離

離地距離+飛行距離-著地距離

離地距離-飛行距離+著地距離

離地距離+飛行距離+著地距離

離地距離+飛行距離\*著地距離

根據理論模型, 影響跑步的步頻因素為何? 數學關係為何? \*

$1 / (\text{著地時間} - \text{飛行時間})$

$\text{著地時間} - \text{飛行時間}$

$\text{著地時間} + \text{飛行時間}$

$1 / (\text{著地時間} + \text{飛行時間})$

$\text{著地時間} * \text{飛行時間}$

在衝刺約5公尺後, 想要增加跑步速度, 應該增加什麼比較有效? \*

飛行距離

著地距離

步頻

步長

飛行時間

在衝刺約40公尺後，想要增加跑步速度，應該增加什麼比較有效？ \*

- 飛行距離
- 著地距離
- 步頻
- 步長
- 飛行時間

在斜坡道進行衝刺跑的各種速度訓練時，運動員主要是在改變什麼？ \*

- stride length
- stride frequency
- time in air
- stride time
- time on ground

跑步出現疲勞現象時，會導致什麼動作的改變？ \*

- increased stride frequency and decreased stride length
- increased stride frequency and stride length
- decreased stride frequency and stride length
- decreased stride frequency to increase running velocity
- decreased stride frequency and increased stride length