

教育研究集刊

第五十九輯第三期 2013年9月 頁101-139

足量運動及運動時間點對高中生體適能、 創造思考能力與數學學科成就之影響

吳品鎔、楊雅婷、楊宜青

摘要

本研究之目的在探討足量運動與運動時間點對高中生體適能、創造力思考能力及數學學科成就之影響，採前後測準實驗設計，以抽取臺北市都會型女子高中三個高一班級，共113位學生為樣本，進行三種教學策略之評估——傳統體育課組（對照組）、足量運動且非數學課前運動組（實驗組一）和足量運動且數學課前運動組（實驗組二），所蒐集的資料以單因子共變數分析及多變量變異數分析考驗三組在各向度總分與分向度分數之異同。研究結果顯示：一、在體適能方面，兩組實驗組總分均高於對照組，除柔軟度分向度外，兩組實驗組的肌耐力、瞬發力及心肺耐力分向度皆高於對照組。二、在創造思考能力方面，實驗組二總分優於實驗組一與對照組，兩實驗組在流暢力、標題力、精密力及開放力分向度皆優於對照組；實驗組二在獨創力及創造優異潛能分向度均優於實驗組一與對照組。三、在數學學科成就方面，實驗組二在低認知層次的知識及理解分向度高於

吳品鎔，國立成功大學教育研究所碩士研究生

楊雅婷，國立成功大學教育研究所暨師資培育中心副教授（通訊作者）

楊宜青，國立成功大學醫學院醫學系家庭醫學科教授

電子郵件：yangyt@mail.ncku.edu.tw

投稿日期：2012年10月30日；修改日期：2013年6月6日；採用日期：2013年6月27日

期刊徵稿：<http://www.edubook.com.tw/CallforPaper/BER/?f=oa>

高等教育出版：<http://www.edubook.com.tw/?f=oa>

高等教育知識庫：<http://www.ericdata.com/?f=oa>

實驗組一與對照組；三組在高認知層次（分析及綜合分向度）無顯著差異。本研究根據研究結果進行討論，並提出未來教育政策擬定與實施和相關研究之建議。

關鍵詞：足量運動、運動時間點、體適能、創造思考能力、數學學科成就

Bulletin of Educational Research
September, 2013, Vol. 59 No. 3 pp. 101-139

The Effect of the Sufficiency and Timing of Physical Exercise on High School Students' Physical Fitness, Creative Thinking, and Mathematics Achievement

Pin-Chun Wu Ya-Ting Carolyn Yang Yi-Ching Yang

Abstract

This paper explores the impact of the sufficiency and timing of physical exercise on physical fitness, creative thinking, and mathematics achievement. A pretest-posttest quasi-experimental design involved 113 tenth grade students from three senior high school classes in the Taipei metropolitan area to investigate the effects of three instructional strategies-traditional physical education (comparison group), sufficient exercise earlier in the day (experimental group 1), and sufficient exercise immediately before mathematics class (experimental group 2). The collected data were analyzed by ANCOVA and MANCOVA to evaluate any differences among total and sub-scale scores for the three research groups. Our findings demonstrate: (1) Total physical

Pin-Chun Wu, Graduate Student, Institute of Education, National Cheng Kung University

Ya-Ting Carolyn Yang, Associate Professor, Institute of Education and Center for Teacher Education, National Cheng Kung University, Correspondence Author

Yi-Ching Yang, Professor, Department of Family Medicine, College of Medicine, National Cheng Kung University and Hospital

Email: yangyt@mail.ncku.edu.tw

Manuscript received: Oct. 30, 2012; Modified: Jun. 6, 2013; Accepted: Jun. 27, 2013.

fitness scores were higher for both experimental groups than for the comparison group. Both experimental groups' subscales scores for muscular endurance, power, and cardiorespiratory endurance outperformed those of the comparison group. (2) Total creative thinking scores for experimental group 2 were higher than those of experimental group 1 and the comparison group. Both experimental groups' subscale scores for fluency, abstractness of titles, elaboration and resistance to premature closure were higher than those of the comparison group. (3) Math achievement scores, including the lower level cognitive domain subscales of knowledge and comprehension, were higher for experimental group 2 than experimental group 1 and the comparison group. However, no differences were found among the three groups for higher level cognitive domain subscales, including analysis and synthesis. Based these findings, suggestions for further implementation of educational policies and research are proposed.

Keywords: sufficient exercise, timing of physical exercise, physical fitness, creative thinking, mathematics achievement

壹、緒論

一、研究動機

科技化的生活帶來便利，但也同時帶來了各種文明病，特別是身體活動量不足的問題存在已久，此種情況不利於兒童與青少年的生理與心理發展，因此，教育部於2010年全國教育會議中主張，應養成學生規律運動習慣、落實學校體育教學，並提升全民健康素養，且此已蔚為全球化教育趨勢（教育部，2010）。然儘管近年來我國已推行多項體育運動相關教育政策，但根據國立臺灣師範大學體育研究與發展中心（2010）指出，國小、國中到高中合乎標準之每週運動比例逐年下降，分別為70.4%、51.7%及44.2%，且以高中為最低，可知目前一般課程安排的運動時數仍不足以讓學生達到足量運動的標準。

過去許多研究皆證明，增加體育課教學時數對於健康體適能的心肺耐力、柔軟度、肌力與肌耐力具有良好成效（陳仲義，2001）；亦有多項實驗研究證實身體活動會改變情緒、專注力、反應速度等身心理機制，進而影響個人從事思考和學習的表現（Chaddock et al., 2012; Diamond & Lee, 2011; Flaherty, 2005）。由此可知，運動不僅對於學生的健康產生影響，對於學習成效也扮演重要的角色。然而，在臺灣學生身體活動普遍不足的前提下，本研究欲以實證方法探究在校足量運動對學生的體適能與認知學習的影響。

過去已有研究專注於評估運動的程度（Cavallera, Boari, Labbrozzi, & Del Bello, 2011; Tomporowski, 2003）和長度（Gondola & Tuckman, 1985）對於認知功能的影響。然而，不同運動時間點也是不容忽略的因素。部分研究已證實運動後影響認知表現的立即效果優於間隔一段時間後的殘餘效果（Blanchette, Ramocki, O'Del, & Casey, 2005; Lambourne & Tomporowski, 2010），但上述研究並未考量足量運動的標準，因此，本研究欲了解在達足量運動的前提之下，不同運動時間點對學生認知功能的影響為何。

綜合上述，本研究將深入探討足量運動與不同運動時間點對學生的體適能和認知表現（創造思考能力和數學學科成就）產生的助益，以實證化的研究結果對

未來跨學科的課堂次序，安排提供合適的建議。

二、研究目的

本研究針對足量運動與不同運動時間點，分別探究對體適能、創造思考能力及數學學科成就的影響，研究目的如下：

(一) 探討不同運動量（足量運動、傳統體育課）對體適能（柔軟度、肌耐力、瞬發力、心肺耐力）的影響。

(二) 探討不同運動量及時間點（傳統體育課、足量運動且非數學課前運動組、足量運動且數學課前運動組）對創造思考能力（流暢力、獨創力、標題力、精密力、開放力、創造優異潛能）的影響。

(三) 探討不同運動量與時間點（傳統體育課、足量運動且非數學課前運動組、足量運動且數學課前運動組）對數學學科成就（知識、理解、應用、綜合、分析）有差異。

三、名詞定義

(一) 足量運動

根據教育部（2007）快活計畫的定義，本研究中之「足量運動」意指每天累計至少30分鐘中等強度以上的運動，活動頻率每週至少五天，或每週累積至少150分鐘中等強度以上的運動。另外，本研究所計算之運動量僅針對學生週一至週五在校期間之累計運動量。

(二) 不同運動時間點

本研究所定義的「不同運動時間點」係指幫助學生達到足量活動外，亦進行「足量運動數學課前運動組」和「足量運動非數學課前運動組」的實驗操弄；亦即，一個班級在數學課前進行足量運動，另一個班級在非數學課前進行足量運動。

(三) 傳統體育課

本研究所定義之「傳統體育課」是指現行高中課程一週兩堂的體育課（共100分鐘），目標在培養學生力行動態生活，參加健康休閒活動。

(四) 體適能

一般而言，體適能定義為身體適應生活、活動與環境之綜合能力。本研究所測量的體適能分向度為柔軟度、肌耐力、瞬發力和心肺耐力。

(五) 創造思考能力

Torrance (1966) 定義創造思考能力為能促成個人表現出創造性成就的心理能力，包括六個分向度：流暢力、獨創力、標題力、精密力、標題力，以及創造優異潛能。

(六) 數學學科成就

本研究定義之「數學學科成就」是指高中一年級學生數學學科之學業成就，成就測驗題型設計以Anderson、Krathwohl與Bloom (2001) 所提出的低認知層次(記憶、理解及應用分向度)和高認知層次(分析、綜合)為依據。

貳、文獻探討

一、足量運動的教育現況

近年來，許多國家或健康機構對於青少年身體活動量提出建議，並納為國家公共衛生政策施行計畫的一環，例如：美國疾病控制及預防中心(Centers for Disease Control and Prevention, CDC)即具體建議兒童及青少年每天至少需有60分鐘的中等費力身體活動，每週建議累積身體活動420分鐘(CDC, 2011)。而臺灣教育部近10年來也致力於提升學生身體活動和體適能狀況，並大力推廣各種健康促進相關計畫，以及加強政令宣導和足量身體活動口號。

與其他先進國家相比，臺灣體育課的施行時數明顯不足，無法讓學生在校就達到每週需累積150分鐘以上的足量運動標準。教育部(2007)指出，臺灣中小學一週體育課時間分別為小學80分鐘、國中90分鐘、高中100分鐘，均少於新加坡中小學平均一週體育課時數為90至150分鐘、美國為225分鐘，以及法國中小學為200至250分鐘。

根據國立臺灣師範大學體育研究與發展中心於96至99學年度之統計數據(如圖1)，學生在學期間有規律的每週累積運動比例的情形，國小學生占八至九成

左右，但隨著年級上升，有規律運動習慣者的比例下降，到大專階段時，僅剩下五到六成左右。可知學生運動行為並未隨著年齡增長，反成下降趨勢。

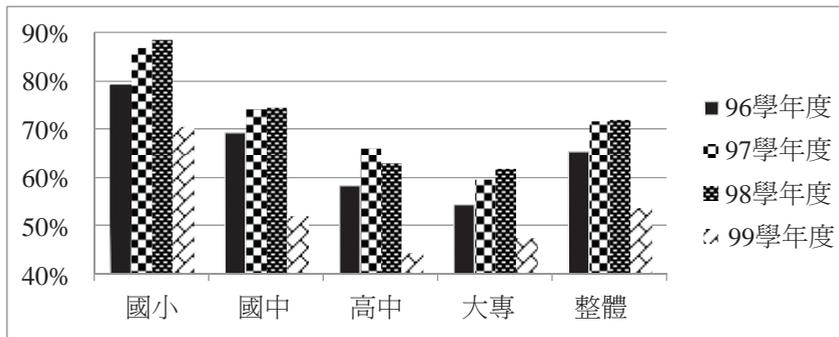


圖1 96至99學年度各級學校學生每週累積運動達210分鐘之比例。引自99學年度各級學生運動參與情形報告，國立臺灣師範大學體育研究與發展中心，2010。臺北市：教育部。

二、運動與體適能之關聯

如前所述，體適能（physical fitness）可視為身體適應生活、活動與環境的綜合能力。體適能較好的人在日常生活中，從事體力類型活動或運動皆有較佳的活力及適應能力（教育部體適能網站，2011）。過去在身體活動與體適能的相關研究方面，國內學者李彩華與方進隆（1998）針對國中學生體能檢測與問卷調查，結果發現，學生身體活動量與健康體適能呈現正相關。教育部近年也開始規劃將體適能成績納入升學指標之一，期望藉此提升學生的活動量，進而提升其體適能能力。然而，目前升學導向的教育環境並未通盤考量體適能對整體學習的益處，反而經常縮減體育課程來增加考試科目的授課時數，此作法是否影響學生體適能表現及後續的學習成效？針對此一面向，本研究欲了解足量運動對體適能的影響。

三、運動與認知表現之關聯

從臨床研究發現，身體活動會改變情緒、專注力、反應速度等身心理機制，

進而影響個人從事思考和學習的表現（Chaddock et al., 2012; Diamond & Lee, 2011; Flaherty, 2005）。例如：Stephoe、Wardle與Marmot（2005）強調，心跳變異性和腎上腺皮質醇釋放可以藉由身體活動的影響，改善正向情感以及幸福感，其研究發現運動的強度是改善的關鍵因子，費力的運動會提升皮質醇濃度以及影響負面心情，而中等費力運動則對心情有正向影響。如同Tomprowski（2003）所強調的，大量運動可能導致精疲力盡以及口渴，進而對認知行為帶來負面影響。因此，足量但不過量的運動對學習才有正向幫助。

就腦部活動而言，主動隨意運動常是伴隨著中腦邊緣獎賞通路中的可塑性（Greenwood et al., 2011），而中腦邊緣多巴胺則能激發追求創新的慾望以及驅動創造力的動力（Flaherty, 2005）。過去已有研究探討中等運動（透過有氧運動和瑜珈）對大腦執行功能（executive functions）的直接影響，例如：控制衝動以維持注意力的能力，以及彈性變化策略以達到目標等能力（李宏鎰，2004），藉由改善大腦執行功能，可培養創造力與變通性，以及改善學業成績（Diamond & Lee, 2011）。此外，有氧運動影響認知功能的機制之一是透過改善前額葉皮層功能（Hillman, Erickson, & Kramer, 2008），此研究係使用功能性磁共振造影（functional magnetic resonance imaging, fMRI）測量體能較好及較差的兒童腦部功能，結果顯示，有氧運動與任務執行和注意力分配所必需的神經認知控制間有密切關係（Chaddock et al., 2012），因為運動活化了負責監控、維護和規劃高階控制（high order control）的額葉和頂葉區域，此控制與提高學習成績以及提供創造性思維的必要條件有密切關聯。除了身體活動活化了大腦功能之外，Dwyer、Sallis、Blizzard、Lazarus與Dean（2001）的研究則指出，身體活動與增進學業成就密切相關的原因在於，身體活動可以減少血漿去甲腎上腺素或增加色氨酸通過血腦障壁，使孩童鎮靜，以專心進行學習任務。

總結而言，上述諸多醫學、教育等相關研究均證實足量運動能有效改善思考能力和學習的效果，主要歸因於足量運動可以影響身心心理機制的變化（如情緒、大腦功能、血液循環），進而改善個體的思考能力和學習成效。

（一）運動與創造思考能力之關聯

現有文獻在探討運動對創造力影響的研究雖為數不多，但均顯示在不同年齡族群中，不同運動時間長度確實有助於創造力的提升。例如：Gondola與

Tuckman (1985) 的實驗顯示，不分男女，大學生在運動後的創造力表現都顯著成長。而Steinberg等人 (1997) 的研究結果也證實，20至25分鐘短暫的有氧運動後足以些微提高創造力，顯示運動與創造力具有關聯性。

另一方面，國內也有相關研究將創造思考教學策略融入運動課程中，以提升學生的創造思考能力。例如：林錚、王儀旭、黃美瑤與陳宗麟 (2006) 以啟發性遊戲介入國中運動課程，進行每週兩節、每節50分鐘為期五週之活動；陳欣茹、吳海助、劉兆達與黃永寬 (2009) 針對學前兒童進行每次30分鐘、共八週16次的運動遊戲課程教學。兩篇研究均顯示，學生於創造思考中的流暢性或獨創性等，均有所顯著進步。

綜合上述研究結果，利用不同時間長度的運動相關課程確實對創造思考能力的相關指標產生提升效果。然而，過去研究因運動時間長短不一致，並未探討足量運動或比較不同的運動時間點對於學生創造思考能力的影響。再者，如果直接將創造思考教學策略融入學校的體育運動課程中，此作法可能導致實務面上體育教師對創造思考指標理解有限，反而產生較難融入課程編製之研究限制。故本研究以體育教師熟悉的體適能指標做為課程編製依據，並將課程內容趣味化，以提升學生進行體育活動之動機，進而探討足量運動與不同運動時間點是否對學生創造思考能力造成之影響。

(二) 運動與數學學科成就之關聯

根據Field、Diego與Sanders於2001年針對89所高中生學生所進行的問卷調查發現，有運動習慣的學生其在校數學成績 (Grade Point Average, GPA) 顯著較高。相同地，Chomitz等人 (2009) 針對1,103名12至15歲學生進行調查研究發現，身體活動與數學學科之間呈現高相關。進一步而言，蔡忠昌與劉蕙綾 (2006) 總結過去相關文獻後認為，這是學生進行運動之後所產生的生理反應，例如：增加血液循環和改善腦部神經傳導物質的作用等，可提升上課時的專注力與腦部運算相關的功能，進而產生良好的學習表現。

儘管增加運動時間對創造思考能力及數學學科成就都是有所助益的，但是，臺灣在升學主義掛帥的教育體制下，國內高中生的課業壓力沉重，體能活動的時間普遍少於其他先進國家同年齡的青少年 (國立臺灣師範大學體育研究與發展中心，2010；詹正豐，2007)，教育當局應正視此問題，並提出解決之道或配套措

施。因此，該從事多少運動、該如何選擇關鍵時間點運動，才能有效提升創造思考能力及數學學科成，應是相當值得探討的議題。

總結上述，已有大量文獻支持運動會改善體適能和認知表現，因此，本研究動機之一便是探討足量運動對高中生體適能、創造思考能力與數學學科成就之影響。

四、不同運動時間點對創造思考與學習成效之影響

目前已有相關研究比較不同運動時間點對認知表現的影響，Lambourne與Tompsonski（2010）使用後設分析探討運動中及運動後對認知表現的影響，結果發現，運動後對認知速度、記憶儲存和提取有正向影響，而且量測時間點的不同會增進或削減認知表現。Blanchette等人（2005）也發現，在結束中等費力的運動當下或運動後兩小時，相較於沒有運動的情況，創造潛能都有所提升，但運動結束的當下與運動後兩小時之創造潛能則沒有顯著差異。上述兩個研究結果指出，運動後對於認知表現和創造力的立即效果優於時間間隔後的殘餘效果。此外，部分研究亦指出，課前的短時間運動可改善學生於課堂中的情緒、注意力和加速反應，例如：Ratey與Hagerman（謝維玲譯，2009）的課程實驗顯示，課前讓孩子運動15至45分鐘，可顯著改善上課焦躁不安的問題。謝藝綾（2009）指出，五分鐘的運動對於學生集中注意力與加速反應皆有正向效應，並建議教育者在下課或課餘時間，鼓勵學生進行短時間的身體活動，以促進學習成效。

現有文獻已證實不同運動時間點會影響認知表現和創造力，以此結果為基礎，本研究欲探討運動時間點與數學學習成效的關係，其原因除了因為數學經常被學生認為是困難的科目，也希望了解是否能藉由適當的運動來提升數學學習成效。目前已有國外研究（Carlson et al., 2008; Castelli, Hillman, Buck, & Erwin, 2007; Coe, Pivarnik, Womack, Reeves, & Malina, 2006; Sattelmair & Ratey, 2009）探討體育與一般學科的關係，研究結論皆顯示運動與數學成就兩者具有高度的相關。但上述的研究僅採用相關性比較、單組實驗設計及文獻回顧等方式進行。不同於上述文獻的作法，Taras（2005）針對14篇體育與學科成績的研究進行事後分析，結果指出，身體活動有助於改善短期的學習成效（如專注力），但長期改善學科成就則有待確認，故該研究在最後結論認為，若要達到提升對學科成就的

正向影響需配合有更多的前提。因此，為了改進以往簡單比較兩者關係的相關性研究，本研究進一步採用準實驗設計並進行不同變因的操弄，包含有無足量運動及不同的運動時間點，且將數學成就測驗再細分為不同的向度，從生理與認知的層面進行更深入的探討。

綜合上述討論，雖然已有少數文獻探討運動與數學科學習成就之關聯性，但仍有相關議題值得進一步研究，例如：以運動對學生注意力及反應思考速度的正向影響為基礎，可以進一步探究的議題包含運動與數學科學習成就的關係，例如在數學課之前進行運動，對數學學習表現是否有所助益？或者，運動後間隔一段時間的學習成效，是否也能有所提升，即運動後的殘餘效果為何？據此，本研究將探討不同運動時間點對高中生創造思考能力與數學學科成就之影響。

參、研究方法

一、研究對象與場域

本研究以臺北市都會型女子高中做為實驗場域，全校三個年級，共61班，學生人數約2,300人，校地方正、完整，包含體育館、四百米操場、體適能教室、籃球場、網球場及排球場，並設有溫水游泳池一座，對於本研究進行足量運動的相關研究有相當的助益。研究對象以合作教師授課之班級為主，採立意取樣選取高一學生，共三班。

研究對象之基測入學成績平均皆為百分等級88（百分等級87至89），相較於國中階段的學生具有更高的同質性，有助於研究結果之詮釋。為了進一步排除家庭社經地位對研究結果的干擾，本研究蒐集三組學生的高一入學資料，並根據林生傳（2005）的方法轉換計算出社經地位指數，做為高、中、低社經地位之比較。卡方分析的結果指出，三組學生之家庭社經地位並無顯著性差異（ $\chi^2(4, n = 113) = 1.98, p = .74$ ）。

二、研究架構

本研究透過自變項為教學策略，包含足量運動與運動時間點，並將學生的各

種背景變項做為控制變項（如家庭社經背景、先備知識與課後補習時數等），綜合探討對高一學生的體適能、創造思考能力及數學學科成績的影響。經由教學實驗的操弄，本研究得以了解自變項與依變項之間的關係。據此，本研究之研究架構圖如圖2。

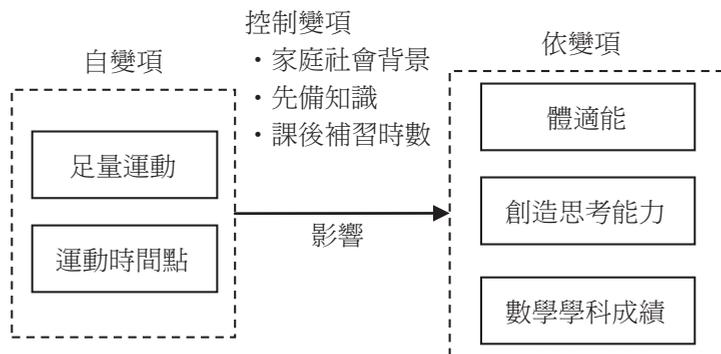


圖2 研究架構

三、實驗設計

本研究採用準實驗設計，自變項為教學策略，為避免不同教學者可能產生干擾因素，故研究者以立意抽樣選取相同數學及體育授課老師的三個班級，再隨機分配到不同實驗操弄：傳統體育課組（對照組，40人）、足量運動且非數學課前運動組（實驗組一，31人），以及足量運動且數學課前運動組（實驗組二，42人）。此外，為避免三班學生之活動量有差異，選擇的三個班級皆為普通班（無體育班學生）且班級風氣相似。舉凡數學學科成就、創造思考測驗皆於每週二第四節（11:10~12:00）進行，實驗組二為在體育課進行之後緊接著數學課程，而實驗組一與對照組則間隔了三節課以上才進行該項測驗。本研究為期13週，前測和後測實驗時間與流程說明如表1。

由表1可看出對照組施以「傳統體育課」，亦即，該組不做任何的課程更動，進行一週原有的兩堂體育課程；實驗組一施以「足量運動且非數學課前運動組」，提供一週五堂的體育課程，亦即，每日皆有體育運動課程，其課程內容為

中等強度以上之運動，惟五堂的體育活動課程進行時間皆不在數學課程前；實驗組二施以「足量運動且數學課前運動組」教學策略，與實驗組一相同，提供一週五堂的體育運動課程，課程內容同為中等強度以上之運動，惟此組體育課程後緊接著進行數學課程。

表1

足量運動與不同運動時間點實驗流程

實施週次	1	2	3	4	5	6	7	8	9	10	11	12	13
對照組	O ₁	X ₁	X ₁	X ₁ O ₂	X ₁	X ₁	X ₁ O ₃	X ₁	X ₁	X ₁ O ₄	X ₁	X ₁	X ₁ O ₅
實驗組1	O ₁	X ₂	X ₂	X ₂ O ₂	X ₂	X ₂	X ₂ O ₃	X ₂	X ₂	X ₂ O ₄	X ₂	X ₂	X ₂ O ₅
實驗組2	O ₁	X ₃	X ₃	X ₃ O ₂	X ₃	X ₃	X ₃ O ₃	X ₃	X ₃	X ₃ O ₄	X ₃	X ₃	X ₃ O ₅

O₁ = 前測 (W1) — 一體適能測量資料、陶倫斯創造思考測驗成績、基本資料
 O₂ = 後測 (W4) — 數學單元一成就測驗成績 (低認知層次、高認知層次)
 O₃ = 後測 (W7) — 數學單元二成就測驗成績 (低認知層次、高認知層次)
 O₄ = 後測 (W10) — 數學單元三成就測驗成績 (低認知層次、高認知層次)
 O₅ = 後測 (W13) — 一體適能測量資料、陶倫斯創造思考測驗成績、基本資料
 X₁ = 傳統體育課組
 X₂ = 足量運動且非數學課前運動組
 X₃ = 足量運動且數學課前運動組

四、研究工具

本研究採用的研究工具包含學生基本資料問卷、陶倫斯創造思考測驗圖形版、數學學科成就測驗，並以活動量感測器蒐集學生活動量與活動強度。以下分別依照研究變項將研究工具整理如下：

(一) 學生基本資料問卷

為避免相關背景因素 (如數學補習與數學課後複習時數對數學成就之影響、課後創造思考相關活動、課後運動時間) 對依變項之影響，本研究藉由學生基本資料問卷蒐集資料，以百分比統計量及卡方考驗分析三組在相關背景因素是否有差異。結果顯示，三組學生在相關背景因素上皆無顯著差異，使研究發現與推論能更精確是來自自變數之影響。

(二) 數學學科成就測驗

在教師自編之數學科成就測驗中，將數學成就測驗分為以三組學生之上學期期末考數學學科成績及額外數學學習時數為共變項（包括記憶、理解、應用分向度）與高認知層次（包括分析、綜合分向度），如表2。

表2

數學命題說明範例

向度	出題說明
知識	公式記憶 $(a + b)^2 = a^2 + b^2 + 2ab$
理解	理解公式由來 $(a + b)^2 = a^2 + b^2 + ab + ba = a^2 + b^2 + 2ab$
應用	運用 $(a + b)^2$ 公式計算999的平方
分析	證明題推導
綜合	利用 $(a + b)^2$ 與全等三角形的概念進行題目計算或者證明題

本研究施行三次低認知層次測驗與三次高認知層次測驗，共六次測驗。在此六次測驗正式施測前，本研究以修過相同課程的高二學生進行預試，根據預試之通過率、難度與鑑別度指標判斷試題優劣調整題目與配分。研究者使用余民寧（2002）所撰寫之TESTER for Windows程式2.0版分析數學成就測驗之難度與鑑別度。本研究數學科成就測驗所使用的六份試卷，其中有三份低認知層次試卷難度介於.1到.8之間，86%的題目難度介於.3到.7之間；鑑別度介於.1到.9之間，92%的題目鑑別度大於.3以上；三份高認知層次試卷難度介於.1到.8之間，64%的題目難度介於.3到.7之間，90%的題目鑑別度大於.3以上。因此，本數學科的六份試卷之難度與鑑別度均屬於可接受之範圍。

(三) 陶倫斯創造思考測驗圖形版

本研究工具之目的在於測量學習者接受實驗處理後，其創意思考能力的使用情形。本研究以李乙明（2006）所修訂之陶倫斯創造思考測驗圖形版（Torrance Tests of Creative Thinking, TTCT）進行研究，共有甲、乙兩複本，每個複本均有三個活動設計，包含完整構圖、圖形接龍與平行線，分別評估學生的流暢力、獨創力、標題力、精密力、開放力與創造優異潛能等六種創造性特質，適用年級為國小一年級到高中三年級。信度係數介於.40至.72之間，與威廉斯創造思考

測驗的複本信度則介於.60至.95之間，均達顯著水準，可見本測驗有良好之信度。本研究之陶倫斯創造思考測驗圖形版前後測均分別進行信度分析，前測之Cronbach's α 為.65，後測的Cronbach's α 為.83，信度尚可接受。

由於陶倫斯創造思考能力測驗為開放式問題，為使測驗評分具有可信度，本研究訓練兩名評分者參與本測驗的評分，此兩名評分者皆曾修習創造力教學相關課程。在訓練一開始，評分者A和評分者B共同瀏覽題目，並兩兩一組閱讀測驗提供之「計分標準」後，第一次，由研究者和另兩名評分者分別評分，評閱相同的10份測驗後，再互相比對不同之處，並計算皮爾森積差相關（陳正昌、張慶勳，2007），求得評分者信度，第一次若未達.90，則要再另外抽取10份重新評閱，直到兩份問卷相關達到.90以上，本研究評分者信度皆達到.90以上（如表3）。

表3

TTCT訓練方式與評分者信度

評分向度	評分者	第一次信度	第二次信度	最後批改者
流暢力	評分者A與B	0.92	1.00	評分者A
獨創力	評分者A與B	0.73	0.91	評分者A
標題力	評分者A與B	0.74	0.93	評分者A
精密力	評分者A與B	0.80	0.93	評分者B
開放力	評分者A與B	0.52	0.93	評分者B
創造優異潛能	評分者A與B	0.40	0.94	評分者B

（四）活動量感測器

Singh、Uijtdewilligen、Twisk、van Mechelen與Chinapaw（2012）提出，為了要獲得身體活動和學業成績之間的關係，需要更客觀地測量身體活動。而在科技不斷進步的今天，體積較小且佩帶配戴方便的活動量感測器已被研發，新型的測量工具不僅可以調整記錄時間，並能將感測的結果換算成每單位時間之淨活動熱量消耗（activity kcal）。本研究使用之活動量感測器（uCHAMPsys®）由國立成功大學電機系與中華電信共同研發，利用其內部的三軸加速度計蒐集使用者日常活動產生的加速度訊號，透過分析加速度訊號的大小及發生時間，得知使用者日常生活中的活動資訊。

活動量感測器在本研究中主要扮演著活動量與活動強度測量之角色，為維持本研究對於足量活動之定義（累積30分鐘以上中等強度的運動，每週至少五天），以下為本研究於實驗進行中，利用活動量感測器測量六套自編課程之平均活動量與活動強度分布，採六個課程循環平均數紀錄，如表4。每次課程進行時，中等強度與激烈運動的比例加起來占30分鐘以上，而經由感測器測量，也可以得知學生的運動強度與活動熱量消耗，均達成運動課程設計準則所設定之課程目標。

表4
活動課程之平均活動強度與活動量

運動強度	活動量 (Kcal)	一堂課（40分鐘）活動強度比例					
		輕度運動		中等強度運動		激烈運動	
呼拉圈	222.41	8.47分	(21%)	9.23分	(23%)	22.31分	(56%)
籠球	184.78	5.41分	(14%)	14.42分	(36%)	20.16分	(50%)
跳繩	150.04	3.15分	(8%)	13.71分	(34%)	23.13分	(58%)
有氧舞蹈	153.16	6.62分	(17%)	14.30分	(36%)	19.08分	(48%)
有氧跑走	169.75	7.55分	(19%)	15.42分	(39%)	17.03分	(43%)
捕魚	160.18	5.18分	(13%)	15.39分	(38%)	19.43分	(49%)
體育課一	193.25	8.77分	(30%)	15.63分	(39%)	15.61分	(31%)
體育課二	215.97	9.81分	(25%)	9.98分	(25%)	20.21分	(51%)
體育課三	187.88	8.24分	(21%)	7.06分	(18%)	24.70分	(62%)

五、資料分析

本研究資料分析使用SPSS 18.0版電腦套裝軟體程式進行資料的統計與分析，因為依變項包含體適能、創造思考能力與數學學科成就。為排除組別間先備知識及背景對實驗結果可能造成的影響，在體適能成績與創造思考能力方面將採用單因子共變數分析（ANCOVA），以前測總分做為共變項，排除前測對後測的影響，考驗三種教學法在體適能及創造思考能力的總分差異情形；在體適能細項及創造思考能力細項部分則採多變量變異數分析（MANCOVA），以前測總分

做為共變項，排除前測對後測的影響，考驗三種教學法的差異情形；在數學學科成就除考量組別間先備知識及背景外，亦考量課後額外數學學習可能對實驗結果造成影響，因此，將以學生上學期期末考數學成績及額外數學學習時數做為共變項，採MANCOVA分析三個單元（六次分測驗）的數學學科成就測驗在各個認知向度與單元總分是否因不同教學法而有所差異，並以活動量感測器蒐集到的數據，確保受測學生達到所設定之中等強度以上活動的運動量。

六、研究範圍與限制

限於研究目的及範圍，本研究之研究對象來自同所臺北市區之女子高級中學，並選擇相同年級進行教學活動。三組班級皆由同二位體育專長教師及數學專教師進行教學活動。限於研究的規模，無法使用隨機抽樣的方式，僅以自願參與的體育老師選擇合適的班級再隨機分派研究組別，因此，研究結果不宜過度推論到其他地區學生。

七、研究假設

本研究之研究假設如下：

研究假設1：不同運動量（足量運動、傳統體育課），對學生體適能（柔軟度、肌耐力、瞬發力、心肺耐力）有差異。

研究假設2：不同運動量及時間點（傳統體育課、足量運動且非數學課前運動組、足量運動且數學課前運動組）對學生創造思考能力（流暢力、獨創力、標題力、精密力、開放力、創造優異潛能）有差異。

2.1：不同運動量對學生創造思考能力有差異。

2.2：不同時間點的運動對學生創造思考能力有差異。

研究假設3：不同運動量及時間點（傳統體育課、足量運動且非數學課前運動組、足量運動且數學課前運動組）對數學學科成就（知識、理解、應用、綜合、分析）有差異。

3.1：不同運動量對學生數學學科成就有差異。

3.2：在不同時間點運動對學生數學學科成就有差異。

肆、研究結果

一、學生基本資料統計分析

為避免課後複習對依變項之影響（包括數學課後補習與數學課後複習時數對數學成就之影響），本研究藉由學生基本資料問卷蒐集資料，在課後補習方面，實驗組一、實驗組二及對照組分別有67%、76%及75%的學生參加數學課後補習。進行卡方考驗分析後，得 $\chi^2(2, n = 113) = 13.81, p = .72$ ，未達顯著差異。在課後複習方面，實驗組一、實驗組二及對照組分別有58%、45%及53%的學生未進行數學課後複習。進行卡方考驗分析後，得 $\chi^2(6, n = 113) = 22.46, p = .34$ ，未達顯著差異。因此，三組學生在數學補習與課後複習時數均無顯著差異，使研究發現與推論能更精確為來自自變數之影響。

二、體適能測驗結果

此部分主要在驗證研究假設1「不同運動量（足量運動、傳統體育課），對學生體適能（柔軟度、肌耐力、瞬發力、心肺耐力）有差異」。不同實驗設計（傳統體育課組、足量運動且非數學課前運動組、足量運動且數學課前運動組）在體適能總分及其四個分向度之基本統計量及調整後的平均數如表5，分別使用ANCOVA和MANCOVA進行不同教學策略對於學生之體適能總分及體適能四個向度之探究。

（一）體適能總分之結果

體適能測驗採ANCOVA，以三組的體適能前測總分為共變項，其後測分數為依變項，進行ANCOVA之前，變異數同質性（ $F = 36, p = .68$ ）和迴歸同質性（ $F = 52, p = .59$ ）之檢定均符合基本假定，在排除共變之影響後，得 $F(2, 109) = 51.94, p = .00, \eta^2 = 0.49$ ，如表6。根據Cohen（1988）指出， $.059 > \eta^2 \geq .01$ 以下為低效果量， $.138 > \eta^2 \geq .059$ 為中效果量， $\eta^2 \geq .138$ 以上則表示高效果量，本研究之體適能能力之效果量達.49，顯示為高效果量。結果顯示，三組在體適能整體表現上有顯著差異，進一步進行LSD事後比較得知，實驗組一與對照組間實驗處理效果顯著，其調整後的平均數差異為3.85；實驗組二與對照組間實

表5

三組學生在四個體適能向度與總分之平均數、標準差及調整後的平均數

依變數	組別	前測		後測		Adj. <i>M</i>
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
柔軟度	實驗組一	3.26	1.39	3.55	1.34	3.43
	實驗組二	2.90	1.43	2.98	1.47	3.25
	對照組	3.40	1.36	3.00	1.45	2.86
瞬發力	實驗組一	2.94	1.50	3.26	1.41	3.10
	實驗組二	2.24	1.25	2.90	1.36	3.28
	對照組	2.85	1.46	2.48	1.62	2.29
肌耐力	實驗組一	3.16	1.42	3.94	1.53	3.80
	實驗組二	2.79	1.42	3.60	1.27	3.92
	對照組	2.90	1.36	2.75	1.58	2.46
心肺耐力	實驗組一	2.84	1.10	3.84	1.21	3.74
	實驗組二	2.31	1.00	3.17	1.27	3.40
	對照組	3.32	1.07	2.80	1.11	2.62
體適能總分	實驗組一	12.20	4.09	14.59	3.64	14.08
	實驗組二	10.24	3.05	12.62	3.19	13.85
	對照組	12.47	3.46	11.03	3.85	10.23

驗處理效果亦為顯著，其調整後的平均數差異為3.62。不論實驗組一或實驗組二皆為足量運動的實驗處理，可見採用實驗組（足量運動）的教學型態比採用傳統體育課（非足量運動）更有助於學生在體適能的提升。

表6

不同實驗處理在體適能總分共變數分析摘要

變異來源	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	事後比較
共變項	1042.67	1	1042.67	325.18	.00**	.75	
組間	335.99	2	167.99	51.94	.00**	.49	E1 = E2 > C
組內	346.09	107	3.23				
全體	1613.08	112					

** $p < .01$.

(二) 體適能分向度之結果

上述體適能總分分析結果達顯著差異，進一步探討體適能四個向度（柔軟度、瞬發力、肌耐力、心肺耐力）的表現，主要採MANCOVA，考量體適能測驗計分方式的限制，導致四個分項（柔軟度、瞬發力、肌耐力、心肺耐力）之間的高度相關，若以四個分項的前測分數為共變項，進行MANCOVA，將造成統計上的誤差增加，因此，本研究僅以體適能前測的總分做為共變項，進行MANCOVA（鄭英耀、劉昆夏、張川木，2007）。

本研究進行MANCOVA前，已先確認研究資料符合變異數同質性（ $F = 68, p = .87$ ）、各組組內迴歸同質（Wilk's $\Lambda = .76, p = .68$ ）及共變斜率不為0（Wilk's $\Lambda = .03, p = .00$ ）等三項基本假定。從體適能分向度之MANCOVA可得，Wilk's $\Lambda = .49, p = .00, \eta^2 = .31$ ，表示各組主要效果有顯著差異，且達高度效果量，自變項三個群組至少在一個依變項調整後平均數間有顯著不同。由表7可知，三個組別在柔軟度（ $F = 2.05, p = .13$ ）的表現並無顯著差異；而在瞬發力（ $F = 8.40, p = .00, \eta^2 = .13$ ）、肌耐力（ $F = 17.45, p = .00, \eta^2 = .24$ ）、心肺耐力（ $F = 11.30, p = .00, \eta^2 = .17$ ）三個依變項的表現上均有顯著差異，且達中至高度效果量。因此，進一步進行LSD事後比較發現，在瞬發力、肌耐力、心肺耐力方面，實驗組一與實驗組二之間未有顯著差異，而實驗組一和實驗組二皆顯著高於對照組。

表7

各組別在體適能四個分向度之共變數分析及事後比較摘要

變異來源	F	p	η^2	事後比較
柔軟度	.05	.13	.04	E1 = E2 = C
瞬發力	8.40	.00**	.13	E1 = E2 > C
肌耐力	17.45	.00**	.24	E1 = E2 > C
心肺耐力	11.30	.00**	.17	E1 = E2 > C

** $p < .01$.

三、創造思考測驗結果

此部分主要在驗證研究假設2.1「不同運動量（足量運動、傳統體育課）對學生創造思考能力流暢力、獨創力、標題力、精密力、開放力、創造優異潛能）有差異」及研究假設2.2「不同時間點（足量運動且非數學課前運動組、足量運動且數學課前運動組）運動對學生創造思考能力有差異」。不同實驗設計（傳統體育課組、足量運動且非數學課前運動組、足量運動且數學課前運動組）在創造思考能力總分及其六個分向度之基本統計量及調整後的平均數如表8，並使用ANCOVA進行不同的教學策略對於學生之創造思考能力總分及其六個向度之分析。

表8

三組學生在創造思考分向度及總分之平均數、標準差及調整後的平均數

依變數	組別	前測		後測		Adj. <i>M</i>
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
流暢力	實驗組一	130.32	19.85	141.85	18.26	143.13
	實驗組二	123.95	17.36	152.52	5.62	152.20
	對照組	112.38	21.59	129.45	18.80	128.24
獨創力	實驗組一	101.52	13.46	128.16	17.90	130.01
	實驗組二	116.31	15.24	144.88	8.84	142.90
	對照組	106.15	16.99	120.00	20.74	120.65
標題力	實驗組一	80.48	28.03	63.22	39.96	63.12
	實驗組二	74.71	30.66	77.12	29.76	77.62
	對照組	78.08	27.08	50.13	32.66	49.59
精密力	實驗組一	61.29	6.83	73.71	11.18	74.06
	實驗組二	64.00	6.72	86.14	16.63	85.33
	對照組	60.75	5.01	66.25	10.58	66.83
開放力	實驗組一	86.71	9.94	95.29	5.92	95.70
	實驗組二	93.24	9.01	97.71	8.97	97.16
	對照組	87.75	10.38	89.90	8.03	90.16
創造優異潛能	實驗組一	4.13	2.64	4.98	2.27	4.97
	實驗組二	5.36	2.85	8.32	3.53	8.74
	對照組	6.28	2.38	3.88	1.84	3.56

依變數	組別	前測		後測		Adj. <i>M</i>
		<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	
創造力總分	實驗組一	96.19	11.96	103.67	11.23	104.06
	實驗組二	99.80	12.56	116.65	19.60	115.68
	對照組	95.30	10.82	100.12	12.49	100.84

(一) 創造思考能力總分結果

以三組的創造思考能力前測分數為共變項，其後測分數為依變項，進一步進行ANCOVA。在進行ANCOVA之前，變異數同質性 ($F = .03, p = .96$) 和迴歸同質性 ($F = 50, p = .61$) 之檢定均符合基本假定，在排除共變項之影響後，三組之創造思考能力之共變數分析摘要表如表9，得 $F = 22.79, p = .00, \eta^2 = .30$ ，顯示三組在創造思考能力總分有顯著差異，且達高度效果量。進一步進行LSD事後比較結果顯示，實驗組二總分高於與實驗組一總分，其調整後的平均數差異為11.62；實驗組二總分高於對照組總分，其平均差異值為14.84；實驗組一總分與對照組總分未達顯著。根據結果顯示，採用實驗組二（足量運動且數學課前運動組）的教學型態較實驗組一（足量運動且非數學課前運動組）、對照組（傳統體育課組）更有助於學生在創造思考能力整體分數的提升。

表9

不同實驗處理在創造思考能力測驗總分共變數摘要

變異來源	<i>SS</i>	<i>df</i>	<i>MS</i>	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	事後比較
共變項	2165.95	1	2165.95	20.57	.00**	.16	
組間	4799.73	2	2399.86	13.94	.00**	.30	E2 > E1 = C
組內	11479.04	109	105.31				
全體	1319310.00	113					

** $p < .01$.

(二) 創造思考能力分向度結果

根據上述總分之分析結果，三組在創造思考能力的總分上達到顯著差異，而此部分進一步考驗不同實驗設計組別在創造思考能力的六個向度（流暢力、獨創力、標題力、精密力、開放力、創造優異潛能）之間是否有差異。

由於需以創造思考能力六個分項的前測分數做為控制變項，因此，本研究以創造思考能力等六個分項的前測分數做為共變項，分別進行六個分項之ANCOVA。在進行各分項ANCOVA之前，本研究已先確認各分項之變異數同質性（流暢力， $F = 25.91$ ， $p = .12$ ；獨創力， $F = 9.06$ ， $p = .09$ ；標題力， $F = 1.53$ ， $p = .22$ ；精密力， $F = 3.43$ ， $p = .06$ ；開放力， $F = 1.79$ ， $p = .17$ ；創造優異潛能， $F = 10.04$ ， $p = .25$ ）和迴歸同質性（流暢力， $F = 5.91$ ， $p = .08$ ；獨創力， $F = .37$ ， $p = .20$ ；標題力， $F = .72$ ， $p = .49$ ；精密力， $F = .69$ ， $p = .50$ ；開放力， $F = .06$ ， $p = .94$ ；創造優異潛能， $F = .31$ ， $p = .73$ ）之檢定均符合基本假定。

由創造思考能力等六個分項共變數分析可得，流暢力的 $F = 22.77$ ， $p = .00$ ， $\eta^2 = .30$ ；獨創力的 $F = 18.38$ ， $p = .00$ ， $\eta^2 = .25$ ；標題力的 $F = 6.02$ ， $p = .00$ ， $\eta^2 = .10$ ；精密力的 $F = 19.72$ ， $p = .00$ ， $\eta^2 = .27$ ；開放力的 $F = 8.69$ ， $p = .00$ ， $\eta^2 = .14$ ；創造優異潛能的 $F = 38.63$ ， $p = .00$ ， $\eta^2 = .42$ 。分析結果顯示，三組在創造思考能力的六個分項皆達顯著差異。進一步進行LSD事後比較發現（如表10），在流暢力方面，實驗組二顯著高於實驗組一與對照組，實驗組一亦顯著高於對照組；在獨創力方面，實驗組二顯著高於實驗組一與對照組，但實驗組一與對照組之間並無顯著差異；在標題力方面，實驗組二顯著高於實驗組一與對照組，實驗組一亦顯著高於對照組；在精密力方面，實驗組二顯著高於實驗組一與對照組，實驗組一亦顯著高於對照組；在開放力方面，實驗組二與實驗組一並無顯著差異，但實驗組一與實驗組二皆顯著高於對照組；在創造優異潛能方面，實驗組二顯著高於實驗組一與對照組，而實驗組一與對照組之間並未有顯著差異。

表10

各組別在創造思考能力等六個分項之共變數分析及事後比較摘要

變異來源	F	p	η^2	事後比較
流暢力	22.77	.00**	.30	E2 > E1 > C
獨創力	18.38	.00**	.25	E2 > E1 = C
標題力	6.02	.00**	.10	E2 > E1 > C
精密力	19.72	.00**	.27	E2 > E1 > C
開放力	8.69	.00**	.14	E1 = E2 > C
創造優異潛能	38.63	.00**	.42	E2 > E1 = C

** $p < .01$.

四、數學學科成就測驗結果

此部分主要在驗證研究假設3.1「不同運動量（足量運動、傳統體育課）對學生數學學科成（知識、理解、應用、綜合、分析）就有差異」及3.2「在不同時間點運動（足量運動且非數學課前運動組、足量運動且數學課前運動組）對學生數學學科成就有差異」。以下使用MANCOVA，以學生上學期期末考數學成績和額外數學學習時數做為共變項，進行不同的教學策略對於學生之數學學科成就認知層次及其認知向度之分析。

（一）數學學科成就測驗高、低認知層次總分結果

不同實驗設計（傳統體育課、足量運動且非數學課前運動組、足量運動且數學課前運動組）在數學學科成就測驗之高、低認知層次分數基本統計量及調整後的平均數如表11。

表11

不同授課班級之三次數學學科成就測驗高、低層次之平均數、標準差

依變項	數學學科成就總分								
	對照組			實驗組一			實驗組二		
	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Adj. mean</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Adj. mean</i>	<i>M</i>	<i>SD</i>	<i>Adj. mean</i>
低認知1	35.90	13.81	35.33	37.29	12.94	38.04	43.93	10.86	43.92
高認知1	24.12	12.41	23.54	21.13	13.14	21.66	22.86	11.99	23.03
低認知2	18.75	10.50	18.58	22.32	10.41	22.88	30.83	6.03	30.59
高認知2	13.88	7.88	13.40	16.48	11.37	16.87	15.71	9.59	15.88
低認知3	23.50	11.07	22.92	23.94	10.00	24.32	34.76	7.49	35.03
高認知3	12.13	5.18	11.88	14.16	5.65	14.28	13.60	7.72	13.75

以三組學生在上學期期末考的數學學科成績和額外數學學習時數為共變項，而三次高認知層次分數與三次低認知層次分數為六個依變項，進一步進行MANCOVA，在排除共變項之影響後，探討各組在數學學科成就測驗中其高、低認知層次分數是否有顯著差異。在進行MANCOVA之前，本研究已先確認研究資料符合變異數同質性（ $F = 1.52, p = .07$ ）、各組組內迴歸同質（Wilk's $\Lambda = .83, p = .55$ ）及共變斜率不為0（Wilk's $\Lambda = .54, p = .00$ ）等三項基本假定。由

數學學科成就認知層次之MANCOVA可得，Wilk's $\Lambda = .62$ ， $p = .00$ ， $\eta^2 = .22$ ，分析結果顯示，主要效果有顯著差異，且達高度效果量，自變項三個組別至少在一個依變項調整後的平均數間有顯著不同。根據上述分析結果，進一步探究三組在數學學科成就測驗中高、低認知層次的分數上之差異。由表12可知，三個組別在高認知層次1 ($F = .26$ ， $p = .77$)、高認知層次2 ($F = 1.61$ ， $p = .21$)及高認知層次3 ($F = 1.56$ ， $p = .21$)的表現並無顯著差異；而在低認知層次1 ($F = 6.64$ ， $p = .00$ ， $\eta^2 = .11$)、低認知層次2 ($F = 20.94$ ， $p = .00$ ， $\eta^2 = .28$)及低認知層次3 ($F = 24.45$ ， $p = .00$ ， $\eta^2 = .31$)三個低認知層次依變項的表現均有顯著差異，且達中至高度效果量。因此，進一步進行LSD事後比較發現，在低認知層次1及低認知層次3方面，實驗組一與對照組之間未有顯著差異，而實驗組二顯著高於對照組及實驗組一；在低認知層次2方面，實驗組二顯著高於對照組及實驗組一，且實驗組一亦顯著高於對照組。

表12

各組別在數學學科成就高、低認知層次之共變數分析及事後比較摘要

變異來源	F	p	η^2	事後比較
低認知1	6.64	.00**	.11	E2 > E1 = C
高認知1	0.26	.77	.00	E1 = E2 = C
低認知2	20.94	.00**	.28	E2 > E1 > C
高認知2	1.61	.21	.03	E1 = E2 = C
低認知3	24.45	.00**	.31	E2 > E1 = C
高認知3	1.56	.21	.03	E1 = E2 = C

** $p < .01$.

(二) 數學學科成就測驗細項測驗結果

進一步考驗研究假設之數學學科成就測驗的各個認知向度之間是否有所差異，並以三組學生在上學期期末考之數學學科成績和額外數學學習時數為共變項，採MANCOVA，數學學科成就測驗細項之基本統計量及調整後的平均數如表13。

表13

各組別在數學學科成就測驗認知向度之平均數、標準差及調整後的平均數

依變數	組別	平均數	標準差	調整後平均數
知識1	實驗組一	8.10	4.10	8.27
	實驗組二	11.76	3.12	11.71
	對照組	7.88	3.67	7.80
理解1	實驗組一	9.90	3.91	9.82
	實驗組二	13.14	2.71	13.19
	對照組	9.74	3.93	9.78
應用1	實驗組一	19.45	7.18	19.94
	實驗組二	19.02	8.03	19.02
	對照組	18.13	8.32	17.75
綜合1	實驗組一	14.03	8.98	14.41
	實驗組二	14.62	8.87	14.67
	對照組	16.00	9.18	15.66
分析1	實驗組一	7.10	4.76	7.25
	實驗組二	8.24	4.96	8.36
	對照組	8.13	4.29	7.88
知識2	實驗組一	10.71	4.00	10.91
	實驗組二	13.64	2.64	13.53
	對照組	9.55	5.01	9.51
理解2	實驗組一	5.84	4.28	5.99
	實驗組二	12.67	2.07	12.60
	對照組	4.15	4.26	4.10
應用2	實驗組一	5.77	4.57	5.98
	實驗組二	4.52	4.87	4.45
	對照組	5.05	4.38	4.97
綜合2	實驗組一	8.65	4.57	8.85
	實驗組二	8.79	4.98	8.77
	對照組	8.45	4.13	8.31
分析2	實驗組一	7.84	7.69	8.03
	實驗組二	6.93	6.32	7.11
	對照組	5.43	5.21	5.09

(續下頁)

依變數	組別	平均數	標準差	調整後平均數
知識3	實驗組一	8.68	3.71	8.79
	實驗組二	13.40	2.31	13.40
	對照組	7.60	4.33	7.52
理解3	實驗組一	7.77	3.40	7.86
	實驗組二	13.05	2.39	13.09
	對照組	7.15	4.53	7.04
應用3	實驗組一	7.48	5.96	7.66
	實驗組二	8.31	5.29	8.55
	對照組	8.75	5.51	8.37
綜合3	實驗組一	10.74	3.81	10.78
	實驗組二	9.31	3.92	9.40
	對照組	9.35	3.73	9.22
分析3	實驗組一	3.42	3.85	3.50
	實驗組二	4.29	4.73	4.34
	對照組	2.77	2.97	2.65

進行MANCOVA分析前，本研究已先確認研究資料符合變異數同質性 ($F = .22, p = .09$)、各組組內迴歸同質 (Wilk's $\Lambda = .71, p = .90$) 及共變斜率不為0 (Wilk's $\Lambda = .66, p = .00$) 等三項基本假定。由數學學科成就認知分向度MANCOVA可得，Wilk's $\Lambda = .22, p = .00, \eta^2 = .53$ ，分析結果顯示，主要效果達顯著差異，且達高度效果量，表示自變項三個群組至少在一個依變項之調整後平均數間有顯著不同，進一步檢視各認知向度之F值，如表14，自變項在知識1 ($F = 15.05, p = .00, \eta^2 = .22$)、理解1 ($F = 12.37, p = .00, \eta^2 = .20$)、知識2 ($F = 11.19, p = .00, \eta^2 = .19$)、理解2 ($F = 62.81, p = .00, \eta^2 = .56$)、知識3 ($F = 31.71, p = .00, \eta^2 = .39$)、理解3 ($F = 34.66, p = .00, \eta^2 = .40$) 六向度有顯著差異，且達高度之效果量。

進一步進行LSD事後比較發現，在知識1、理解1、知識2、知識3，實驗組二顯著高於實驗組一，而實驗組一與對照組之間並無顯著差異；在理解2、理解3方面，實驗組二顯著高於實驗組一，而實驗組一也顯著優於對照組，且在這六個依變項中，均為進行足量運動的實驗組別優於傳統體育課組。

表14

各組別在數學學科成就認知向度之共變數分析及事後比較摘要

變異來源	<i>F</i>	<i>p</i>	η^2	事後比較
知識1	15.05	.00**	.22	E2 > E1 = C
理解1	12.37	.00**	.20	E2 > E1 = C
應用1	1.00	.37	.01	E1 = E2 = C
綜合1	0.23	.79	.00	E1 = E2 = C
分析1	0.59	.56	.01	E1 = E2 = C
知識2	11.19	.00**	.19	E2 > E1 = C
理解2	62.81	.00**	.56	E2 > E1 > C
應用2	1.04	.36	.02	E1 = E2 = C
綜合2	0.17	.85	.00	E1 = E2 = C
分析2	2.46	.09	.04	E1 = E2 = C
知識3	31.71	.00**	.39	E2 > E1 = C
理解3	34.66	.00**	.40	E2 > E1 > C
應用3	0.33	.72	.00	E1 = E2 = C
綜合3	1.71	.19	.03	E1 = E2 = C
分析3	1.89	.16	.03	E1 = E2 = C

** $p < .01$.

伍、研究結果與討論

一、足量運動有助於提升高中女學生的體適能

本研究證實，足量運動實驗組的體適能整體表現顯著高於傳統體育課的對照組，且達高度效果量；而體適能分向度除柔軟度的表現三組均未達顯著差異外，其中，瞬發力、肌耐力及心肺耐力等三個向度均達顯著差異，且達中至高度之效果量。可見，足量運動比傳統體育課更有助於學生體適能的提升，結果和李彩華與方進隆（1998）對國中學生體能檢測與問卷調查結果一致。

本研究結合uCHAMPsys®行動健康紀錄器，可準確地測量學生的身體活動強度與活動量，並根據感測器資料的回饋，確立實驗課程設定之中等以上的活動強

度目標。相較於先前研究多採用課堂時間及問卷等方式做為學生運動的指標，本研究採用uCHAMPsys®的生理訊號，因而得以實際測得學生的運動數據。據此得知，當學生以相關體適能指標進行趣味體育課程，累積足夠的活動量時，能有效改善體適能力。例如：本研究中所設計的趣味籠球課程，學生於拋接籠球的過程中，訓練了瞬發力，在手部支撐傳遞籠球時訓練了手部肌耐力，在撿拾落地的籠球過程中，柔軟度亦無形中受到優化；此外，課程在中等強度的活動中進行了20分鐘以上，也使得學生的心肺耐力相對提升。至於柔軟度的訓練，則主要是仰賴伸展操，當時的活動課程設計強調趣味性，讓學生樂於「動」，因此，在柔軟度訓練的課程相對少於瞬發力、肌耐力及心肺耐力，可能因此造成在柔軟度方面足量運動與傳統體育課並無顯著差異。

二、足量運動與不同運動時間點對創造思考能力具有正向影響，但影響程度存在差異

根據研究結果，三組於足量運動與不同運動時間點上，整體創造思考能力是有差異的。在創造思考能力總分方面，實驗組二高於實驗組一與對照組，而實驗組一與對照組並無顯著差異，也就是足量運動與否對創造思考能力沒有造成影響，但在創造思考活動前進行足量運動，其直接效果是顯著優於殘餘效果的。

首先，從足量運動對創造思考的影響來探討。過去研究均指出，從短時間約50分鐘（Steinberg et al., 1997）到長時間約五至八週（林錚等，2006；陳欣茹等，2009）的不同時間長度運動相關課程，對創造思考能力的相關指標皆會產生提升效果。因此，本研究推論足量運動與否並不是真正影響創造思考能力的因素，而是不同運動時間點，即直接效果和殘餘效果的差別。

進一步再進行LSD事後比較得知，除了開放力以外，其餘創造思考能力的五個分向度在實驗組二皆顯著高於實驗組一與對照組（如表10），由此可知，在學生運動後緊接著進行測驗，對創造思考能力相關指標之提升效果最為顯著。此結果呼應過去文獻支持運動後對於認知表現和創造力的立即效果優於時間間隔後的殘餘效果（Blanchette et al., 2005; Lambourne & Tomporowski, 2010）。探究其原因可能為運動活化大腦功能是有時間限制的，效果可能只能維持一段時間便減弱，此結果呼應先前相關研究（謝維玲譯，2009）提倡在下課或課餘時間，讓學

生進行短時間運動，以促進學習表現。

另一方面，以六個分向度來看，實驗組二（足量運動且數學課前運動組）在流暢力、獨創力、精密力、標題力、創造優異潛能上皆優於實驗組一與對照組，但實驗組二與實驗組一在開放力向度方面則未有顯著差異。開放力為保持開放思考與延緩封閉，因此，也許持續足量運動（實驗組二與實驗組一）就能活化大腦，也能讓情緒穩定與放鬆，提升開放力，建議未來研究可針對此點增加質性資料進行更深入的探討。在獨創力與創造優異潛能向度上，足量運動且非數學課前運動組與傳統體育課組沒有顯著差異，但足量運動且數學課前運動組與傳統體育課組有顯著差異，此差異原因據研究者歸納，應為不同運動時間點所造成，且由於獨創力與創造優異潛能，可能是足量運動且數學課前運動組在運動後，緊接著進行創造思考測驗，其運動產生的助益對學生產生直接而明顯的影響，建議未來研究也可針對此點增加質性資料做更深入的探討。

進一步針對創造思考力不同向度的相關理論與文獻進行探討，在陶倫斯創造思考測驗中，流暢力指的即為受試者有意義反應的圖形數量，反應數量愈多，其得分就愈高。此呼應到林錚等人（2006）及陳欣茹等人（2009）的研究結果，雖然此兩篇研究的總教學時數少於本研究，但在創造思考中的流暢性或獨創性等仍有顯著進步。除了過去文獻所指出的運動和創造思考有正面關聯外，研究者亦在觀察學生在創造思考後測上的作答反應時發現，學生在情緒穩定與放鬆的狀態下，其不尋常或獨特的創意反應能力能有效發揮，同時在潤飾及完成各種構圖上將會有更周延的作法，且不受限於原有圖形，學生於後測繪製的圖案與前測繪製的圖案相較之下，顏色更為豐富且線條更為繁複精密，可見其在精密力上有提升。

三、單獨足量運動對數學學科成就影響不顯著，但足量及課前運動會產生正向的影響

依研究結果顯示，在低認知層次1、2、3測驗，實驗組二皆高於實驗組一與對照組，但在低認知層次1和3測驗，實驗組一與對照組並無顯著差異，因此，可解釋為足量運動與否對低認知層次產生影響很少，但足量課前運動則會對低認知層次產生正向影響。相同地，在分向度上，在知識1、2、3測驗與理解1、2、3測

驗，實驗組二高於實驗組一與對照組，而實驗組一與對照組有些許顯著差異，因此，可解釋足量運動與否對知識與理解分向度產生影響較小，但足量課前運動則會提升知識與理解分向度。最後，三組在高認知層次上均未達顯著效果。

由上可知，學生在長達三個月的足量運動後，對數學學科成就的影響僅限於低認知層次的知識與理解有所改善。結果雖類似過去相關研究，即增加運動時間對數學學科成就是有所助益的（Chomitz et al., 2009; Field et al., 2001），然而，這些研究結果均出自於調查研究，也就是說，足量運動對數學學習成效的影響可能並非一蹴可幾，推論需要更長的時間才有辦法看出深層的影響。

另一方面，以不同運動時間點來看，課前足量運動與足量運動且非數學課前運動組在知識有差異。然而，在低層次的應用與高層次認知所包含的分析與綜合方面的差異性卻未獲得支持。故雖在需要低層次認知上（知識與理解）有達到顯著差異，但在較高層次思考上的影響程度較為有限。研究者對此項結果可能的解釋為，不同時間點對這些向度並不會產生影響。另外，根據文獻，學生在數學學科作答時，應用、分析、綜合等思考能力通常需要相關基本背景知識並搭配邏輯思考訓練才能達成（葉玉珠，2000；Yang, 2008; Yang & Chou, 2008; Yang, Newby, & Bill, 2008），而非短時間內透過放鬆情緒或者集中專注力即可達到。

總結來說，雖然本研究發現足量運動與不同運動時間點對數學學習成效在低認知層次（知識與理解）上有顯著提升，但本研究認為，當學生的基本背景知識增加、理解力增加，學生會更願意也更有能力使用背景知識來解決高認知層次上的所遇到問題（Tobias, 1994），而此成效要顯著是需要較長時間累積的。

陸、結論與建議

本研究證實，足量運動與不同運動時間點對學生體適能、創造思考能力與數學學習低認知層次有正向的幫助。以下針對後續研究能進一步探究的方向和教師未來在實際教學上的安排提供幾點建議。

一、其他中介歷程的影響

根據過去文獻可得知，創造力與學習成效可能受到其他中介歷程影響，

例如：專注力、睡眠、情緒等（Chaddock et al., 2012; Diamond & Lee, 2011; Flaherty, 2005）。建議在未來的研究中，可以進行運動與情緒、睡眠變項間的探討，進一步檢視其他中介歷程的影響。

二、高認知層次的數學成就

本研究已證實足量運動與不同運動時間點的實驗操弄，對於學生部分的創造思考能力有幫助，且在數學學科成就之低認知層次的向度上有所提升，而在屬於高認知層次的數學成就測驗上均未有顯著差異。Tobias（1994）指出，在熟悉基本的知識內容，建立完善的背景知識後，有助於高認知層次的數學成就（應用、分析、綜合），但在短期內可能無法呈現此效果。未來研究可以拉長實驗進行的時間（如一學年），除了可以幫助學生建立完善的背景知識外，更可以進一步探討足量運動對高認知層次的數學成就（邏輯思考能力）之影響。

三、配合行為改變策略

本研究採用之體育課程教學內容皆由教師自編，可能欠缺直接了解學生需要及期待，若能讓學生直接參與課程討論，將使學生對於進行之課程更有參與感。此外，近年來許多行為科學的理論模式，例如：社會認知論（Bandura, 1986）和跨理論模式（Prochaska, DiClemente, Velicer, Ginpil, & Norcross, 1985）等均強調活動行為的介入，尤其跨理論模式更是備受矚目。因跨理論模式為一整合性的理論架構，能綜合性地了解與個體有關的自我改變之動態趨勢，並敘述、解釋和預測健康行為。此模式認為，特定的改變方法和處置策略能讓行為產生改變，並可提高個體之意向與能力知覺，進而有效改善行為。國內外許多相關研究指出，應用跨理論模式於改善身體活動行為具有良好成效（武靜蕙，2006；張世慧，2003；劉俐蓉，2010；Matthews, Whittaker, Moran, & Yuen, 2011）。未來研究可進一步運用引導行為改變策略與教師自編體育課程，探究是否會有不同的教學成效。

致謝：感謝行政院國家科學委員會提供高瞻計畫研究補助（編號NSC100-2514-S006-001）及中華電信與國立成功大學合作研究案補助（契約編號：

MAC000298-1)，並誠摯感謝計畫團隊所有專兼任研究助理及合作學校師生的參與與協助。

DOI: 10.3966/102887082013095903004

參考文獻

- Ratey, J. J., & Hagerman, E. (2009)。運動改造大腦：EQ和IQ大進步的關鍵（謝維玲，譯）。臺北市：野人。（原著出版於2008）
- [Ratey, J. J., & Hagerman, E. (2009). *Exercise redevelops brains: Key points for EQ and IQ development* (W. L. Hsieh, Trans.). Taipei, Taiwan: Ye Ren Book.]
- 余民寧（2002）。教育測驗與教學評量（二版）。臺北市：心理。
- [Yu, M.-N. (2002). *Educational assessment and instructional evaluation* (2nd ed.). Taipei, Taiwan: Psychological.]
- 李乙明（2006）。陶倫斯創造思考測驗圖形版（修訂版）。臺北市：心理。
- [Li, I.-M. (2006). *Torrance tests of creative thinking graphics version* (E. P. Torrance, Rev.). Taipei, Taiwan: Psychological.]
- 李宏鑑（2004）。大腦的執行功能。特殊教育季刊，**90**，1-7。
- [Lee, H.-Y. (2004). Executive functions of brains. *Special Education Quarterly*, 90, 1-7.]
- 李彩華、方進隆（1998）。國中學生身體活動量與體適能相關因素研究。體育學報，**25**，139-148。
- [Lee, C.-W., & Fang, C.-L. (1998). A study of physical activity level and its affecting factors of junior students in Taipei City. *Physical Education Journal*, 25, 139-148.]
- 林生傳（2005）。教育社會學。臺北市：巨流。
- [Lin, S.-C. (2005). *Sociology of education*. Taipei, Taiwan: Ju Liu Book.]
- 林錚、王儀旭、黃美瑤、陳宗麟（2006）。啟發性遊戲介入體育課對國中生創造思考之影響。北體學報，**14**，24-35。
- [Lin, C., Wang, Y.-H., Huang, M.-Y., & Chen, C.-L. (2006). Using of initiative game activities into physical education on creativity of middle school students. *Taipei Physical Education College Press*, 14, 24-35.]
- 武靜蕙（2006）。高職學生運動行為介入研究：應用跨理論模式（未出版之碩士論文）。國立臺灣師範大學，臺北市。

- [Wu, J.-H. (2006). *Study of exercise behavior intervention among the vocational high school students: Application of the transtheoretical model* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan.]
- 國立臺灣師範大學體育研究與發展中心 (2010)。99年度各級學校學生運動參與情形報告。臺北市：教育部。
- [Research and Development Center of Physical Education. (2010). *Report of students' participation of exercise in all levels of schools in 2010*. Taipei, Taiwan: Ministry of Education.]
- 張世慧 (2003)。行為改變技術：理論與實用技巧。臺北市：五南。
- [Zhang, S.-H. (2003). *Behavior change techniques: Theory and practical skills*. Taipei, Taiwan: Wu-Nan.]
- 教育部 (2007)。快活計畫。臺北市：作者。
- [Ministry of Education. (2007). *Merry Plan*. Taipei, Taiwan: Author.]
- 教育部 (2010)。第八次全國教育會議實錄。臺北市：作者。
- [Ministry of Education. (2010). *Record of the 8th national conference on education*. Taipei, Taiwan: Author.]
- 教育部體適能網站 (2011)。體適能指導。取自<http://www.fitness.org.tw/direct02.php>
- [Website of Physical Fitness, Ministry of Education. (2011). *Physical fitness guide*. Retrieved from <http://www.fitness.org.tw/direct02.php>]
- 陳正昌、張慶勳 (2007)。量化研究與統計分析。臺北市：新學林。
- [Chen, Z.-C., & Zhang, Q.-X. (2007). *Quantitative research and statistical analysis*. Taipei, Taiwan: Xin Xue Lin Book.]
- 陳仲義 (2001)。運動時數對國民小學學童健康體適能的影響 (未出版之碩士論文)。臺北市立師範學院，臺北市。
- [Chen, C.-Y., (2001). *Effects of short term exercise prescription on elementary school student's health-related fitness* (Unpublished master's thesis). Taipei Municipal University of Education, Taipei, Taiwan.]
- 陳欣茹、吳海助、劉兆達、黃永寬 (2009)。運動遊戲課程對幼兒創造力之影響。弘光學報，57，68-78。
- [Chen, H.-J., Wu, H.-C., Liu, J., & Huang, Y.-K. (2009). Creativity of children affected by the exercise and game curriculum. *Bulletin on HungKuang Institute of Technology*, 57, 68-78.]
- 葉玉珠 (2000)。智能與批判思考。國立中山大學社會科學季刊，2 (1)，1-28。

- [Yeh, Y.-C. (2000). Intelligence and critical thinking. *National Sun Yat-Sen University Social Sciences Quarterly*, 2(1), 1-28.]
- 詹正豐（2007）。臺北市高中職實施體適能納入升學計分之始末。《學校體育》，17（2），17-24。
- [Zhan, Z.-F. (2007). Beginning and end of implementing fitness into the entrance exam scores in senior high school in Taipei. *Physical Education of School*, 17(2), 17-24.]
- 劉俐蓉（2010）。臺北市國中學生身體活動教育介入成效研究——跨理論模式之應用（未出版之碩士論文）。國立臺灣師範大學，臺北市。
- [Liu, L.-J. (2010). *The study of the effects of a physical activity education intervention among the Taipei municipal junior high school students: Application of the transtheoretical model* (Unpublished master's thesis). National Taiwan Normal University, Taipei, Taiwan.]
- 蔡忠昌、劉蕙綾（2006）。運動對於腦部功能的影響：多上體育課會影響學業成績嗎？《大專體育》，87，184-190。
- [Tsai, Z.-C., & Liu, H.-L. (2006). The influence of exercise on brain functions: Does having more physical classes influence academic achievements? *College Physiccal Education*, 87, 184-190.]
- 鄭英耀、劉昆夏、張川木（2007）。國小自然科創造性問題解決教學效果之研究。《科學教育學刊》，15（5），565-591。
- [Cheng, Y.-Y., Liu, K.-S., & Chang, C.-M. (2007). The effect of creative problem solving instruction on elementary schools science lessons. *Chinese Journal of Science Education*, 15(5), 565-591.]
- 謝藝綾（2009）。五分鐘不同強度運動對國小學童選擇性注意力測驗及簡單反應時間測驗表現的影響（未出版之碩士論文）。國立彰化師範大學，彰化縣。
- [Hsieh, Y.-L. (2009). *The effect of five minutes moderate and intense exercises on performance of selective attention and simple reaction time of elementary school students* (Unpublished master's thesis). National Changhua University of Education, Changhua, Taiwan.]
- Anderson, L. W., Krathwohl, D. R., & Bloom, B. S. (2001). *A taxonomy for learning, teaching, and assessing: A revision of Bloom's taxonomy of educational objectives*. New York, NY: Addison-Wesley.
- Bandura, A. (1986). *Social foundations of thought and action*. Englewood Cliffs, NJ: Prentice-Hall.
- Blanchette, D. M., Ramocki, S. P., O'Del, J. N., & Casey, M. S. (2005). Aerobic exercise and

- creative potential: Immediate and residual effects. *Creativity Research Journal*, 17(2-3), 257-264. doi: 10.1080/10400419.2005.9651483
- Carlson, S. A., Fulton, J. E., Lee, S. M., Maynard, L. M., Brown, D. R., Kohl III, H. W., & Dietz, W. H. (2008). Physical education and academic achievement in elementary school: Data from the early childhood longitudinal study. *Journal Information*, 98(4), 721-727.
- Castelli, D. M., Hillman, C. H., Buck, S. M., & Erwin, H. E. (2007). Physical fitness and academic achievement in third-and fifth-grade students. *Journal of Sport and Exercise Psychology*, 29(2), 239-252.
- Cavallera, G. M., Boari, G., Labbrozzi, D., & Del Bello, E. (2011). Morningness-eveningness personality and creative thinking among young people who play recreational sport. *Social Behavior and Personality*, 39(4), 503-518. doi: 10.2224/sbp.2011.39.4.503
- Centers for Disease Control and Prevention. (2011). *How much physical activity do children need?* Retrieved from <http://goo.gl/pYzqC>
- Chaddock, L., Erickson, K. I., Prakash, R. S., Voss, M. W., Van Patter, M., Pontifex, M. B., Hillman, C. H., & Kramer, A. F. (2012). A functional MRI investigation of the association between childhood aerobic fitness and neurocognitive control. *Biological Psychology*, 89(1), 260-268.
- Chomitz, V. R., Slining, M. M., McGowan, R. J., Mitchell, S. E., Dawson, G. F., & Hacker, K. A. (2009). Is there a relationship between physical fitness and academic achievement? Positive results from public school children in the northeastern United States. *Journal of School Health*, 79(1), 30-37.
- Coe, D. P., Pivarnik, J. M., Womack, C. J., Reeves, M. J., & Malina, R. M. (2006). Effect of physical education and activity levels on academic achievement in children. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 38(8), 1515-1519.
- Cohen, J. (1988). *Statistical power analysis for the behavioral sciences* (2nd ed.). Hillsdale, NJ: Lawrence Erlbaum Associates.
- Diamond, A., & Lee, K. (2011). Interventions shown to aid executive function development in children 4 to 12 years old. *Science*, 333(6045), 959-964. doi: 10.1126/science.1204529
- Dwyer, T., Sallis, J. F., Blizzard, L., Lazarus, R., & Dean, K. (2001). Relation of academic performance to physical activity and fitness in children. *Pediatric Exercise Science*, 13(3), 225-237.
- Field, T., Diego, M., & Sanders, C. E. (2001). Exercise is positively related to adolescents'

- relationships and academics. *Adolescence*, 36(141), 105-110.
- Flaherty, A. W. (2005). Frontotemporal and dopaminergic control of idea generation and creative drive. *J Comp Neurol*, 493(1), 147-153. doi: 10.1002/cne.20768
- Gondola, J. C., & Tuckman, B. W. (1985). Effects of a systematic program of exercise on selected measures of creativity. *Perceptual and Motor Skills*, 60(1), 53-54.
- Greenwood, B. N., Foley, T. E., Le, T. V., Strong, P. V., Loughridge, A. B., Day, H. E., & Fleshner, M. (2011). Long-term voluntary wheel running is rewarding and produces plasticity in the mesolimbic reward pathway. *Behavioural Brain Research*, 217(2), 354-362.
- Hillman, C. H., Erickson, K. I., & Kramer, A. F. (2008). Be smart, exercise your heart: Exercise effects on brain and cognition. *Nature Reviews Neuroscience*, 9(1), 58-65.
- Lambourne, K., & Tomporowski, P. (2010). The effect of exercise-induced arousal on cognitive task performance: A meta-regression analysis. *Brain Research*, 1341, 12-24. doi: 10.1016/j.brainres.2010.03.091
- Matthews, T., Whittaker, S., Moran, T., & Yuen, S. (2011). Collaboration personas: A new approach to designing workplace collaboration tools. *Computer Human Interaction*, 1, 2247-2256.
- Prochaska, J. O., DiClemente, C. C., Velicer, W. F., Ginpil, S., & Norcross, J. C. (1985). Predicting change in smoking status for self-changers. *Addictive Behaviors*, 10, 395-406.
- Sattelmair, J., & Ratey, J. J. (2009). Physically active play and cognition: An academic matter? *American Journal of Play*, 3, 365-374.
- Singh, A., Uijtdewilligen, L., Twisk, J. W. R., van Mechelen, W., & Chinapaw, M. J. M. (2012). Physical activity and performance at school: A systematic review of the literature including a methodological quality assessment. *Archives of Pediatrics and Adolescent Medicine*, 166(1), 49.
- Steinberg, H., Sykes, E. A., Moss, T., Lowery, S., LeBoutillier, N., & Dewey, A. (1997). Exercise enhances creativity independently of mood. *British Journal of Sports Medicine*, 31(3), 240-245.
- Steptoe, A., Wardle, J., & Marmot, M. (2005). Positive affect and health-related neuroendocrine, cardiovascular, and inflammatory processes. *Proc Natl Acad Sci USA*, 102(18), 6508-6512. doi: 10.1073/pnas.0409174102
- Taras, H. (2005). Physical activity and student performance at school. *Journal of School Health*,

75(6), 214-218. doi: 10.1111/j.1746-1561.2005.tb06675.x

- Tobias, S. (1994). Interest, prior knowledge, and learning. *Review of Educational Research*, 64(1), 37-54.
- Tomporowski, P. D. (2003). Effects of acute bouts of exercise on cognition. *Acta Psychologica*, 112(3), 297-324.
- Torrance, E. P. (1966). *Torrance tests of creative thinking: Norms-technical manual*. Princeton, NJ: Personnel Press.
- Yang, Y.-T. C. (2008). A catalyst for teaching critical thinking in a large university class in Taiwan: Asynchronous online discussions with the facilitation of teaching assistants. *Educational Technology Research & Development*, 56(3), 241-264.
- Yang, Y.-T. C., & Chou, H.-A. (2008). Beyond critical thinking skills: Investigating the relationship between critical thinking skills and dispositions through different online instructional strategies. *British Journal of Educational Technology*, 39(4), 666-684.
- Yang, Y.-T. C., Newby, T. J., & Bill, R. L. (2008). Facilitating interactions through structured web-based bulletin boards: A quasi-experimental study on promoting learners' critical thinking skills. *Computers and Education*, 50(4), 1572-1585.