

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：PGE1110346

學門專案分類/Division：通識（含體育）-體育課程

計畫年度：111 年度一年期 110 年度多年期

執行期間/Funding Period：2022.08.01 – 2024.01.31

計畫名稱/Title of the Project：

垂直跳計量分析實作對動量-衝量關係的學習成效

**The Learning Efficiency of the Practice in the Quantitative Analysis  
of Vertical Jump on Momentum-Impulse Relationship**

配合課程名稱/Course Name

運動生物力學 Biomechanics in Sport

計畫主持人(Principal Investigator)：陳重佑

執行機構及系所(Institution/Department/Program)：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 2025 年 7 月 31 日公開）

繳交報告日期(Report Submission Date)：2023 年 3 月 19 日

# 垂直跳計量分析實作對動量-衝量關係的學習成效

## The Learning Efficiency of the Practice in the Quantitative Analysis of Vertical Jump on Momentum-Impulse Relationship

### 一、本文

#### 1. 研究動機與目的

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開發蹲踞跳、下蹲垂直跳計量分析的教學方法，藉由方格紙格子數數的方式建構體育運動專業大學生在力量產生運動現象的過程，俾使課程學習者瞭解動量-衝量關係的動作分析，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. 研究問題

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，多半僅能與同僚討論，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. 文獻探討

垂直跳 (vertical jump, VJ) 最常見的兩種跳躍類型為蹲踞跳 (squat jump, SJ) 和下蹲垂直跳 (countermovement jump, CMJ) ，其兩個動作差異在於起始的準備姿勢，SJ 在起跳前身體預先下蹲呈現蹲踞動作作為起始姿勢，開始跳躍時直接執行蹬伸階段，下肢伸肌肌群在動作過程主要為肌肉主動縮短的向心工作形式，通常被拿來作為肌肉直接向心收縮的評估工作 (Komi, 1984; Mackala, Stodolka, Siemienski, & Coh, 2013) 。CMJ 以身體直立為起始姿勢，跳躍動作開始時先執行下蹲動作後，隨即接續蹬伸起跳的跳躍方式，透過下蹲時的反向運動使得起跳離地後，身體重心能產生最大的向上位移，下肢伸肌肌群的工作是屬於先執行離心工作，接續執行向心工作的動作模式 (Hamill, Knutzen, & Derrick, 2015;

McMahon, Suchomel, Lake, & Comfort, 2018)。SJ 因需要身體預先下蹲，跳躍時直接執行下肢的蹬伸，此種跳躍模式因無離心收縮階段，在學理上視為主要工作肌肉無法利用儲存的彈性能量，也沒有誘發牽張反射機制執行工作的跳躍模式；CMJ 以直膝站立為起始姿勢，跳躍動作開始時先執行下蹲動作後蹬伸離地，所以主要下肢伸肌群跳躍動作依序執行離心與向心肌肉收縮，同時利用了快速屈蹲的離心收縮，緊接著做快速起跳的向心收縮，而使得此跳躍工作產生動作效果提升，這種的肌肉工作形式就被視為牽張縮短循環 (stretch-shortening cycle, SSC) 帶來的效益，具有彈性能、牽張反射 (stretch reflex)、產生力量的時間 (time to develop force) 與力量產生的潛在能力 (force potentiation) 等機制 (Enoka, 2015)。

對於跳遠、足球、籃球、排球等強調爆發力素質的競技性運動，編排增強式運動 (plyometric exercise) 以提升牽張縮短循環的工作機制，有助於增進爆發力、肌力、彈跳能力及敏捷性 (Kossow & Ebben, 2018)。增強式訓練的原理，是主要肌肉藉離心收縮所造成的快速牽拉，儲存彈性能，隨後再立即做向心收縮使彈性能釋放，產生快而強力的動作表現，此外，主要肌肉被拉長的負荷、力量程度會影響增強式訓練課程，必須考量訓練強度與肌肉被拉長次數，進而關心肌肉、結締組織與關節肌肉連接點的力量問題。要有效提升爆發力、速度和敏捷性就必須有特殊訓練方式，*生物力學上經常關心作用力與運動動作間的關係*，跳躍運動過去大部分只針對垂直方向負荷進行探討 (Jarvis, Graham-Smith, & Comfort, 2016)，但是也必須關心比賽現場強調向前、向左的力量作用效果與負荷。Kossow 與 Ebben (2018) 以 20 名運動員為實驗參與者，比較在三軸方向的地面反作用力 (ground reaction forces, GRF) 及發力率 (rate of force development, RFD)，研究者分析 CMJ、欄間跳 (hurdle hop, HH)、跨步跳 (bounding, BND)、青蛙跳 (double leg hop, DLH)、立定跳遠 (standing long jump, SLJ) 等 9 種增強式運動，結果顯示 HH、BND、DLH、SLJ，在垂直、前後、左右等方向的發力率統計上顯著較高於 CMJ，研究認為許多水平增強式訓練不僅在垂直方向上，在前後方向與左右方向也產生較高的發力率，而垂直方向的增強式運動對短

跑和改變方向性能較有限，結合水平增強訓練能提高短跑的表現。將水平與垂直方向結合似乎也可以改善跳躍高度、增加最大力量，在 Ramírez 等 (2015) 研究中也認為水平加垂直方向的增強式訓練能夠有效提升下肢跳躍的能力。除了需要關心運動中垂直、前後、左右方向的力量作用特徵，Barker, Harry, Dufek, 與 Mercer (2017) 認為騰空造成身體旋轉的地面反作用力會影響下蹲垂直跳躍的表現，由於旋轉跳躍包含內/外側、前/後側的地面反作用力，研究者比較 24 名足球運動員 CMJ 和轉身 180 度 CMJ 跳躍高度，也分析下蹲和蹬伸階段的地面反作用力差異，研究顯示轉身 180 度 CMJ 騰空高度下降且增加前/後側力量，而高度下降的原因跟協調動作有關，轉身動作主要是通過前/後側地面反作用力的影響，運動員為了適應跳躍模式致使垂直跳能力受到限制或非為最大努力的方式執行動作。

傳統使用測力板進行 CMJ 測量，通常會要求實驗參與者以站立插腰或擺臂的方式執行動作，因為從靜止站立開始動作，測力板系統會記錄一段體重的資訊，這個體重資訊也可以作為後續合力計算基礎值。CMJ 動作執行過程開始後地面反作用力會依序經歷少於體重、高於體重到離地、騰空、著地等歷程，其地面反作用力曲線就是隨著時間而變化的曲線，通常使用  $F(t)$  代表在每一時刻隨著時間變化的力量曲線，將地面反作用力曲線扣除體重就可以獲得合力  $\Sigma F(t)$ ，數學式可以表達為：

$$\Sigma F(t) = F(t) - mg$$

其中， $m$  為動作者身體質量、 $g$  為重力加速度。

合力對時間進行積分就可以獲得衝量，合力除以動作者身體質量就可以獲得人體重心加速度-時間曲線，並以積分的數值處理方法獲得人體重心的速度-時間曲線與位移-時間曲線。動作者離地前的衝量影響著離地瞬間的重心速度，當然也就決定了重心的最大騰空高度，劉宇 (1998) 提出「獲取運動速度之最大衝量原理」，闡述動作者可以通過增加最大力量、作用力的時間或力量-時間作用曲線的斜率等途徑來增加離地前的衝量，使得離地瞬間速度達到最大。因此，CMJ 下蹲最低點到蹬離速度最快期間的合力對時間積分值，就能得

到向心階段的衡量，以轉換外力作用的運動效果。為了觀察擺臂動作對於 CMJ 在力量-時間作用曲線和下蹲牽張幅度的影響，Vaverka 等 (2016) 分析無擺臂與擺臂對提升 CMJ 之有效衡量效應，其結果發現擺臂動作的跳躍高度比無擺臂動作高 37.7% (約增加 14.3 cm)，擺臂 CMJ 加速階段平均力量與作用力時間都顯著高於無擺臂 CMJ，而增加了騰空高度。其中，作用力時間增加的現象，擺臂的動作過程會延緩下肢伸肌群向心收縮的速度，以增加下肢對地面作用力量的時程。在下蹲垂直跳的過程中，Luhtanen 與 Komi (1978) 認為踝關節的蹠屈動作對於提供起跳速度的貢獻程度達 22%，要提升垂直跳的表現，也需要考量踝關節蹠屈肌被牽拉或縮短的肌肉彈性特徵。而 Struzik 與 Pietraszewsk (2019) 探討腿後肌腱群與股四頭肌比值 (hamstrings/quadriceps ratio, H/Q ratio) 與運動表現之間的關係，顯示 H/Q ratio 與跳躍高度具有統計意義的正相關，如果將腿後肌腱群視為膝關節的屈肌，從減緩關節蹬伸速度的角度來看，較高的 H/Q ratio，似乎也可以說明 CMJ 動作時間的增長，促進跳躍高度的增加。另外，Beardt 等 (2018) 採用影片分析的方法觀察著地關節角度的改變，讓實驗參與者使用 CMJ 起跳著地動作分析模擬排球情境封網著地動作和跳深 (drop jump) 著地運動學特徵比較，研究發現跳深與 CMJ 起跳的模擬排球情境封網著地僅在跳躍高度、右髌屈曲初始、峰值角度具有統計上顯著相關。作者建議要觀察排球相關傷害研究還是要使用 CMJ 測試才會接近實際狀況。然而使用 CMJ 做著地傷害研究的實驗操弄，會面臨所有參與者跳躍高度不同的問題，沒有辦法量化著地相同的情境。總結上述，除了 Vaverka 等 (2016) 分析無擺臂與擺臂對提升 CMJ 之有效觀察衡量的變化之外，以上不同的研究操弄應該要去觀察跳躍各階段衡量的改變，主要關心下蹲速度最快到減速的工作幅度及下蹲最低點到離地幅度與速度變化整體的相關性。

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，動力學概念的傳達必須建構牛頓運動定律的概念，也需要深入剖析力量作用對於運動狀態改變的影響，解釋動量-衝量關係，採用 CMJ 與 SJ 的地面反作用力的曲線特徵比較、計量分析，則為體育運動專學生切身關心的議題。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。CMJ 與 SJ 的地面反作用力計量分析過程與探究，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。在現實教學現場中體育運動專業大學生的學用落差問題，輔導學生使用方格紙進行動力學的計量分析，除了可以實作建構微積分的基本知識、比例尺規的轉換觀點，亦可以就這些垂直跳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。

#### 4. 教學設計與規劃

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。因此，會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，在動力學單元的學習前引導學生使用 1 mm 的方格紙描繪 CMJ 與 SJ 的地面反作用力-時間曲線，再就方格紙上的地面反作用力曲線進行衡量的計算，其中，也會引導學生在精準條件下，發展衡量計量的策略（地面反作用力曲線或合力曲線對於時間軸線的面積），以幫助學習者建構 SJ 與 CMJ 動作階段的元素與特徵，進而設計影響騰空高度因素的研究問題，在課程實施實施後則實施運動生物力學的學習成就評量。

課程實施的二次線動力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。整學期課程的實施方式，主要採用 108 年計畫申請人通過的教學實踐計畫學思達教學方法，要求學習者在課程開始的 15-20 分鐘，以手機填寫課程單元的 Google 表單，表單的問題設計乃依據各單元的課本內容進行設計，學習者需要翻閱課本並依照內容填寫答案，也會根據分組提交討論後的答案，各分組也會需要在授課教師引導下，與同儕分享答案的內容並口頭表達解釋各單元的問題。

## 5. 研究設計與執行方法

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，在線動力學成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。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。課程中需要提供課程參與學生 CMJ 與 SJ 地面反作用力獲得的過程，因此，本計畫主持人會輔助學習者，並解釋使用 1 mm 方格紙進行計量分析的過程。

根據研究在教學工作的設計，研究者為授課教師，在運動生物力學課程中會介紹測力板系統(Kistler 9287BA)，並協助課程參與學生自行記錄 CMJ 與 SJ 的地面反作用力曲線。獲得的地面反作用力曲線則通過印表機輸出，再使用 1 mm 方格紙描繪地面反作用力曲線。根據比例尺的概念，授課教師會要求學習者自方格紙上讀取騰空時間、體重等，再計算重心騰空高度(騰空時間獲得)、身體質量，再通過地面反作用力曲線估算動作過程的衝量、動量、離地速度，並由離地速度估算重心騰空高度(離地速度獲得)。學習者則就二種計算過程探討重心騰空高度指標差異的可能原因，也探討經由方格紙獲取重心騰空高度與由測力板系統分析軟體計算重心騰空高度(效標)差異的可能原因。在授課教師的引導下，學習者則需要討論衝量精細估算的提升策略與影響原因，若在騰空高度作為肌力或爆發力診斷指標時，影響衝量的地面反作用力曲線有何物理意義與實務應用的原則探究。經過這些量化分析的探究與實作的學習後，課程參與學生則會具備動力學的基礎知識，再由計畫主持人統整線動力學的相關知識，以符合後設認知建構的情境。本研究在學習線動力學單元(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動力學延遲保留學習成效評量，這二次的線動力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，以掌握學習者在動力學知識建構的困難。

## 6. 教學暨研究成果

本研究的教學現場中，運動生物力學課程講授到牛頓第二運動定律，為了建構學生力量造成運動狀態改變的觀念，課程則進入生物力學實驗室操作測力板，測量垂直跳動作的地面反作用力，並由即時的地面反作用力分析，學生可以操作分析軟體獲得垂直跳離地瞬

間的速度、重心騰空高度。課程中，有學生詢問追求騰空高度的策略、力量造成運動的關係，而為了更進一步解釋這些概念，請課程的助理立即購置 1 mm 的方格紙，並發給每一位同學，要求同學將實測獲得的下蹲垂直跳地面反作用力-時間曲線印出，再描繪至方格紙上，由方格紙的尺規刻度計算離地時間、體重、身體質量、衝量、離地速度等。

在學習成就測驗中，因為教學實踐計畫有期中考、期末考的學習狀態分析，是以有 10 個題目關於 CMJ 與衝量-動量關係的命題，並在二次考試中出現，以評量學生的保留效果。題目的方向包括 CMJ 地面反作用力的曲線辨別、運動學曲線辨別、下蹲到起跳階段的時相判定，也有關於跑步的地面反作用力曲線特徵判斷。運動生物力學課程修課學生，2 個班級共 151 人，有參與期中考與期末考的學生有 143 人，其中，修課學生在期中考答對  $6.2 \pm 2.1$  題，修課學生在期末考答對  $6.6 \pm 1.9$  題，經重複量數 t 檢定後發現修課學生在期中考與期末考的這 10 題正確數目未達統計意義 .05 的顯著差異， $t(142) = 1.29, p = .34$ ，顯示修課學生在學習後的 7-8 週，雖然課程沒有再述及 CMJ 的曲線特徵、動量-衝量關係等概念，學生仍然可以有達到將近 7 成的答題正確率，雖然沒有再更為精進相關知識，卻也都能保持應有的動力學概念。因為垂直跳計量分析實作教學方法為學習者自學、動手操作與分析、思考問題、發表看法的循環教學模式，對於學習者來說，具有較為高程度的學習者自我掌控與支配，所以，能增加主動參與的程度，促進學習的內在動機。就 Bandura 的觀察學習理論，每位學習者能夠完成課程學習 Google 表單，檢查了注意歷程；參與小組討論、發表與期中期末測驗，則檢視了保留、行為複製歷程；探索過程的題問與處理檢視了學習的動機歷程。當然，因為這種學習者自我學習的習慣開發，課程參與者的獨立問題解決能力、啟動自我學習的機制，則都是課程計畫完成後的重要目標。

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。

CMJ 與 SJ 的地面反作用力計量分析過程與探究，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。

## 7. 建議與省思

研究主要對象進行運動生物力學課程之第一次上課，授課教師將會告知修習課程學生本教學實踐研究計畫的關心課題，也會充分告知學習者垂直跳計量分析實作教學方法課程實施的過程，傳達希望學習者配合的工作事項與預期目標，使學習者知道教學方法研究對於

教學方法革新的重要性。雖然，授課教師為研究者，課程參與者也知道研究操弄的方法與目標，這些課程參與者也都知道具有被觀察的身份，而使得研究計畫的執行面臨霍桑效應與研究者預期心理的可能影響，以影響教學方法操弄的內在效度，在權衡本教學實踐研究計畫的最終目的在增進學習者的學習動機與運動生物力學課程的成就，這些內在效度的威脅是為本研究無法完全排除的限制。不過，因為整個課程實施長達 18 週（一學期），課程參與學習者與授課教師也會由於長時間的課程實施操弄、多次的測驗評量、每次上課的 Google 表單填寫而習慣課程的執行改變，前述的內在效度威脅情況則有降低的可能。

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垂直跳計量分析實作的動手操作能力培養，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。垂直跳計量分析實作教學方法在運動生物力學課程的有效應用，也可以提供體育專業大學的相關課程教師作為未來實施課程的參考，為更多的學習者建立學用合一的學習環境。

## 二、參考文獻

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。

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。

劉宇（1998）。生物力學原理。於許樹淵編，運動力學（pp. 69-78）。臺北市：中華民國體育學

會。

羅志仲 (2014)。翻轉教室翻轉學習。師友月刊, 563, 20-24。

Barker, L. A., Harry, J. R., Dufek, J. S., & Mercer, J. A. (2017). Aerial rotation effects on vertical jump performance among highly skilled collegiate soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 31(4), 932-938.

Beardt, B. S., McCollum, M. R., Hinshaw, T. J., Layer, J. S., Wilson, M. A., Zhu, Q., & Dai, B. (2018). Lower-extremity kinematics differed between a controlled drop-jump and volleyball-takeoffs. *Journal of Applied Biomechanics*, 34(4), 327-335.

Enoka, R. M. (2015). *Neuromechanics of Human Movement* (5th ed.). Champaign, IL: Human Kinetics.

Hamill, J., Knutzen, M. K., & Derrick, R. T. (2015). *Biomechanical basis of human movement* (4th ed.). Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.

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.

Jarvis, M. M., Graham-Smith, P., & Comfort, P. (2016). A methodological approach to quantifying plyometric intensity. *Journal of Strength Conditioning Research*, 30, 2522-2532.

Komi, P. V. (1984). Physiological and biomechanical correlates of muscle function: Effects of muscle structure and stretch-shortening cycle on force and speed. *Exercise and Sport Sciences Review*, 12, 81-121.

Kossow, A. J., & Ebben, W. P. (2018). Kinetic analysis of horizontal plyometric exercise intensity. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(5), 1222-1229.

Mackala, K., Stodólka, J., Siemienski, A., & Coh, M. (2013). Biomechanical analysis of squat jump and countermovement jump from varying starting positions. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 27, 2650-2661.

McMahon, J. J., Suchomel, T. J., Lake, J. P., & Comfort, P. (2018). Understanding the key phases of the countermovement jump force-time curve. *Strength and Conditioning Journal*, 40(4), 96-

- National Research Council [NRC]. (1996). *National science education standards*. Washington, DC: National Academic Press.
- Ramírez, R., Gallardo, F., Henriquez, C., Meylan, C. M., Martínez, C., Álvarez, C., Caniuqueo, A., Cadore, E. L., & Izquierdo, M. (2015). Effect of vertical, horizontal, and combined plyometric training on explosive, balance, and endurance performance of young soccer players. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 29(7), 1784-1795.
- 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.
- Struzik, A., & Pietraszewski, B. (2019). Relationships between hamstrings-to-quadriceps ratio and variables describing countermovement and drop jumps. *Applied Bionics and Biomechanics*, 1-9.
- Vaverka, F., Jandačka, D., Zahradník, D., Uchytíl, J., Farana, R., Supej, M., & Vodičar, J. (2016). Effect of an arm swing on countermovement vertical jump performance in elite volleyball players. *Journal of Human Kinetics*, 53(1), 41-50.
- Wubbels, T., Levy, J., & Brekelmans, M. (1997). Paying attention to relationships. *Educational Leadership*, 54, 82-86.

三、附件



928 屏東縣東港鎮中正路一段 210 號  
No.210, Sec. 1, Jhongjheng Rd., Tong Gang City, Pingtung  
County 928, Taiwan (R.O.C.)  
TEL : 08-8329966#5309  
Mail : tsmhirb2018@gmail.com 聯絡人：鄭孟媛

人體試驗委員會同意書-免審  
Certificate of Approval

日期：2022 年 07 月 07 日

本會編號/試驗編號【TSMHIRB No./ Protocol No.】：22-056-C

計畫書版本/日期【Protocol Version/Date】：Version1.0/ Jun 05, 2022

受試者同意書/版本日期【Informed Consent Forms Version/Date】：

Waiver of Informed Consent

個案報告表版本/日期【Case Report Form Version/Date】：Version2.0/ Jul 06, 2022

核准日期【Approval Date】：Jul 07, 2022

計畫名稱：垂直跳計量分析實作對動量-衝量關係的學習成效

Protocol Title : The Learning Efficiency of the Practice in the Quantitative Analysis of  
Vertical Jump on Momentum-Impulse Relationship

計畫主持人【機構】：陳重佑 【國立臺灣體育運動大學】

Principal Investigators【Research Institute】：Chen, Chung-Yu

【National Taiwan University of Sport (NTUS)】

本計畫為免審，免審的研究計畫不須追蹤審查。但研究計畫若有變更，須重新以新案送審。

Exempt research is not subject to continuing review. However, any modifications must re-submit as new protocol.

安泰醫療社團法人安泰醫院人體試驗委員會主任委員  
Antai Medical Care Cooperation Antai-Tian-Sheng memorial  
Hospital Institutional Review Board  
Chairman



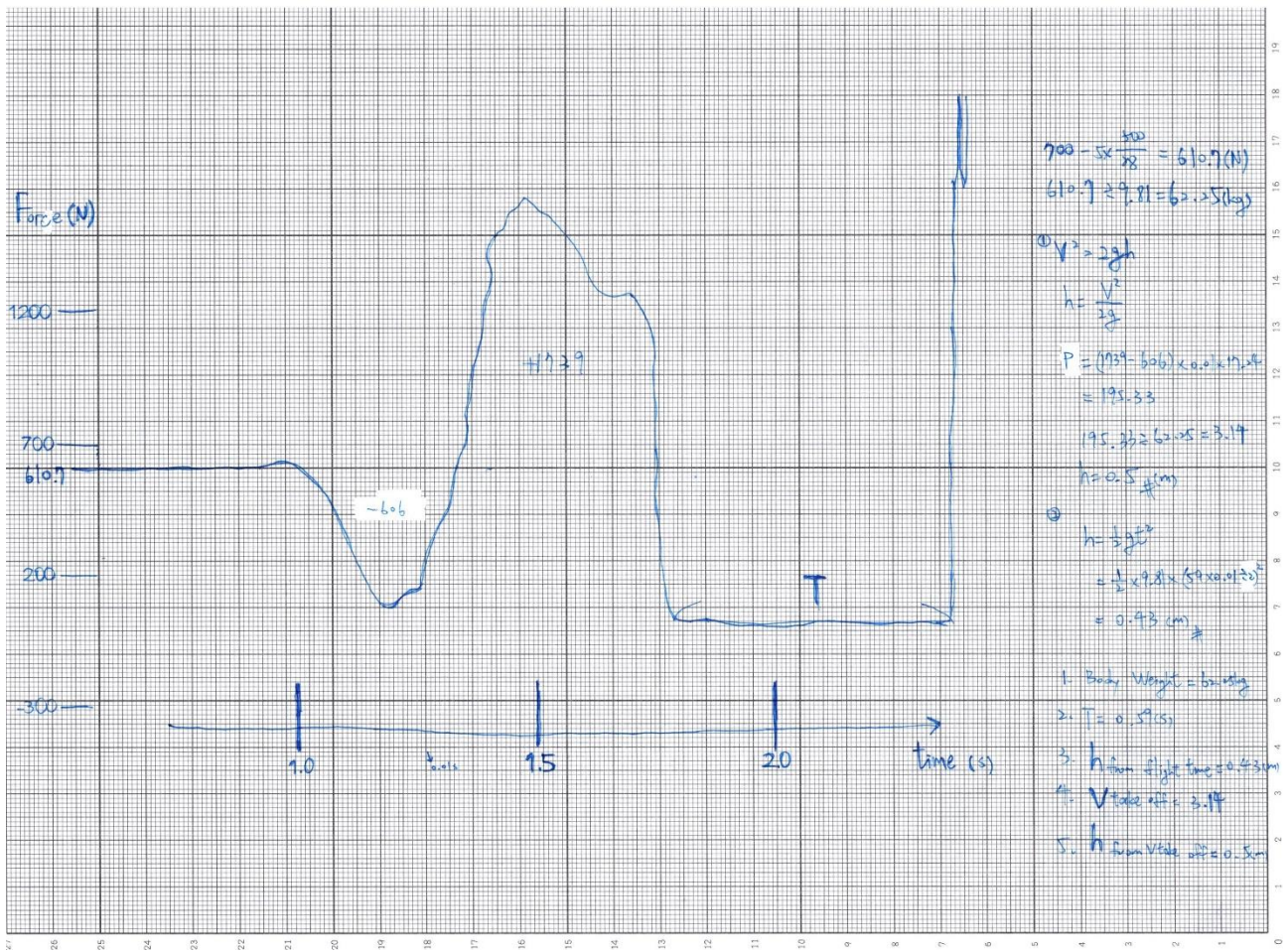


圖 1. 課程學生描繪於方格紙上的垂直跳地面反作用力曲線與相關參數計算

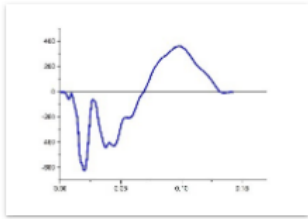


圖 2. 課程學生計量分析垂直跳地面反作用力曲線的現場。

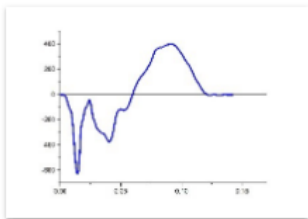
\*\*\*

下列選項的圖，為優秀短跑運動員執行衝刺跑的水平方向地面反作用力對時間曲線，這些曲線乃在衝刺跑到不同距離時的測力板力量收集。哪一個圖屬於“最高速度”時的地面反作用力曲線？

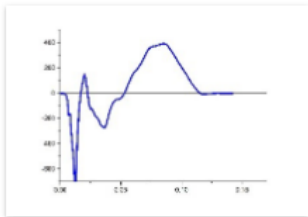
選項 A



選項 B



選項 C

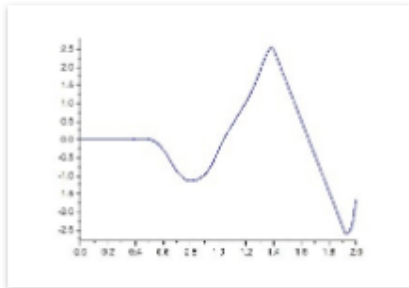


選項 D

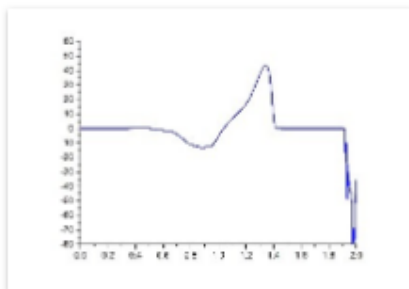


下列選項的圖，何者為下蹲反跳（垂直跳）的地面反作用力對時間曲線？

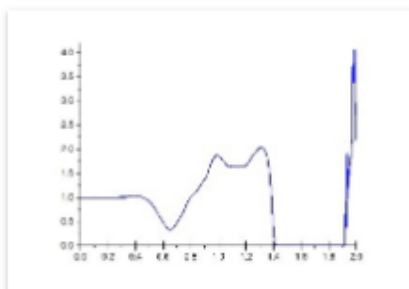
選項 A



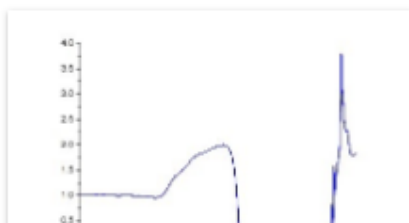
選項 B



選項 C

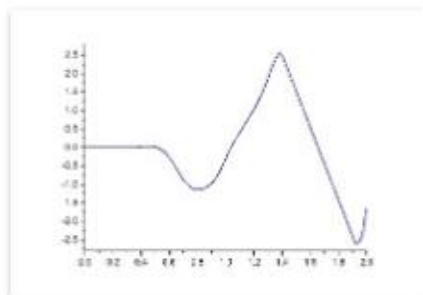


選項 D

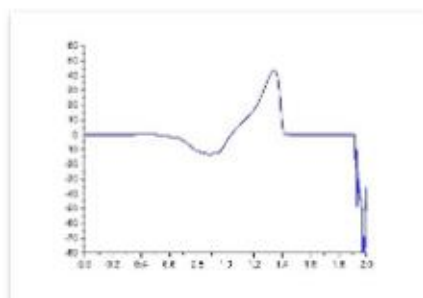


下列選項的圖，何者為下蹲反跳（垂直跳）的重心位移對時間曲線？

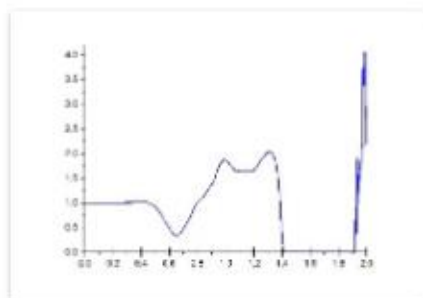
選項 A



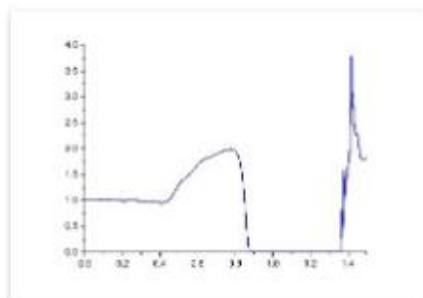
選項 B



選項 C

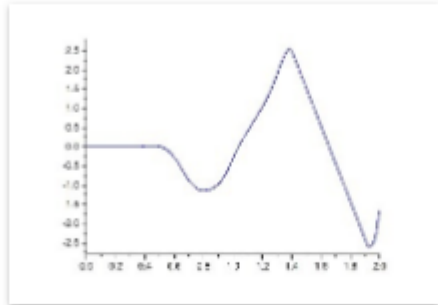


選項 D

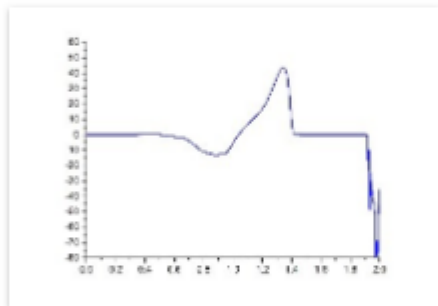


下列選項的圖，何者為下蹲反跳的重心速度對時間曲線？

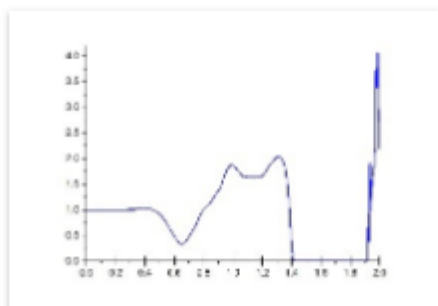
選項 A



選項 B

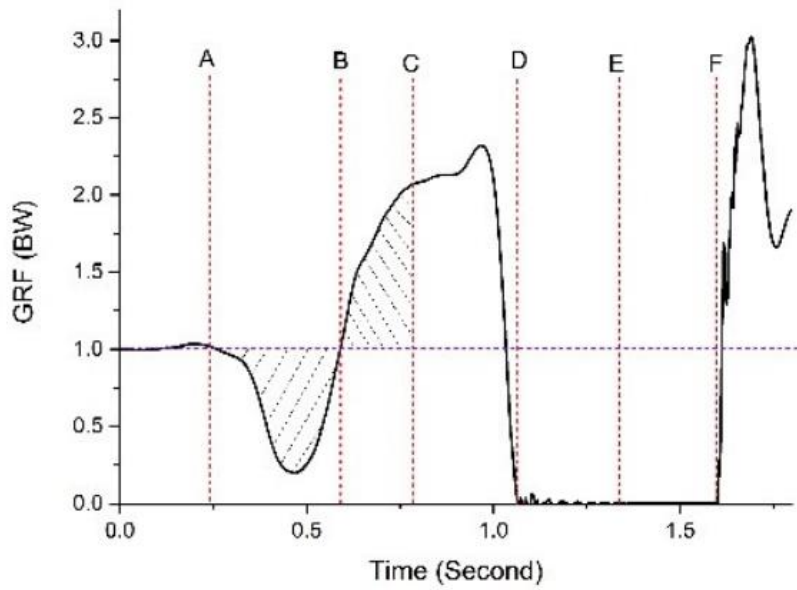


選項 C



選項 D

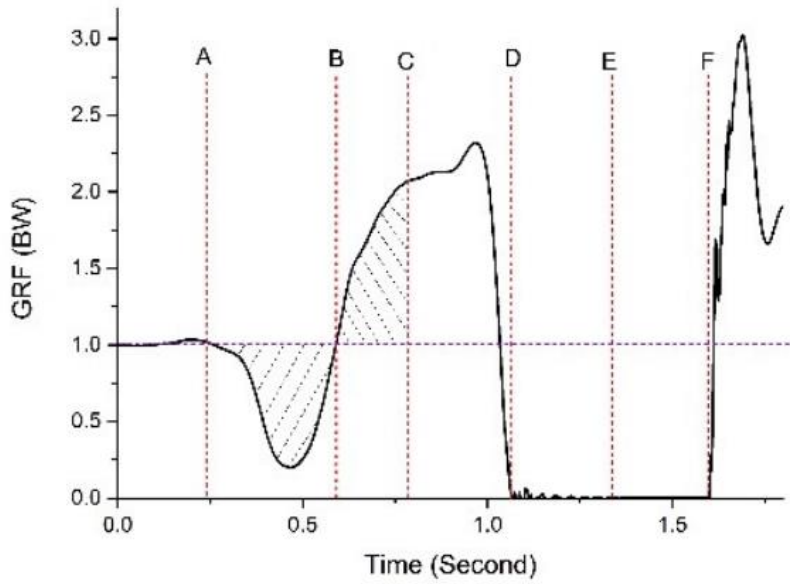
下圖為某一動作曲線特徵，線A為動作開始、線F為著地的動作結束，當斜線區域的面積相等時，請問，哪一階段的人體用力方向與運動方向相反？



- 線B至線C
- 線A至線B
- 線A至線C
- 線B至線D
- 線C至線E

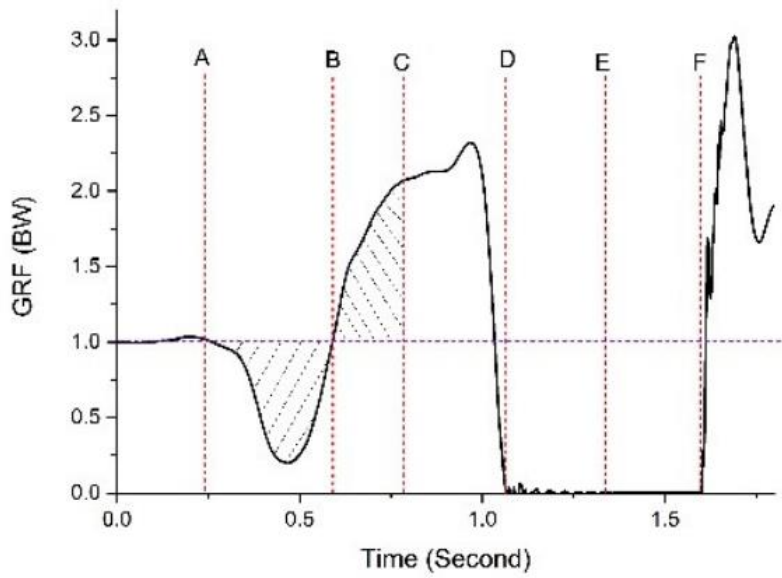
...

下圖為某一動作曲線特徵，線A為動作開始、線F為著地的動作結束，當斜線區域的面積相等時，請問，哪一階段的人體運動方向向上？



- 線B至線C
- 線A至線B
- 線A至線C
- 線B至線D
- 線C至線E

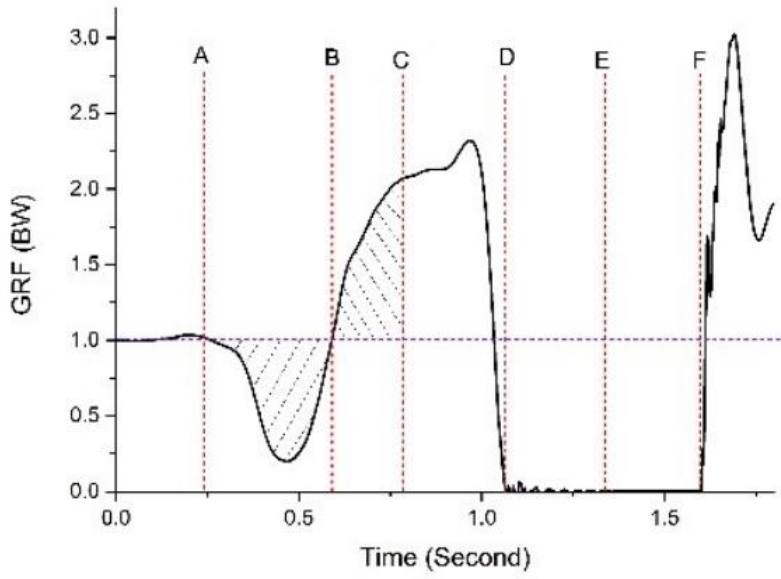
下圖為某一動作曲線特徵，線A為動作開始、線F為著地的動作結束，當斜線區域的面積相等時，請問，下蹲最低點發生於何時？



- 線C
- 線B
- 線A
- 線D
- 線E

...

下圖為某一動作曲線特徵，線A為動作開始、線F為著地的動作結束，當斜線區域的面積相等時，請問，重心最高位置發生於何時？

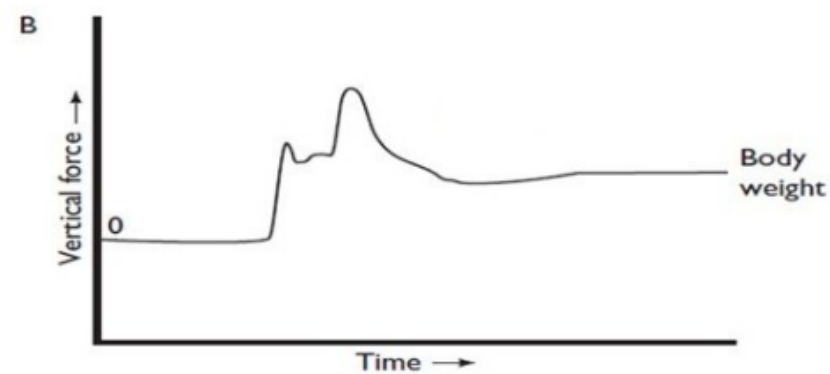
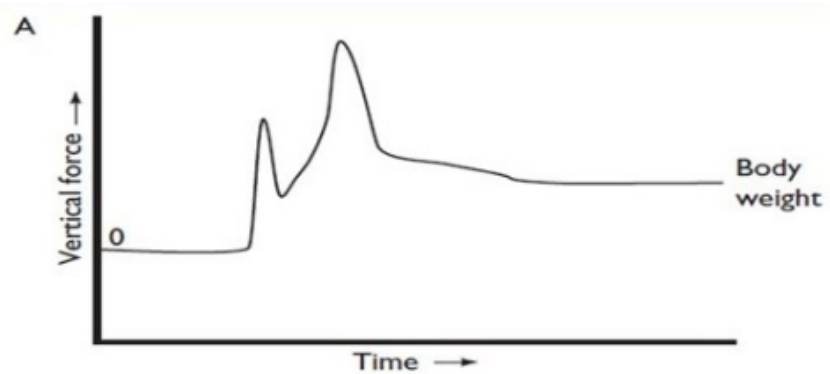


- 線C
- 線B
- 線A
- 線D
- 線E

力量曲線對時間的面積，稱為

- 衝量
- 動能
- 動量
- 速度
- 作功

關於下面二圖的高台著地力量差異，哪一選項敘述正確？



- A為直膝著地、B為著地屈膝較多
- A為著地屈膝較多、B為直膝著地