

附件二：「投稿範例」**標題：低強度跑步運動結合血流限制對肌肉組織氧飽和度與荷爾蒙的影響****摘要**

目的：探討低強度跑步運動結合血流限制對肌肉組織氧飽和度與荷爾蒙的影響。**方法：**20名男性耐力型運動員，依據最大攝氧量與訓練經驗配對分組到：(1) 跑步運動（50%保留心跳率，3分鐘 × 5組，組間休息1分鐘）結合血流限制組（大腿加壓153.8 mmHg；RE-BFR）、(2) 跑步運動無血流限制組 (RE)。**結果：**RE-BFR組的運動中組織氧合指數顯著低於RE組 (79.3% vs. 93.4% TOI, $p < .05$)，心跳率 (160.8 vs. 141.5 bpm, $p < .05$) 與運動自覺量表值 (15.8 vs. 9.5, $p < .05$) 顯著高於RE組。RE-BFR組的運動後血乳酸 (5.3 vs. 1.4 mmol/L, $p < .05$) 顯著高於RE組。此外，RE-BFR組的運動後15分鐘皮質醇濃度顯著高於RE組 ($p < .05$)，但睪固酮濃度則無顯著差異。**結論：**低強度跑步運動結合血流限制，誘發耐力型運動員組織肌肉的低氧反應，促進人體代謝壓力增加，對隨後的同化性荷爾蒙無正面幫助。

關鍵詞：血乳酸、睪固酮、皮質醇、組織氧合指數

Title: Low-Intensity Running Exercise Combined with Blood Flow Restriction on Muscle Tissue Oxygen Saturation and Hormone Responses

Abstract:

Purpose: This study investigated the effects of low-intensity running exercise combined with blood flow restriction (RE-BFR) on muscle tissue oxygen saturation and hormone responses in athletes. **Methods:** Twenty endurance-trained male athletes were pair-matched by $\dot{V}O_2$ max and training history, and randomly assigned to either: (1) running exercise (50% HRR, 3 min \times 5 sets, 1 min rest interval) with BFR (occlusion pressure: 153.8 mmHg) group (RE-BFR), or (2) running exercise (50% HRR) only group (RE). **Results:** RE-BFR group elicited significantly greater decreases in tissue oxygenation index (79.3% vs. 93.4% TOI, $p < .05$), and increases in heart rate (160.8 vs. 141.5 bpm, $p < .05$) as well as RPE (15.8 vs. 9.5, $p < .05$) than RE group during exercise. RE-BFR elicited significant higher in blood lactate (5.3 vs. 1.4 mmol/L, $p < .05$) than RE group after exercise. Moreover, RE-BFR elicited significant increases in cortisol concentration ($p < .05$) at 15 min post-exercise, but not in testosterone concentration. **Conclusion:** low-intensity running exercise combined with blood flow restriction results in increases in thigh muscle hypoxia and metabolic stress. However it did not present any beneficial effects on anabolic hormone response in endurance athletes.

Keywords: blood lactate; testosterone; cortisol; tissue oxygenation index

1. 問題背景

跑步運動 (running exercise, RE) 是一般民眾與運動員常見的運動方式，目的為發展心肺適能、促進體重控制，並降低心血管疾病的罹患風險 (1, 2)。有別於傳統的長時間、持續性有氧運動，近年來短時間、高強度間歇訓練 (high intensity interval training, HIIT) 盛行，其效益不僅是提升心肺功能、增進體脂肪消耗，更可促進無氧運動表現 (3-5)。值得注意的是，高強度運動時引起代謝物的累積，促進肌肉組織的低氧適應，如增加骨骼肌的氫離子緩衝能力與肝醣儲存量等，是無氧運動能力提升的可能機制 (6-8)。然而，相關的研究顯示高強度運動後誘發皮質醇 (cortisol) 的分泌，將抑制睪固酮 (testosterone) 的濃度提升，進而降低運動後蛋白質的合成作用 (9-11)。再者，高強度間歇訓練所採用的 100% 最大攝氧量 ($\dot{V}O_2\max$) 的運動強度或速度，對於一般民眾，甚至是專業運動員而言，仍有一定的運動受傷風險。因此，發展出一套短時間、低強度的有氧運動處方以促進心肺功能的發展、肌肉蛋白的合成作用與肌肉組織的低氧適應，是競技選手與教練們共同關注的焦點。

阻力或有氧運動結合血流限制 (blood flow restriction, BFR) 是利用加壓帶固定於手臂 (三角肌下緣) 或大腿 (腹股溝皺褶區域) 所進行的運動，由日本學者 Sato 所發明，又稱為 KAATSU 訓練 (12, 13)。先前的研究顯示低強度阻力/有氧運動結合血流限制，誘發運動期間耗氧量增加、血乳酸 (blood lactate, BLA) 累積與磷酸肌酸 (phosphocreatine) 下降等代謝反應，有助於輸入神經元 III 與 IV 去敏感化，進而提升神經驅力 (neural drive) 與運動單位的招募，其中低強度運動結合血流限制所誘發的肌電反應 (electromyogram) 與代謝壓力皆與傳統高強度運動相似，並能減少大負荷運動引起的肌肉、骨骼與韌帶等組織傷害的風險，適用於運動選手 (14-17)。此外，低強度阻力運動結合血流限制，可顯著降低短跑選手的小腿肌肉組織氧飽和度與 pH 值，有助於運動後同化性荷爾蒙的提升，如生長激素與睪固酮等，進而促進肌肉蛋白質的合成作用 (18-20)。然而，過去血流限制相關的研究多數探討阻力運動與爆發力型運動員為主，在有氧運動結合血流限制方面的實驗設計相對不足。再者，短時間、低強度有氧運動結合血流限制，如能提升耐力型選手的心肺反應與同化性荷爾蒙的分泌，不僅符合運動特殊性原則，有助於有氧能力的發展，更能避免運動後肌肉蛋白質的異化作用，導致肌橫斷面積與肌力的減退，達到事半功倍的效果。

有鑒於此，本研究的前導實驗顯示跑步運動結合血流限制可顯著誘發短跑選手的生理反應與代謝物累積，不應影響隨後的爆發力與肌耐力運動表現 (21)。然而，對於不同肌纖維類型的選手而言，有氧運動結合血流限制能否誘發耐力型運動員的肌肉組織低氧，並促進隨後的代謝壓力與同化性荷爾蒙反應，至今仍不清楚。因此，本研究目的為，探討低強度跑步運動結合血流限制對耐力型運動員的肌肉組織氧飽和度、睪固酮與皮質醇的影響，期提供運動教練與選手們多元化訓練的參考依據。

2. 方法

2.1 研究對象

本研究招募 20 名大專男性耐力型運動員，基本資料依序為年齡 21.6 ± 2.2 歲，身高 177.6 ± 6.8 公分，體重 69.0 ± 6.1 公斤，心肺耐力訓練 7.0 ± 2.0 年，最大攝氧量 62.3 ± 5.1 ml/kg/min，收縮血壓 121.6 ± 5.0 mmHg。受試者納入條件：(1) 年滿 18 歲男性運動員，且具有 3 年以上心肺耐力訓練經驗（中/長跑選手、鐵人三項選手、馬拉松選手）；(2) 最大攝氧量 ≥ 55 ml/kg/min；(3) 無罹患高血壓（安靜血壓 $>130/80$ mmHg）、心血管疾病及糖尿病史。本研究經國立臺灣師範大學研究倫理委員會審核通過。所有受試者皆於全國大專運動會結束後 1 週到季後期間，參與本實驗。在正式實驗前填寫受試者同意書，近 6 個月內無下肢運動傷害紀錄，並於實驗期間維持正常、規律飲食習慣。

2.2 實驗設計

本研究欲探討低強度跑步運動結合血流限制對耐力型運動員的肌肉組織氧飽和度、睪固酮與皮質醇的影響。24 名自願參與的受試者，依序填寫「受試者知情同意書」與「健康狀態調查表」，接著紀錄身高、體重、安靜血壓與最大攝氧量。休息 1 週後，符合納入條件的 20 名受試者，依據最大攝氧量與訓練經驗配對分組至：(1) 跑步運動結合血流限制組 (RE-BFR; n=10)；(2) 跑步運動無血流限制組 (RE; n=10)。正式實驗期間所有受試者皆在運動前與運動中測量心跳率、運動自覺量表值 (rating of perceived exertion, RPE) 與肌肉組織氧飽和度。在跑步運動前、運動後評估血乳酸。在運動前、運動後 15 分鐘與 24 小時紀錄睪固酮與皮質醇濃度，如圖一。本研究每次實驗時間皆介於早上 8:00 至中午 12:00，並建議受試者於正式實驗前 48 小時應避免從事劇烈運動。

2.3 實驗步驟

2.3.1 跑步運動

所有受試者皆須進行 15 分鐘的跑步運動，跑步運動強度為 50% 保留心跳率 (heart rate reserve, HRR)，跑步運動方式為 3 分鐘間歇跑步、組間休息 1 分鐘、共 5 組 (7, 21)，每次跑步運動皆於室內跑步機 (COS10198, h/p/cosmos, Germany) 上完成。本研究保留心跳率 (HRR) 計算方式，採用最大攝氧量測驗期間，其最大心跳率 (maximal heart rate, HRmax) 實測值-安靜心跳率。

2.3.2 血流限制

血流限制使用血壓計 (CK-113, Spirit, Taiwan) 搭配血壓帶 (67.5 cm × 14.2 cm) 即時監控加壓程度，加壓部位為受試者雙腳大腿上緣（腹股溝皺褶區域），加壓程度為手臂收縮血壓 (systolic blood pressure, SBP) 安靜值乘以 1.3 倍，此加壓程度可顯著降低 50% 股動脈血流量，並減少發炎指標提升的風險 (22, 23)。跑步運動結合血流限制組，於跑步運動期間全程進行大腿加壓，加壓程度為 153.8 ± 6.6 mmHg，總加壓時間為 19.5 ± 0.2 分鐘。每次血流限制實驗皆為同一研究人員執行，施測者內信度 (intra-class correlation coefficient, ICC) 為 .86。

2.3.3 人體測量學

本研究於正式實驗前 1 週，以全自動身高體重計 (Jenix DS-102, Dong Sang Jenix Co., Ltd., South Korea) 測量所有受試者的身高與體重。並以歐姆龍全自動血壓計 (HEM-7000-C1, OMRON healthcare Co., Ltd., Japan) 測量受試者手臂血壓，測量前先安靜休息 15 分鐘以上，並記錄 2 次測量的平均值。

2.3.4 最大攝氧量

本研究以 Vmax 能量代謝系統 (Vmax29, SensorMedics Corporation, USA) 搭配原地跑步機 (COS10198, h/p/cosmos, Germany) 與 Bruce protocol，為所有受試者進行力竭式運動測驗，以評估最大攝氧量與最大心跳率實測值。最大攝氧量判定標準如下，至少須符合 2 項標準，才可視為已達到最大攝氧量 (7)：(1) 運動強度增加，攝氧量或心跳率未增加；(2) RPE 大於 17；(3) 心跳率大於 90% 最大心跳率預測值，計算公式為： $220 - \text{年齡}$ ；(4) 呼吸交換率大於 1.1。

2.3.5 肌肉組織氧飽和度

本研究以近紅外線光譜儀 (near-infrared spectroscopy, NIRS; PortaLite, Artinis Medical Systems, The Netherlands)，測量受試者右腳股外側肌—肌肉組織氧飽和度，並以組織氧合指數 (tissue oxygenation index, TOI) 表示。TOI 計算公式為：氧合血紅素 (oxyhemoglobin) ÷ 總血紅素 (total hemoglobin) × 100%。實驗期間 NIRS 儀器擷取頻率設為 50Hz，隨後以 10Hz 輸出數據，並以 Oxysoft 軟體 (Artinis Medical Systems) 進行數據分析 (24)。所有受試者皆於跑步運動前測量 10 分鐘安靜值，並於跑步運動期間全程紀錄肌肉組織氧飽和度。本研究以安靜值 TOI 作為基準 (100% TOI)，將跑步運動期間的 TOI 數據除以安靜值，進行標準化的數據呈現 (25)。

2.3.6 荷爾蒙

本研究以化學發光免疫分析法 (chemiluminescence immunoassay) 評估受試者睪固酮濃度;以化學發光微粒子免疫分析法 (chemiluminescence microparticle immunoassay) 評估皮質醇濃度。每次的採血時間為早上 8:00~10:00 完成，並由合格護理師採集受試者非慣用手肘前靜脈血，每次採血約 6ml，血液採集前 24 小時不可進行劇烈運動、攝取酒精與咖啡，前一晚開始 8 小時以上的禁食。血液採集時間點為跑步運動前、運動後 15 分鐘與 24 小時。本研究以安靜值睪固酮與皮質醇分別作為基準 (100%)，將運動後的荷爾蒙數據除以安靜值，進行標準化的數據呈現。

2.3.7 血乳酸

本研究以血乳酸分析儀 (Lactate Pro™, KDK Corporation, Japan) 與血乳酸試紙 (Lactate Pro™ Test Strip) 分析受試者指尖全血的血乳酸濃度。血液採集時間點為跑步運動前與運動後 3 分鐘。

2.3.8 心跳率與運動自覺量表

本研究以心跳錶 (Polar RS800CX, Polar Electro Oy, Finland) 與運動自覺量表 (RPE; 6~20 point scale)，全程紀錄受試者在最大攝氧量測驗與跑步運動期間的心跳率與運動自覺努力程度。

2.4 統計分析

本研究所得各項資料，以 SPSS 17.0 統計套裝軟體個別進行以下的統計分析，所得的數據皆以平均數 (M) 及標準差 (SD) 作描述性統計。以獨立樣本 *t* 檢定分析受試者基本資料與跑步運動強度。以混合設計二因子變異數分析，考驗肌肉組織氧飽和度、血乳酸、睪固酮與皮質醇的交互作用。當交互作用達統計顯著水準時，則以 Bonferroni 進行事後比較分析。本研究中的顯著水準，定為 $\alpha = .05$ 。

3. 結果

3.1 受試者基本資料

RE-BFR 組與 RE 組受試者皆為耐力型運動員，在人體測量學、訓練經驗與最大攝氧量等指標，兩組之間皆無顯著差異 ($p > .05$)，如表一。

3.2 跑步運動強度

RE-BFR 組與 RE 組的跑步運動強度皆使用 50%HRR 的相對速度，因此跑步速度兩組之間無顯著差異 ($p > .05$)。然而，RE-BFR 組在跑步運動期間進行大腿血流限制，因此 RE-BFR 的心跳率與 RPE 皆顯著高於 RE 組 ($p < .05$)，如表一。

3.3 肌肉組織氧飽和度

跑步運動期間 TOI 值交互作用達顯著 ($p < .05$)，進行單純主要效果分析，在時間因子方面，RE-BFR 組的跑步運動期間 TOI 值，皆顯著低於運動前安靜值 ($p < .05$)。此外，在組別因子方面，RE-BFR 組的 TOI 值，皆顯著低於 RE 組（跑步運動期間， $F = 95.98 - 19.92, p < .05$ ；組間休息期間， $F = 8.63 - 6.22, p < .05$ ），如圖二。

3.4 血乳酸

跑步運動後血乳酸交互作用達顯著 ($p < .05$)，進行單純主要效果分析，在時間因子方面，RE-BFR 組與 RE 組的運動後血乳酸濃度皆顯著高於運動前 ($p < .05$)。此外，在組別因子方面，運動後時間點，RE-BFR 組顯著高於 RE 組 ($F = 46.61, p < .05$)，如圖三。

3.5 睪固酮

跑步運動後睪固酮交互作用未達顯著 ($p > .05$)，進行主要效果分析，時間因子無顯著差異 ($p > .05$)，組別因子無顯著差異 ($p > .05$)，如圖四。

3.6 皮質醇

跑步運動後皮質醇交互作用達顯著 ($p < .05$)，進行單純主要效果分析，在時間因子方面無顯著差異 ($p > .05$)。此外，在組別因子方面，RE-BFR 組的運動後 15 分鐘皮質醇濃度顯著高於 RE 組 ($F = 5.24, p < .05$)，如圖五。

4. 討論

本研究結果顯示低強度跑步運動結合血流限制 (RE-BFR) 可顯著降低耐力型運動員的肌肉組織氧飽和度，促進人體生理反應與代謝壓力，如運動期間心跳率、運動自覺量表值提升，以及運動後血乳酸累積等。此外，RE-BFR 導致組織氧合指數下降，是運動後血乳酸與荷爾蒙濃度提升的可能因素，其中皮質醇的濃度於運動後 24 小時可獲的改善。

在跑步運動強度方面，RE-BFR 與 RE 組皆使用 50% 保留心跳率的相對跑步速度進行實驗，因此兩組的跑步速度 (9.8 vs. 9.7 km/hr) 無顯著差異，然而 RE-BFR 組的心跳率 (160.8 vs. 141.5 bpm) 與 RPE (15.8 vs. 9.5) 等生理反應顯著高於 RE 組。相關的研究顯示走路或阻力運動結合血流限制，促進人體生理反應的可能機制為，血流限制導致靜脈血液回流下降，

誘發心臟前負荷與心搏量減少，因此人體藉由心跳率與血壓提升等代償機制，以維持正常的人體機能與代謝所需 (15, 23, 26)。此外，接近 13,000 名受試者的統計資料顯示低強度有氧/阻力運動結合血流限制，雖然能減少傳統高負荷運動導致的肌肉與關節損傷風險，但常見的副作用為，加壓部位的皮下出血 13%、局部麻木感 1.3%、大腦貧血 0.3%、靜脈血栓 0.06% 與橫紋肌溶解症 0.008% 等 (12, 27)。因此，在血流限制操作過程中應即時監控與記錄每位受試者的生理反應，如有任何不適的症狀產生，應立即停止運動，並給予妥善的照顧。

值得一提的是，本研究是目前第一篇研究探討低強度跑步運動結合血流限制對耐力型選手肌肉組織氧飽和度的影響。先前的血流限制相關研究，主要專注在阻力運動實驗設計，例如 Takada 等 (2012) 學者的研究顯示低強度阻力運動結合血流限制，可顯著降低短跑與長跑選手的小腿組織氧合指數，誘發代謝壓力提升，如骨骼肌內 pH 值與磷酸肌酸濃度下降，並促進快縮肌纖維的招募。本研究結果顯示短時間、低強度的 RE-BFR 組引起大腿組織氧合指數下降與代謝物累積。由此推測，RE-BFR 組誘發組織氧合指數下降，引起跑步運動期間無氧醣酵解供能，是運動後血乳酸顯著提升的可能因素。

在荷爾蒙方面，過去的研究顯示低強度有氧或阻力運動（20—30%最大攝氧量/一次最大反覆）結合血流限制後，皆無法顯著提升睪固酮濃度，但能誘發血乳酸與皮質醇濃度提升，並於運動後 2 小時內恢復至運動前安靜值 (15, 19, 28)。本研究發現 RE-BFR 與 RE 組在運動後 15 分鐘，睪固酮濃度皆有上升的趨勢，但未達統計上的顯著差異，並在運動後 24 小時恢復至運動前安靜值。此外，RE-BFR 組在運動後 15 分鐘，皮質醇濃度顯著高於 RE 組，並於運動後 24 小時顯著下降。然而近年的研究顯示運動選手從事中等強度阻力運動（70%一次最大反覆）結合血流限制，可顯著提升運動後唾液中的睪固酮與皮質醇濃度，作者並指出唾液中的荷爾蒙對劇烈運動的反應程度比血液中的荷爾蒙更加活躍 (29, 30)。因此，運動模式、強度與樣本採集方式的不同，是本研究睪固酮無顯著提升的可能因素。此外，研究顯示運動後皮質醇濃度上升或下降，與血乳酸等代謝物的累積程度有關 (19, 31)。相關的研究顯示人體循環系統的皮質醇濃度增加，會直接作用於睪丸細胞，進而抑制睪固酮的分泌 (32)。由此推測，RE-BFR 組誘發人體代謝壓力增加，如組織肌肉的低氧與血乳酸累積等，是運動後 15 分鐘皮質醇濃度增加，並抑制睪固酮濃度的可能原因。

另一方面，Park 等 (2010) 學者的研究顯示連續兩週走路運動（40%最大攝氧量）結合血流限制可顯著提升籃球選手的心肺功能、無氧運動能力，但無法促進肌力表現 (7)。相關的研究指出連續四週跑步運動（80%最大跑步速度）結合血流限制，可顯著提升一般民眾的最大攝氧量與跑步經濟性，其作者推測跑步經濟性的改善與下肢肌力增加有關 (33)。由此觀之，本研究受試者為耐力型運動員（最大攝氧量 62 ml/kg/min），僅使用 50%保留心跳率的有氧運動強度結合血流限制，因此運動強度不足是運動後同化性賀爾蒙無顯著提升的可能因素。建議未來的研究可進一步探討不同有氧運動強度、持續時間、組數與總量，發展出最佳的有氧運動處方結合血流限制，用於提升心肺耐力型運動員的同化性賀爾蒙的分泌與組織肌肉的低氧適應，進而提升其有氧與無氧運動能力，並促進肌力表現。

5. 結論

短時間、低強度的跑步運動結合血流限制，可顯著提升耐力型運動員的心跳率與運動自覺量表值，降低下肢肌群的肌肉組織氧飽和度，促進運動後血乳酸與皮質醇濃度的累積，對隨後的睪固酮分泌無正面幫助。至於長期使用低強度跑步運動結合血流限制，對運動選手心肺與肌肉適能的適應結果，仍值得更進一步探討。

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：本研究經國立臺灣師範大學研究倫理委員會審核通過。

利益衝突聲明：本研究無任何利益衝突。

參考文獻

1. **Hottenrott K, Ludyga S, and Schulze S.** Effects of high intensity training and continuous endurance training on aerobic capacity and body composition in recreationally active runners. *J Sports Sci Med* 11: 483-488, 2012.
2. **Milanović Z, Sporiš G, and Weston M.** Effectiveness of high-intensity interval training (HIT) and continuous endurance training for VO₂max improvements: a systematic review and meta-analysis of controlled trials. *Sports Med* 45: 1469-1481, 2015.
3. **Helgerud J, Høydal K, Wang E, Karlsen T, Berg P, Bjerkaas M, Simonsen T, Helgesen C, Hjorth N, and Bach R.** Aerobic high-intensity intervals improve V_O2max more than moderate training. *Med Sci Sports Exerc* 39: 665-671, 2007.
4. **Trapp EG, Chisholm DJ, Freund J, and Boutcher SH.** The effects of high-intensity intermittent exercise training on fat loss and fasting insulin levels of young women. *Int J Obes (Lond)* 32: 684-691, 2008.
5. **Whyte LJ, Gill JM, and Cathcart AJ.** Effect of 2 weeks of sprint interval training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men. *Metabolism* 59: 1421-1428, 2010.
6. **Laursen PB, Shing CM, Peake JM, Coombes JS, and Jenkins DG.** Influence of high-intensity interval training on adaptations in well-trained cyclists. *J Strength Cond Res* 19: 527-533, 2005.
7. **Park S, Kim JK, Choi HM, Kim HG, Beekley MD, and Nho H.** Increase in maximal oxygen uptake following 2-week walk training with blood flow occlusion in athletes. *Eur J Appl Physiol* 109: 591-600, 2010.
8. **Sarkar S, Chatterjee S, and Kr Dey S.** Effect of 8 weeks high intensity interval training on maximum oxygen uptake capacity and cardio-respiratory parameter at anaerobic threshold level of Indian male field hockey. *European Journal of Physical Education and Sport Science*, 5, 106-116. 2019.
9. **Engel F, Härtel S, Strahler J, Wagner MO, Bös K, and Sperlich B.** Hormonal, metabolic, and cardiorespiratory responses of young and adult athletes to a single session of high-intensity cycle exercise. *Pediatr Exerc Sci* 26: 485-494, 2014.
10. **Tanner AV, Nielsen BV, and Allgrove J.** Salivary and plasma cortisol and testosterone responses to interval and tempo runs and a bodyweight-only circuit session in endurance-trained men. *J Sports Sci* 32: 680-689, 2014.
11. **Doerr P, and Pirke KM.** Cortisol-Induced Suppression of Plasma Testosterone in Normal Adult Males. *J Clin Endocrinol Metab* 43: 622-629, 1976.
12. **Nakajima T, Kurano M, Iida H, Takano H, Oonuma H, Morita T, Meguro K, Sato Y, and Nagata T.** Use and safety of KAATSU training: results of a national survey. *International Journal of KAATSU Training Research* 2: 5-13, 2006.
13. **Sato Y.** The history and future of KAATSU training. *International Journal of KAATSU Training Research* 1: 1-5, 2005.
14. **Suga T, Okita K, Morita N, Yokota T, Hirabayashi K, Horiuchi M, Takada S, Omokawa M, Kinugawa S, and Tsutsui H.** Dose effect on intramuscular metabolic stress during low-intensity resistance exercise with blood flow restriction. *J Appl Physiol* 108: 1563-1567, 2010.

15. **Abe T, Kearns CF, and Sato Y.** Muscle size and strength are increased following walk training with restricted venous blood flow from the leg muscle, Kaatsu-walk training. *J Appl Physiol* 100: 1460-1466, 2006.
16. **Takarada Y, Sato Y, and Ishii N.** Effects of resistance exercise combined with vascular occlusion on muscle function in athletes. *Eur J Appl Physiol* 86: 308-314, 2002.
17. **Takarada Y, Takazawa H, Sato Y, Takebayashi S, Tanaka Y, and Ishii N.** Effects of resistance exercise combined with moderate vascular occlusion on muscular function in humans. *J Appl Physiol* 88: 2097-2106, 2000.
18. **Kim E, Gregg LD, Kim L, Sherk VD, Bembem MG, and Bembem DA.** Hormone responses to an acute bout of low intensity blood flow restricted resistance exercise in college-aged females. *Journal of sports science & medicine* 13: 91-96, 2014.
19. **Fujita S, Abe T, Drummond MJ, Cadenas JG, Dreyer HC, Sato Y, Volpi E, and Rasmussen BB.** Blood flow restriction during low-intensity resistance exercise increases S6K1 phosphorylation and muscle protein synthesis. *J Appl Physiol* 103: 903-910, 2007.
20. **Takada S, Okita K, Suga T, Omokawa M, Morita N, Horiuchi M, Kadoguchi T, Takahashi M, Hirabayashi K, Yokota T, Kinugawa S, and Tsutsui H.** Blood flow restriction exercise in sprinters and endurance runners. *Med Sci Sports Exerc* 44: 413-419, 2012.
21. **陳昀宗、徐孟達、謝耀毅、林正常.** 跑步熱身運動結合血流限制對生理反應與運動表現的影響。運動生理暨體能學報。 *運動生理暨體能學報 (Journal of Exercise Physiology and Fitness)* 23: 1-11, 2016.
22. **Clark B, Manini T, Hoffman R, Williams P, Guiler M, Knutson M, McGlynn M, and Kushnick M.** Relative safety of 4 weeks of blood flow - restricted resistance exercise in young, healthy adults. *Scand J Med Sci Sports* 21: 653-662, 2011.
23. **Takano H, Morita T, Iida H, Asada K, Kato M, Uno K, Hirose K, Matsumoto A, Takenaka K, Hirata Y, Eto F, Nagai R, Sato Y, and Nakajima T.** Hemodynamic and hormonal responses to a short-term low-intensity resistance exercise with the reduction of muscle blood flow. *Eur J Appl Physiol* 95: 65-73, 2005.
24. **Willis SJ, Alvarez L, Millet GP, and Borrani F.** Changes in muscle and cerebral deoxygenation and perfusion during repeated sprints in hypoxia to exhaustion. *Front Physiol* 8: 846, 2017.
25. **Rennerfelt K, Lindorsson S, Brisby H, Baranto A, and Zhang Q.** Effects of Exercise Compression Stockings on Anterior Muscle Compartment Pressure and Oxygenation During Running: A Randomized Crossover Trial Conducted in Healthy Recreational Runners. *Sports Med* 1-9, 2019.
26. **Hollander DB, Reeves GV, Clavier JD, Francois MR, Thomas C, and Kraemer RR.** Partial occlusion during resistance exercise alters effort sense and pain. *J Strength Cond Res* 24: 235-243, 2010.
27. **Patterson SD, Hughes L, Warmington S, Burr J, Scott BR, Owens J, Abe T, Nielsen JL, Libardi CA, Laurentino G, Neto GR, Brandner C, Martin-Hernandez J, and Loenneke J.** Blood Flow Restriction Exercise: Considerations of Methodology, Application, and Safety. *Front Physiol* 10: 2019.
28. **Reeves GV, Kraemer RR, Hollander DB, Clavier J, Thomas C, Francois M, and Castracane VD.** Comparison of hormone responses following light resistance exercise with partial vascular occlusion and moderately difficult resistance exercise without occlusion. *J Appl Physiol* 101: 1616-1622, 2006.
29. **Cook CJ, Kilduff LP, and Beaven CM.** Improving strength and power in trained athletes with 3 weeks of occlusion training. *Int J Sports Physiol Perform* 9: 166-172, 2014.
30. **Crewther B, Cronin J, Keogh J, and Cook C.** The Salivary Testosterone and Cortisol Response to Three Loading Schemes. *J Strength Cond Res* 22: 250-255, 2008.
31. **Ozaki H, Loenneke JP, and Abe T.** Blood flow - restricted walking in older women: does the acute hormonal response associate with muscle hypertrophy? *Clin Physiol Funct Imaging* 37: 379-383, 2017.
32. **Brownlee KK, Moore AW, and Hackney AC.** Relationship between circulating cortisol and testosterone: influence of physical exercise. *J Sports Sci Med* 4: 76, 2005.
33. **Paton CD, Addis SM, and Taylor L-A.** The effects of muscle blood flow restriction during running training on measures of aerobic capacity and run time to exhaustion. *Eur J Appl Physiol* 117: 2579-2585, 2017.

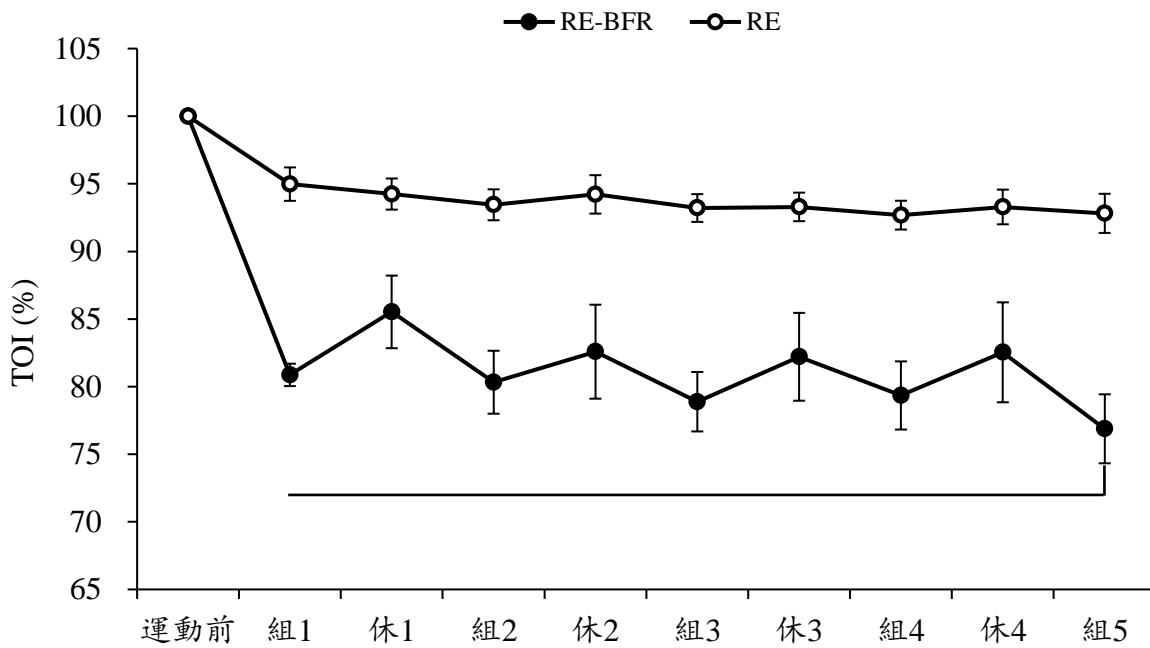


圖 1. 不同跑步運動對組織氧合指數的影響。(說明：組 1 = 第 1 組-跑步運動；休 1 = 第 1 組-組間休息；* $p < .05$ 表示兩組之間有顯著差異；# $p < .05$ 表示與運動前比較有顯著差異。)

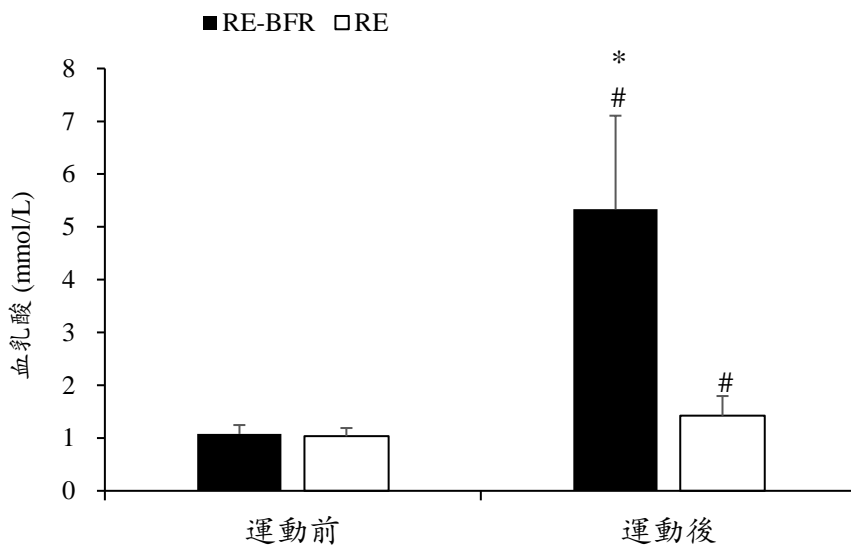


圖 2. 不同跑步運動對血乳酸濃度的影響。(說明：* $p < .05$ 表示兩組之間有顯著差異；# $p < .05$ 表示與運動前比較有顯著差異。)

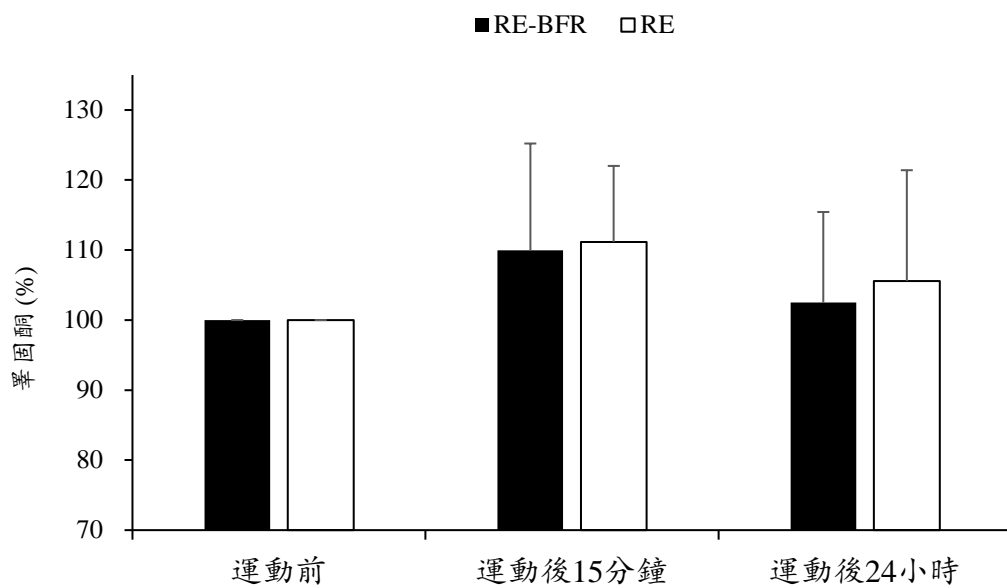


圖 3. 不同跑步運動對睪固酮濃度的影響

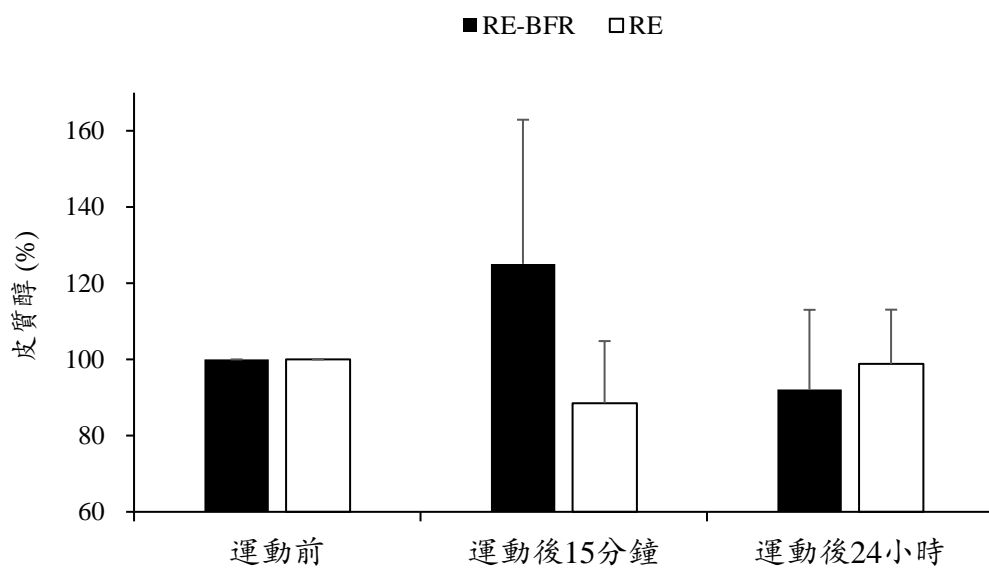


圖 4. 不同跑步運動對皮質醇濃度的影響。(註：* $p < .05$ 表示兩組之間有顯著差異。)

表 1. 受試者基本資料與跑步運動強度

項目	RE-BFR	RE	<i>p</i> 值
年齡 (歲)	21.50 ± 2.20	21.63 ± 2.13	.90
身高 (公分)	175.03 ± 6.77	180.10 ± 6.72	.11
體重 (公斤)	66.31 ± 4.42	71.65 ± 7.87	.08
心肺耐力訓練 (年)	7.13 ± 2.36	6.88 ± 1.64	.78
最大攝氧量 (ml/kg/min)	64.25 ± 4.71	60.32 ± 5.41	.12
安靜收縮血壓 (mmHg)	118.45 ± 5.05	124.75 ± 4.89	.14
大腿加壓程度 (mmHg)	153.75 ± 6.56	—	—
最大心跳率 (bpm)	197.20 ± 6.78	204.75 ± 7.80	.06
安靜心跳率 (bpm)	66.10 ± 6.81	66.50 ± 5.86	.86
跑步速度 (km/hr)	9.81 ± 0.71	9.56 ± 0.82	.47
心跳率 (bpm)	160.75 ± 12.42*	141.50 ± 4.69	.01
RPE	15.75 ± 2.25*	9.50 ± 1.85	.01

註: RE-BFR (n=10) ; RE (n=10) ; bpm = beats per minute (次/分鐘) ; **p* < .05 表示兩組之間有顯著差異。