

# 不同活化後增能作用處理對划船運動表現與肌肉氧飽和濃度之影響

劉錦璋<sup>1</sup>、李佳茹<sup>2</sup>、張建邦<sup>3</sup>、潘旗學<sup>4\*</sup>

## 摘 要

**目的：**探討不同活化後增能作用處理對國中划船選手室內划船表現以及肌肉氧飽和濃度之影響。**方法：**11名國中男子划船選手，以隨機方式進行3種不同熱身處理後進行1,000-m的划船測功儀計時測驗，其中包含標準化的划船熱身（CON），標準化的划船熱身再加上5組5秒的最大等長的熱身（IMT）或標準化熱身再加上5次反覆1組的深跳（PYT）。測驗全程配戴近紅外線光譜儀（near-infrared spectroscopy, NIRS）監測肌肉氧飽和度。**結果：**IMT及PYT熱身處理後，能夠顯著提升測驗中的前500公尺之分段時間（CON處理 vs. IMT處理 vs. PYT處理， $110.2 \pm 5.1$ 秒 vs.  $108.8 \pm 4.9$ 秒 vs.  $106.9 \pm 4.9$ 秒， $p = .006$ ）及平均輸出功率（CON處理 vs. IMT處理 vs. PYT處理， $267 \pm 46$  W vs.  $277 \pm 39$  W vs.  $296 \pm 46$  W， $p < .001$ ）。PYT處理的前500公尺之平均輸出功率也顯著高於IMT處理（ $p = .020$ ）。肌肉氧飽和度相關指標在各處理間並未發現統計上的差異。**結論：**於標準化的划船熱身後加入最大等長以及增強式跳躍的熱身方式，可以提升前500公尺輸出功率以及運動表現。

關鍵詞：起跑、血流量、配速、熱身

---

Submitted for publication: June 6, 2023; Accepted for publication: November 1, 2023

DOI: 10.53106/1815638X2023060036003

<sup>1</sup> 國立臺灣師範大學運動競技學系。

<sup>2</sup> 臺北市立北安國民中學。

<sup>3</sup> 國立臺灣海洋大學共同教育中心。

<sup>4</sup> 國立臺灣師範大學體育與運動科學系。

\* Corresponding author: 潘旗學 jasonpan8011@gmail.com

# The Influences of Two Different Post-Activation Potentiation Condition on Indoor Rowing Ergometer Performance and Muscular Oxygenation for Junior High School Rowers

Gin-Chang Liu<sup>1</sup>, Chia-Ju Lee<sup>2</sup>, Chien-Pang Chang<sup>3</sup>, Chi-Hsueh Pan<sup>4</sup>

## Abstract

**Purpose:** This study aimed to investigate the effects of two post-activation potentiation (PAP) conditions on indoor rowing performance and muscular oxygenation. **Methods:** Eleven male junior high school rowers participated in this study. Participants completed three different warm-up procedures: a control condition (CON) involving a 2-minute rowing warm-up with 20 strokes per minute, a condition combining rowing warm-up with a series of isometric conditioning contractions (5 sets of 5 seconds) (IMT), and a condition combining rowing warm-up with a series of depth jumps (1 set of 5 jumps) (PYT). After each warm-up, participants performed a 1,000-m rowing ergometer time trial. Near-infrared spectroscopy (NIRS) was used to monitor muscular oxygenation in the right vastus lateralis muscle. **Results:** The 500-m split time in the IMT and PYT conditions was significantly faster than that in the CON condition (CON vs. IMT vs. PYT,  $110.2 \pm 5.1$  s vs.  $108.8 \pm 4.9$  s vs.  $106.9 \pm 4.9$  s,  $p = .006$ ). The 500-m mean power output in the IMT and PYT conditions was significantly higher than that in the CON condition (CON vs. IMT vs. PYT,  $267 \pm 46$  W vs.  $277 \pm 39$  W vs.  $296 \pm 46$  W,  $p < .001$ ). The 500-m mean power output in the PYT condition was significantly higher than that in the IMT condition ( $p = .020$ ). However, there were significant differences in muscular oxygenation measured by NIRS among the three conditions. **Conclusion:** A rowing warm-up combined with a series of isometric conditioning contractions or a series of depth jumps may enhance the 500-m split time and mean power output during a rowing ergometer performance.

**Keywords:** start of a race; blood flow; pace, warm up

---

<sup>1</sup> Department of Athletic Performance, National Taiwan Normal University.

<sup>2</sup> Bei'an Junior High School.

<sup>3</sup> General Education Center, National Taiwan Ocean University.

<sup>4</sup> Department of Physical Education and Sport Sciences, National Taiwan Normal University.

## 1. 問題背景

為了提高競技運動選手表現，科學化的訓練已是現代運動員不可或缺的一部分，而除了訓練外，競賽前的熱身運動（warm-up）更是教練以及運動科學家們努力鑽研的研究議題。熱身運動可以透過提升肌肉溫度，降低肌肉纖維中的黏滯性，增加關節的活動度，提高肌肉收縮時的發力率（rate of force development, RFD）（1, 2）。近年來，許多研究針對運動前進行高強度的動態或靜態的熱身運動，可以提升隨後的爆發力運動表現進行探討，這種現象稱之為活化後增能作用（post-activation potentiation, PAP），過去對於PAP作為事前運動的研究多為爆發力運動表現。Sale（2002）指出（3），透過高強度的運動誘發PAP現象，肌肉的疲勞會伴隨著生成。而當誘發強度較低時，肌肉疲勞產生的程度並不會影響PAP的效果，但相對的也無法產生最佳的效益（4, 5）。然而，當誘發運動強度提升，疲勞也會伴隨著產生，當恢復時間不足時，可能會影響隨後的運動表現，亦即疲勞大於誘發效益，而無法達到理想的熱身效果，而根據過去文獻研究，下肢爆發力運動表現最合適的恢復時間為7至10分鐘（6），此外，等長收縮作為熱身動作的研究也被認為4至8分鐘為適當的恢復時間（7）。時至今日，相較於PAP對於隨後爆發力運動表現的研究已經相當成熟（8, 9），PAP對於持續性運動（耐力運動）的研究則相對少見。過去僅有少數文章提出可能可以透過PAP的熱身方式提升隨後的運動表現，如Feros等（2012）發現在常規熱身後，進行5組5秒的等長收縮（組間休息15秒）的熱身誘發PAP現象，可以顯著提升1,000公尺室內划船測功儀的計時賽前500公尺的表現（10）。此外，Lima等（2011）進行2組5次反覆的深跳（depth jump），是可以顯著提升隨後50公尺的衝刺表現（11）。Gil等（2019）進行2組5次反覆的深跳，除了可以提升100公尺測驗中的運動表現外，更能加大其跑步的步幅，透過研究可以發現，針對連續型的牽張縮短循環（stretch-shortening cycle, SSC）運動，可能可以運用彈震式或增強式的動作進行誘發（12）。

標準划船比賽距離為2,000公尺，比賽時間約在6至

7分鐘間，是一項持續性的全身性運動項目，在划船運動時的動作操作依序為下肢腿部蹬腿，其次為背部後仰，最後則為手臂後拉將槳帶向身體，在不同的肌肉群與肌纖維組成各不相同下，肌肉的氧氣使用也各不相同。由於科學化的訓練與生理層面密不可分，因此近年來許多研究指出訓練時可以搭配一種非侵入性，且可連續測量組織氧合作用與血流量變化的近紅外線光譜儀（near-infrared spectroscopy, NIRS），用來觀察訓練時血流動力學改變。Klusiewicz等（2021）研究指出，透過配戴NIRS非侵入性的特性以及肌肉氧飽和濃度值的連續監測有助於進行有氧訓練負荷時的評估（13）。而過去針對熱身的機轉其中包含，提升血紅素（hemoglobin）中氧氣的使用等以及提升作用肌群的血流（1, 14, 15），但划船運動除了肌耐力外仍然要求選手的肌力以及爆發力（10）。Bourdin, Messonnier, Hager & Lacour（2004）更指出，頂尖划船選手的室內划船測功儀的輸出功率峰值是可以反應其競賽表現（16），Steinacker（1993）指出，划船競賽初期的起跑衝刺需要產生800-1200瓦特的相對較大之功率輸出，能夠在比賽開始時，較早進入領先位置，擁有相對競賽優勢（17）。此外，目前國內國中組的競賽無論男女與年齡，皆為1,000公尺的計時賽（陸上、室內競賽或水道賽），更甚者，室內划船競賽對於熱身方式擁有高的自由度，對於提升爆發力的熱身方式更能運用於實際賽場上。因此，爆發力對於該層級的選手更為重要，能夠擁有較大力量，並且能夠產生較大功率的選手始能主宰划船賽場。

本研究旨在觀察活化後增能作用對划船選手1,000公尺計時測驗之運動表現的影響，並觀察肌肉氧合指標以及心跳率之變化，以釐清PAP提升運動表現的機制，以求能找到更好的熱身方式進而提升實際划船賽場或室內划船測功儀的運動表現。

## 2. 方法

### 2.1 研究對象

本研究招募11名國中男子划船選手為受試對象

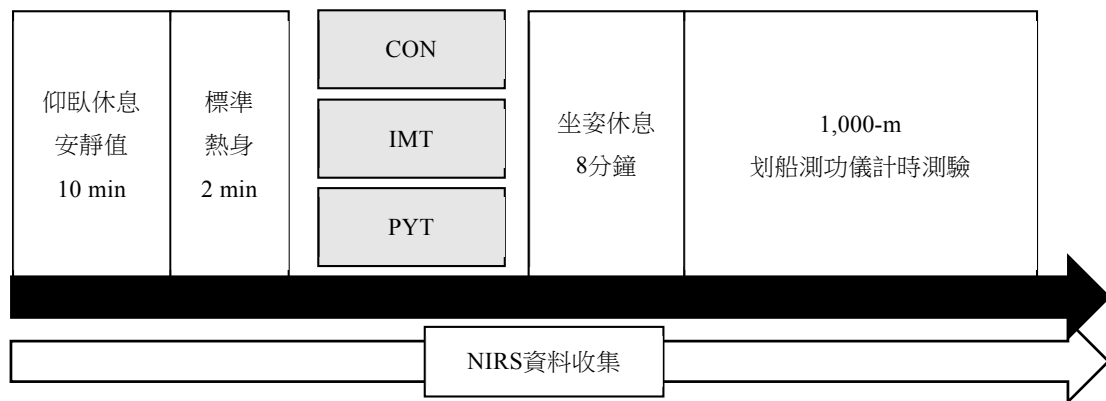


圖1. 實驗流程圖

(身高： $1.70 \pm 0.08$ 公尺，體重： $61.3 \pm 10.0$ 公斤，年齡： $14.4 \pm 0.5$ 歲)，每週訓練至少6小時，且訓練年齡至少1年(含)以上，所有受試對象皆有參與室內測功儀比賽之經驗。實驗前，受試者均瞭解本研究目的、實驗相關流程以及可能發生的突發狀況，並填寫自身健康狀況調查表，並請監護人簽名，調查表顯示，受試者身體狀況正常良好，且願意參加本研究，始得納入為本研究之受試對象。為避免飲食影響研究結果，要求全部參與之受試者於測驗前禁食至少4小時以上。

## 2.2 研究步驟

受試者於正式實驗開始前需要進行熟悉實驗，以確保受試對象能夠熟悉測驗的流程並習慣配戴器材之感受，此外，熟悉實驗期間也記錄受試對象之風阻係數及腳蹬板長度設置。進行完熟悉實驗的48小時後，受試者以隨機且平衡次序的方式分派到不同實驗處理，包括等長誘發處理(isometric induced treatment, IMT)、增強式誘發處理(plyometric induced treatment, PYT)及控制處理(control, CON)，每次實驗處理間至少間隔48小時。受試者，於各處理後，執行1,000公尺室內划船測功儀計時測驗，以評估誘發PAP現象對於運動表現的影響，實驗流程圖請詳見圖1。

## 2.3 實驗處理

標準熱身指在划船測功儀上進行2分鐘，每分鐘20槳的熱身，風阻係數由受試對象自訂，並與正式測驗強度相同。CON處理為不進行任何處理，標準熱身結束後，受試者安靜坐姿休息10分鐘後進行測驗。IMT處理採用Feros等(10)之研究，在受試者進行熱身運動前，將受試者膝關節角度設定於膝屈約110度的位置，雙手打直，軀幹撐直，姿勢成入水時的動作，而後將手把位置利用手拉器與織帶固定於測功儀的風扇處。進行IMT處理時，採用5次5秒的最大等長收縮，當受試對象聽到口令「3、2、1、go」的go時，進行全力的腿蹬，並為維持軀幹的角度，並且以划椅不動的方式維持膝關節角度固定，直到口令「停」，之後進行15秒的被動休息，當第11秒時，會提醒受試者預備，待13秒時開始口令「3、2、1、go」，直到完成5次的最大等長收縮流程(10)。而PYT處理，採用60公分高之木箱進行增強式動作跳躍，其中，木箱高度根據過去研究指出(18)，建議的深跳高度介於16-42英吋(41-107公分)，而Witzke與Snow(19)的研究中，以最高24inch(60cm)的深跳為訓練課表(對象為14.6歲女子選手)，符合過去研究建議。當受試者站至木箱上後向前踏步，自由落下後以膝蓋彎曲的方式落地，並且立即盡最大努力向上跳躍，動作全程都採手置於髖關節的方式進行。落地後，休息15秒後回到跳箱上進行下一次跳躍，共計5次反覆(12, 19)，而2種處理完成後，將進行坐姿休息8分鐘後進行測驗(6, 7)。

## 2.4 測驗項目與方法

本次研究測驗項目使用划船測功儀 (Concept II, Morrisville, VT, USA) 進行1,000公尺計時測驗，3次處理之風阻係數設定需一致，測驗過程不限制配速方式，要求受試者以最快速度完成1,000公尺，其間並進行口頭鼓勵，但會將面板之預計完成時間與持續時間遮蔽。測驗全程，會於右側股外側肌 (vastus lateralis muscle) 安裝NIRS (Moxy, Fortiori Design LLC, Minnesota, USA) 測量肌肉中的含氧血紅素、去氧血紅素的變化，並計算其組織氧合指標 (tissue saturation index, TSI)，NIRS安裝於定位後，隨即進行安靜仰臥休息10分鐘，以確保受試對象回復至安靜狀態，並蒐集最後1分鐘之生理數值作為基準值。確定受試者處於良好身體狀態後，即可進行固定之標準化熱身，本研究採用2分鐘、每分鐘20划槳頻率 (stroke per minute, spm) 的持續划，作為標準化熱身，隨後依據隨機且平衡次序的安排進行IMT、PYT或CON處理，完成處理後進行10分鐘的坐姿休息，隨即進行1,000公尺室內划船測功儀計時測驗。

## 2.5 資料處理與統計分析

本研究所獲得之各項數據，所有描述性統計表示法皆以平均數  $\pm$  標準差表示。以套裝統計軟體 (SPSS 22.0, Chicago, IL, USA) 以進行重複量數單因子變異數

分析 (one-way ANOVA)，處理因子分別在1,000公尺計時測驗中運動表現、輸出功率、槳頻與心跳率之差異。肌肉氧飽和濃度則以重複量數二因子變異數分析 (two-way ANOVA) 考驗處理因子以及時間因子，二因子間的效果，若主要效果達顯著則以Bonferroni法進行事後比較，本研究統計水準設定為 $\alpha = .05$ 。

## 3. 結 果

### 3.1 室內划船運動表現

在分段時間部分，IMT於前500公尺分段計時時間顯著低於CON處理 ( $p = .028$ )，PYT於前500公尺分段計時時間顯著低於CON處理 ( $p = .022$ )，而IMT與PYT處理則未有統計上之顯著差異 ( $p = .059$ )。而對於1,000公尺全段時間，處理間未有顯著差異。

在平均輸出功率部分，IMT於前500公尺分段平均輸出功率顯著高於CON處理 ( $p = .045$ )，PYT於前500公尺分段平均輸出功率顯著高於CON處理 ( $p = .003$ )，而PYT處理於前500公尺分段平均輸出功率顯著高於IMT ( $p = .002$ )。

在平均槳頻部分，1,000公尺全段平均槳頻、前500公尺分段平均槳頻、前100公尺分段平均槳頻的效果，處理間皆未達統計上的顯著水準，結果如下表1。

表1. 室內划船運動表現之結果

	CON			IMT			PYT			F
0-100m時間 (s)	21.3	$\pm$	1.0	21.4	$\pm$	1.2	21.2	$\pm$	1.6	0.196
0-100m Mean power (W)	281	$\pm$	57	297	$\pm$	37	304	$\pm$	37	5.896
0-100m Mean SR (strokes·min <sup>-1</sup> )	34.3	$\pm$	4.9	35.1	$\pm$	4.8	34.3	$\pm$	3.7	0.609
0-500m時間 (s)	110.2	$\pm$	5.1	108.8	$\pm$	4.9 †	106.9	$\pm$	4.9 †	11.647
0-500m Mean power (W)	267	$\pm$	46	277	$\pm$	39 †	296	$\pm$	46 †‡	9.552
0-500m Mean SR (strokes·min <sup>-1</sup> )	32.3	$\pm$	4.6	32.3	$\pm$	4.0	33.1	$\pm$	2.9	0.000
0-1,000m時間 (s)	227.0	$\pm$	9.2	225.7	$\pm$	9.0	223.0	$\pm$	9.7	4.945
0-1,000m Mean power (W)	245	$\pm$	30	249	$\pm$	31	269	$\pm$	44 †‡	6.601
0-1,000m Mean SR (strokes·min <sup>-1</sup> )	31.8	$\pm$	3.3	31.6	$\pm$	3.2	32.4	$\pm$	2.3	0.169

註：Mean power = 平均輸出功率；Mean SR = 平均划槳頻率；† = 與CON有顯著差異 ( $p < .05$ )；‡ = 與IMT有顯著差異 ( $p < .05$ )。

### 3.2 分段平均心跳率

使用重複量數單因子變異數分析考驗處理因子對於1,000公尺全段平均心跳率、前500公尺分段平均心跳率、前100公尺分段平均心跳率的效果，處理間皆未達統計上的顯著水準，結果如下表2。

### 3.3 肌肉氧飽和濃度

受試者於1,000公尺室內划船測功儀計時測驗過程之組織氧合指標結果如圖2。以二因子重複量數變異數

分析考驗處理因子（PYT, IMT與CON）與時間因子（rest, PAP與0m-1,000m每100m分段）間的效果。在時間因子部分，進行熱身處理時，組織氧合指標顯著低於安靜休息（ $p < .001$ ）、前100公尺分段皆顯著低於安靜休息（ $p < .001$ ）以及測驗前0m時（ $p < .001$ ），但前100公尺分段與進行熱身處理時並無顯著差異（ $p = .052$ ），然而，200公尺分段之後所有運動中之組織氧合指標皆顯著低於安靜休息、進行熱身處理、測驗前0m時，此外，200公尺分段之後所有運動期間皆無顯著差異（ $p > .050$ ）。

表2. 分段平均心跳率之結果

變項（單位）	CON			IMT			PYT			F
0-100m Mean HR (beats/min)	143.5	±	14.4	145.5	±	12.3	137.1	±	18.0	0.477
0-500m Mean HR (beats/min)	172.6	±	11.1	176.6	±	8.1	171.0	±	13.2	1.456
0-1,000m Mean HR (beats/min)	181.4	±	7.5	184.8	±	6.6	181.7	±	8.4	3.214

註：Mean HR = 平均心跳率。

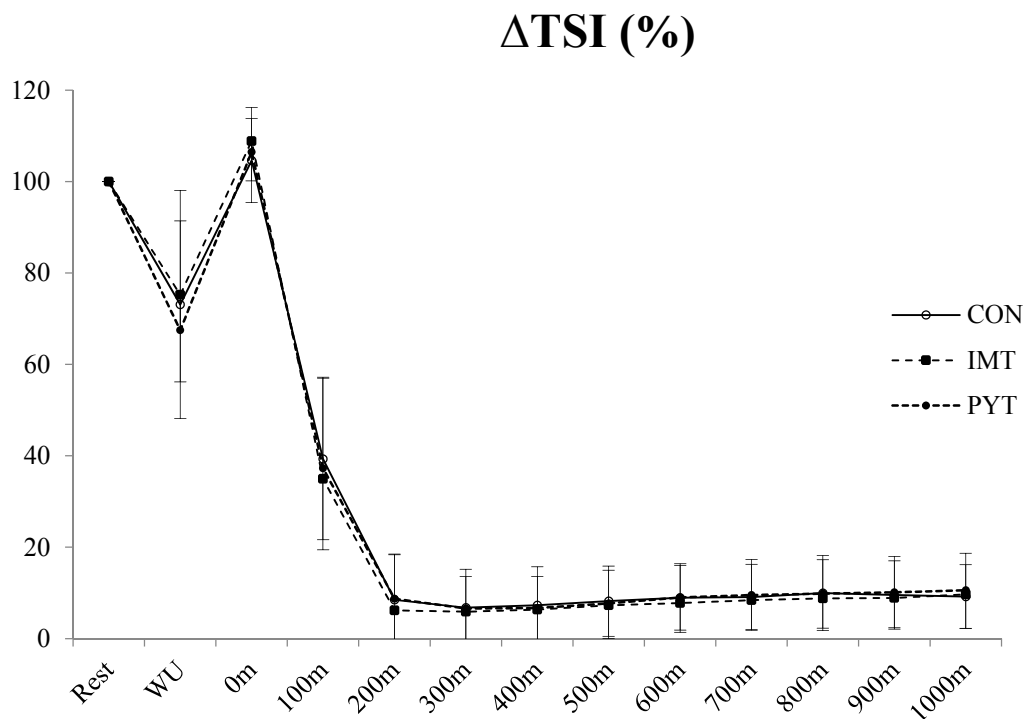


圖2. 不同實驗處理下之組織氧合指標

註：TSI = 組織氧合指標；CON = 控制處理；IMT = 等長誘發處理；PYT = 增強式誘發處理；Rest = 安靜休息；WU = 熱身處理。

## 4. 討 論

本研究結果發現，進行IMT以及PYT熱身處理後，能夠顯著提升1,000公尺室內划船計時測驗中的前500公尺之分段時間以及平均輸出功率，此外，PYT處理的前500公尺之平均輸出功率也顯著高於IMT處理。另一方面，PYT於1,000公尺全段平均輸出功率顯著高於IMT處理以及CON處理。透過本次研究結果可以得知，透過誘發PAP現象的熱身處理可以提升室內划船運動的前500公尺完成時間，並且進行PYT處理可能能夠對前500公尺之平均輸出功率以及1,000公尺全段平均輸出功率有更好的效果。

過去採用IMT處理的研究中Feros等 (10) 指出，1,000公尺划船測功儀的計時賽的前500公尺運動表現（84.4秒 vs. 86.1秒）、前500公尺的平均輸出功率（590.7 W vs. 554.1 W）相較於控制處理，都能有顯著的提升。因此，本研究中之IMT處理同樣以Feros等 (10) 的方式，進行5組5秒的等長收縮並搭配上組間休息15秒，本研究結果發現也有相符的結果，IMT處理在前500公尺運動表現以及前500公尺的平均輸出功率，相較於CON處理過後皆能顯著提升。本研究前500公尺運動表現有顯著的提升，其運動時間長達80秒的狀況下，運動表現的提升的原因，可能會與能量系統有關。熱身運動透過提升肌肉溫度 (1, 2) 的機轉，可能會導致後續肌肉內能量代謝系統的提升，包含ATP轉換能力、PCr的利用率、無氧醣酵解系統，因而造成較長運動時間的運動表現提升 (21, 22)。

此外，值得一提的部分是，本研究於1,000公尺全段運動表現中，並未能發現到類似於Feros等 (10) 的結果，該研究於1,000公尺全段運動中，槳頻部分在IMT處理顯著高於控制處理（42.2 strokes·min<sup>-1</sup> vs. 40.4 strokes·min<sup>-1</sup>），但本研究中之平均槳頻未能發現處理間的差異，深入探討原因，Feros等 (10) 的研究中，受試對象為澳洲國家層級之划船選手，平均槳頻無論是IMT處理亦或者是控制處理皆高於40 strokes·min<sup>-1</sup>，相較之下本次研究受試對象為國中男子划船選手，平均槳頻最高僅32 strokes·min<sup>-1</sup>，目前國內國中男子、女

子選手比賽距離均是1,000公尺，因此，訓練課程的設計皆以此為專長項目的練習目標，相較於標準距離2,000公尺僅有一半的距離，體能的準備、技戰術的訓練勢必與2,000公尺的標準距離不同，因此，可能由於競賽訓練目標的不同，導致其競賽配速策略以及生理適應上的不同，造成平均槳頻差異。除此之外，也可以發現本研究中IMT處理，與Feros等 (10) 的研究相似，並無法提升1,000公尺之全段時間運動表現。

針對PYT處理的結果可以發現，前500公尺分段時間以及輸出功率2種表現皆顯著高於CON處理，亦即能夠順利誘發PAP現象，提升前500公尺分段的運動表現。此外，本研究另一重要發現為，PYT處理於1,000公尺全段平均輸出功率除了顯著高於CON處理外，也顯著高於IMT處理。過去研究指出，增強式的訓練動作是透過預先的離心動作拉長肌肉，並且快速的徵召運動單位進行向心收縮，透過預先儲存的彈性能量的釋放（肌肉被拉長），優先徵召快縮肌群，產生較高的發電頻率以及較高的每運動單位產生的力量 (23)。因此，能夠透過增強式的動作熱身，進而預先徵召II型肌纖維，誘發PAP現象，增加肌肉產生的力量而提升運動表現 (6, 24)。進一步探討過去研究發現，運用增強式運動作為熱身，誘發PAP現象的研究中，Hilfiker等 (25) 使用深跳5次反覆1組的方式誘發PAP現象，可以提升隨後下蹲跳的平均功率輸出達2.2%，另外，Tobin與Delahunt (26) 進行一系列增強式動作作為誘發（共40跳的熱身動作），可以提升隨後下蹲跳跳躍高度約4.8%（2.09公分），但以上文獻雖然都能提升隨後的運動表現，但皆屬於單次的SSC運動，可能無法推廣至連續性的SSC運動。

划船運動屬於連續性的SSC運動，過去類似的連續SSC類型的運動中，Gil等 (12) 進行2組5次反覆的深跳作為熱身誘發PAP現象，除了可以提升隨後100公尺測驗中的運動表現外，更能加大其跑步的步幅。其他類似的研究中，透過2組5次反覆的深跳作為熱身誘發PAP現象可以顯著提升隨後50公尺的衝刺運動表現，但值得一提的部分是，當熱身運動結束後休息10分鐘、15分鐘過後分別可以提升2.4%（0.16秒）以及2.7%（0.17

秒)的衝刺速度,但當休息時間僅有5分鐘時,即無法產生類似的效果(27)。統合性分析研究中發現,相較於單次SSC的投擲及跳躍,衝刺擁有最高的PAP誘發後增加的效果,而衝刺運動屬於連續性SSC,因此,Maloney、Turner與Fletcher(28)提出運用深跳、負重跳等下肢增強式訓練動作,可以提升隨後的衝刺的運動表現,但仍須考慮到誘發過程中所造成的疲勞與誘發的平衡。

Seitz與Haff(15)的統合性分析研究,可以發現擁有較高肌力訓練經驗者,對於誘發PAP現象後提升運動表現的反應較為明顯,統計的效果量較高,而進行多組數熱身的效果( $ES = 0.69$ )可能也會比單一組數的效果( $ES = 0.24$ )來得較為有效。但同一篇文獻中,若就進行肌力較佳與較差者之比較,其中肌力較佳者進行單組進行熱身誘發PAP( $ES = 0.44$ )的效果,則優於多組數( $ES = 0.22$ )。因此,包含組數、強度等各種變項,在未來研究中可以進行更進一步探討。而綜觀本次研究可以發現,在前500公尺以及全段1,000的平均輸出功率,在PYT處理上都能顯著提升平均功率輸出,可能可以作為未來選手進行1,000公尺室內划船測功儀計時賽時的熱身方式。

本研究透過配戴於右大腿股外側肌上的NIRS觀察由熱身開始,至測驗結束時的肌肉氧飽和濃度相關指標,結果發現,不論是IMT、PYT或CON之熱身處理後,皆不會影響組織氧合指標及去氧血紅素濃度。去氧血紅素濃度(HHb)可以視為肌肉中的攝氧情況,在運動的過程中會反應在HHb的增加上,而組織氧合指標TSI則針對總血紅素的數值進行標準化,更能反應出運動中的實際情況(29, 30)。過去有關熱身的研究指出,透過觀察作用肌群的肌肉氧飽和濃度,發現熱身運動可以提升作用肌群的血流量、提高氧氣的使用效率與傳遞(11, 14, 15, 31)。本研究結果中可以發現,處理完成的時間點,無論是在進行IMT、PYT及CON處理(對應時間下),對TSI及HHb皆未達組間顯著差異,其中可能的原因為處理的相對強度不夠,與單純進行標準化熱身的CON處理相比,仍然不足以造成肌肉的血流量、氧氣使用量的額外提升,觀察過去針對腿部

攝氧情況的研究中發現,運動開始後至少需要11.6秒才能達到63%的肌肉最大攝氧情況(32),而本研究每項熱身皆僅有5秒或1跳,並且中間都有長達15秒的間休時間,可能是造成肌肉氧合相關指標並未能觀察到效果的主因之一。

而過去連續SSC運動的研究中,主要都以多組數的熱身為主,如潘旗學等(4)的研究中指出,進行4組5 RM的半蹲能夠提升隨後激烈強度下的運動耐受性,並且能夠降低運動過程中的氧不足。另外,Silva等(33)的研究中,進行4組5 RM強度的腿部推蹬阻力運動,誘發PAP後顯著提升20公里腳踏車計時賽的表現(PAP: 26.6分 vs. 控制: 28.1分),而多組數可能造成較佳效果同樣也符合過去統合分析研究的結果(15)。觀察本研究結果發現,進行IMT亦或PYT處理皆可以提升前500公尺的功率輸出以及運動表現,但未能對肌肉氧飽和濃度指標產生效果,其可能並不是透過提升作用肌群的血流量或氧氣供應來提升運動表現,而是透過提升肌凝蛋白調節輕鏈磷酸化,增加橫橋的結合速度藉以提升力量的輸出(2, 14),以及提高運動單位的招募為主因,但仍未有直接證據進行佐證,因此,未來可能可以加入表面肌電圖、肺部攝氧量等其他指標,藉以釐清其他可能影響的原因。

## 5. 結 論

於標準化的划船熱身後加入最大等長或增強式的熱身方式,可以提升1,000公尺計時測驗的前500公尺的功率輸出以及運動表現,而進行增強式的熱身方式可以將提升功率輸出的效果延長至整體運動表現。未來國中層級之划船選手在標準化熱身後可以加上最大等長或增強式的熱身方式,可能可以透過IMT或PYT處理作為熱身,誘發PAP現象,提升其爆發力運動表現,增加其競賽優勢。另外,PYT處理在1,000公尺全段的平均功率輸出顯著高於IMT處理以及CON處理,即便運動表現沒有統計上的差異,但仍可以視為一種可以採用的熱身方式。

經費來源: 自籌。



人體試驗委員會、研究倫理委員會、動物實驗核可聲明及編號：無。

**Acknowledgments：**本研究感謝臺北市立北安國民中學划船隊、新北市立鷺江國民中學划船隊以及新北市立三民高級中學國中部划船隊的選手以及教練們的配合。

**利益衝突聲明：**本研究無任何利益衝突。

## 參考文獻

1. **Bishop D.** Warm up I: Potential mechanisms and the effects of passive warm up on exercise performance. *Sports Med* 33: 439-454, 2003.
2. **楊佳琇、徐煒杰、鄭景峰。** 探討活化後增能作用對運動員上肢爆發力運動表現之影響。 *運動生理暨體能學報* 19: 45-53, 2014。
3. **Sale D.** Postactivation potentiation: Role in performance. *Br. J. Sports Med* 38: 386-387, 2004.
4. **潘旗學、賴銀豐、鄭景峰。** 高強度半蹲動作對隨後下蹲跳運動表現之影響。 *運動教練科學* 54: 31-41, 2019。
5. **楊佳琇、何仁育、賴銀豐、鄭景峰。** 不同等長收縮時間誘發活化後增能作用對仰臥推擲表現之影響。 *運動生理暨體能學報* 23: 23-35, 2016。
6. **Wilson JM, Duncan NM, Marin PJ, Brown LE, Loenneke JP, Wilson SM, Jo E, Lowery RP, and Ugrinowitsch C.** Meta-analysis of postactivation potentiation and power: Effects of conditioning activity, volume, gender, rest periods, and training status. *J Strength Cond Res* 27: 854-859, 2013.
7. **Pajerska K, Zajac T, Mostowik A, Mrzyglod S, and Golas A.** Post activation potentiation (PAP) and its application in the development of speed and explosive strength in female soccer players: A review. *J Hum Sport Exerc* 1: 122-135, 2021.
8. **Boyd DA, Donald N, and Balshaw TG.** Comparison of acute countermovement jump responses after functional isometric and dynamic half squats. *J Strength Cond Res* 28: 3363-3374, 2014.
9. **Harrison PW, James LP, McGuigan MR, Jenkins DG, and Kelly VG.** Resistance priming to enhance neuromuscular performance in sport: evidence, potential mechanisms and directions for future research. *Sports Med* 49: 1499-1514, 2019.
10. **Feros SA, Young WB, Rice AJ, and Talpey SW.** The effect of including a series of isometric conditioning contractions to the rowing warm-up on 1,000-m rowing ergometer time trial performance. *J Strength Cond Res* 26: 3326-3334, 2012.
11. **Lima J, Marin D, Barquilha G, da Silva L, Puggina E, Pithon-Curi T, and Hirabara S.** Acute effects of drop jump potentiation protocol on sprint and countermovement vertical jump performance. *Hum Mov* 4: 324-330, 2011.
12. **Gil MH, Neiva HP, Garrido ND, Aidar FJ, Cirilo-Sousa MS, Marques MC, and Marinho DA.** The effect of ballistic exercise as pre-activation for 100 m sprints. *Int J Environ Res Public Health* 16: 1850, 2019.
13. **Klusiewicz A, Rębiś K, Ozimek M, and Czaplicki A.** The use of muscle near-infrared spectroscopy (NIRS) to assess the aerobic training loads of world-class rowers. *Biol Sport* 38: 713-719, 2021.
14. **Tillin NA, and Bishop D.** Factors modulating post-activation potentiation and its effect on performance of subsequent explosive activities. *Sports Med* 39: 147-166, 2009.
15. **Seitz LB, and Haff GG.** Factors modulating post-activation potentiation of jump, sprint, throw, and upper-body ballistic performances: A systematic review with meta-analysis. *Sports Med* 46: 231-240, 2016.
16. **Bourdin M, Messonnier L, Hager J-P, and Lacour J-R.** Peak power output predicts rowing ergometer performance in elite male rowers. *Int J Sports Med* 25: 368-373, 2004.
17. **Steinacker JM, and Secher NH.** Advances in physiology and biomechanics of rowing. *Int J Sports Med* 14: S1-S2, 1993.
18. **Haff GG, and Triplett NT.** *Essentials of strength training and conditioning 4th edition.* Champaign, ILL: Human Kinetics, 2015.
19. **Witzke KA, and Snow CM.** Effects of polymetric jump training on bone mass in adolescent girls. *Med Sci Sports Exerc* 32: 1051-1057, 2000.
20. **Cohen J.** Statistical power analysis. *Curr Dir Psychol Sci* 1: 98-101, 1992.
21. **McGowan CJ, Pyne DB, Thompson KG, and Rattray B.** Warm-up strategies for sport and exercise: mechanisms and applications. *Sports Med* 45: 1523-1546, 2015.
22. **Park S-B, Park D-S, Kim M, Lee E, Lee D, Jung J, Son SJ, Hong J, and Yang W-H.** High-intensity warm-up increases anaerobic energy contribution during 100-m sprint. *Biol* 10: 198, 2021.
23. **王淑華、曾應龍。** 高爆發力派勒馬翠克。易利，2012。
24. **Hodgson M, Docherty D, and Robbins D.** Post-activation potentiation: Underlying physiology and implications for motor performance. *Sports Med* 35: 585-595, 2005.
25. **Hilfiker R, Hübner K, Lorenz T, and Marti B.** Effects of drop jumps added to the warm-up of elite sport athletes with a high capacity for explosive force development. *J Strength Cond Res* 21: 550-555, 2007.
26. **Tobin DP, and Delahunt E.** The acute effect of a plyometric stimulus on jump performance in professional rugby players. *J Strength Cond Res* 28: 367-372, 2014.
27. **Lima L, Oliveira F, Oliveira T, Assumpcao C, Greco C, Cardozo A, and Denadai B.** Postactivation potentiation biases maximal isometric strength assessment. *Biomed Res Int* 1: 1-7, 2014.

28. **Maloney SJ, Turner AN, and Fletcher IM.** Ballistic exercise as a pre-activation stimulus: A review of the literature and practical applications. *Sports Med* 44: 1347-1359, 2014.
29. **Buchheit M, and Ufland P.** Effect of endurance training on performance and muscle reoxygenation rate during repeated-sprint running. *Eur J Appl Physiol* 111: 293-301, 2011.
30. **林佩吟、徐煒杰、鄭景峰。**以近紅外線光譜儀探討遞增負荷運動對大腦與肌肉氧飽和度之影響。《運動生理暨體能學報》20: 13-21, 2015。
31. **DeLorey DS, Kowalchuk JM, and Paterson DH.** Effects of prior heavy-intensity exercise on pulmonary O<sub>2</sub> uptake and muscle deoxygenation kinetics in young and older adult humans. *J Appl Physiol* 97: 998-1005, 2004.
32. **Jones AM, Fulford J, and Wilkerson DP.** Influence of prior exercise on muscle [phosphorylcreatine] and deoxygenation kinetics during high-intensity exercise in men. *Exp Physiol* 93: 468-478, 2008.
33. **Silva RA, Silva-Júnior FL, Pinheiro FA, Souza PF, Boullosa DA, and Pires FO.** Acute prior heavy strength exercise bouts improve the 20-km cycling time trial performance. *J Strength Cond Res* 28: 2513-2520, 2014.