

國立體育大學
競技學院
競技與教練科學研究所碩士論文

單次急性高強度間歇訓練應用超低溫與高氧對
無氧閾值耐力與心律變異度之效果

**The Effect on Anaerobic Threshold and Heart
Rate Variability of Acute One-Day High-
Intensity-Interval Training with Cooling and
Hyperoxia**

指導教授：張嘉澤 博士
研 究 生：王昱中 撰

中 華 民 國 107 年 7 月



國立體育大學
National Taiwan Sport University

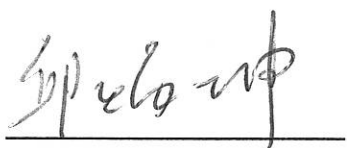
本論文：單次急性高強度間歇訓練應用超低溫與高氧對無氧閾
值耐力與心律變異度之效果

係國立體育大學競技與教練科學研究所研究生 王昱中 所提，
作為審查授予體育學碩士學位之一部分。

本論文承蒙下列考試委員審查通過

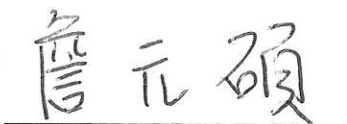
中華民國 107 年 5 月

論文考試委員



邱炳坤 博士

國立體育大學教授



詹元碩 博士

國立台北教育大學教授



張嘉澤 博士

國立體育大學助理教授

(本論文指導教授)

單次急性高強度間歇訓練應用超低溫與高氧對無氧 閾值耐力與心律變異度之效果

摘要

本研究目的旨在探討單次高強度運動恢復期應用高氧與超低溫對快速提升閾值耐力與恢復之效果。方法：受試者為 8 名健康成人 (男性 25.5 ± 3.3 yr、 173 ± 7.5 cm、 75 ± 12.1 kg)，測試內容為跑步機 2-4 mmol/l 閾值耐力測試與跑步機高強度間歇訓練 (HIIT) 兩項，恢復應用為超低溫 (-120 至 -140°C 低溫箱) 與高氧 (氧氣濃度 80%)，實驗時程為兩週，血液採集血氨與乳酸，數據以相依樣本 t 考驗分析各參數前後測之數據，本研究統計顯著水準訂為 $\alpha = .05$ 。結果：後測有氧閾值 (2 mmol/l) 速度在超低溫應用 $+0.4$ m/s ($p > .05$)，高氧應用則 $+0.1$ m/s ($p > .05$)；無氧閾值 (4 mmol/l) 速度在超低溫應用未呈現改變，高氧應用 $+0.1$ m/s ($p > .05$)。後測乳酸在超低溫與高氧應用呈現類似現象，低速 (2.5 m/s, 3.0 m/s, 3.5 m/s) 呈現下降 ($p > .05$)，高速 (4.0 m/s, 4.5 m/s, 5.0 m/s) 則呈現上升 ($p > .05$)。HIIT 負荷後，高氧比超低溫呈現較低的恢復期平均乳酸，恢復期第 3 分鐘 (E3) 出現最大差距 0.76 mmol/l ($p > .05$)；心跳在高氧應用呈現較低，最大差距為 20 min^{-1} (E3)，E3 和 E6 呈現顯著差距 ($p < .05$)；超低溫應用之 NH_3 排除為 $-0.5 \mu\text{mol/l}$ ，高氧應用則為 $-26 \mu\text{mol/l}$ ($p < .05$)。結論：HIIT 恢復期應用超低溫提升有氧閾值 (2 mmol/l) 速度，但無氧閾值未變化，高氧應用對有氧-無氧閾值皆呈現改善現象，但兩種應用皆未達顯著。HIIT 恢復期初期 (E3) 呈現較大的乳酸和心跳下降，高氧應用對恢復期 NH_3 排除則顯著高於超低溫方式 ($p < .05$)。因此，建議單次高強度負荷應用超低溫，能量路徑的變化較大，若針對短時間生理參數恢復考量，建議使用高氧，可加快排除血液 NH_3 。

關鍵詞：超低溫、高氧、訓練恢復、高強度間歇訓練

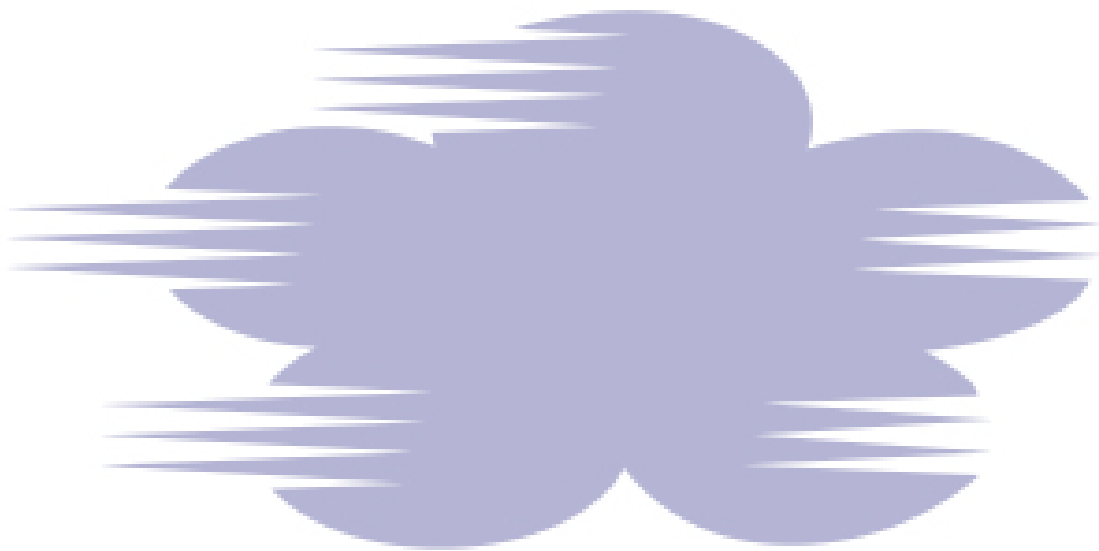
The Effect on Anaerobic Threshold and Heart Rate Variability of Acute One-Day High-Intensity-Interval Training with Cooling and Hyperoxia

Abstract

Purpose: The aim of the research is to investigate the effects of acute one-day high-intensity-interval training (HIIT) with cooling and hyperoxia application recovery applications on Anaerobic Threshold and Heart rate Variability. **Methods:** Eight healthy male participants (25.5 ± 3.3 yr, 173 ± 7.5 cm, 75 ± 12.1 kg) completed two HIIT sessions with cooling ($-120 \sim 140^\circ\text{C}$ Cryochamber) or hyperoxia (80% O_2) application in different days. Before and after the HIIT, incremental running test was applied to evaluate the endurance performance of subjects. Capillary blood lactate (La), heart rate (HR), blood ammonia (NH_3), were measured during HIIT training and incremental running test. Paired-t test was used to analyze parameters. The statistical significance was set as $\alpha = .05$. **Results:** The aerobic threshold speed became higher after both recovery applications (cooling: $+0.4$ m/s, hyperoxia: $+0.1$ m/s, $p > .05$). Anaerobic threshold only increased after hyperoxia application ($p > .05$). In post test, blood lactate concentration showed lower at low speed (2.5 m/s, 3.0 m/s, 3.5 m/s, $p > .05$) and high at high speed (4.0 m/s, 4.5 m/s, 5.0 m/s, $p > .05$). After HIIT, blood lactate concentration was lower with hyperoxia application during the recovery period ($p > .05$). Heart rate showed significantly lower with hyperoxia than with cooling application at 3rd and 6th minutes during the recovery period ($p < .05$). Blood ammonia clearance was -0.5 $\mu\text{mol/l}$ with cooling and -26 $\mu\text{mol/l}$ with hyperoxia ($p < .05$). **Conclusion:** One-day HIIT with cooling and hyperoxia showed no

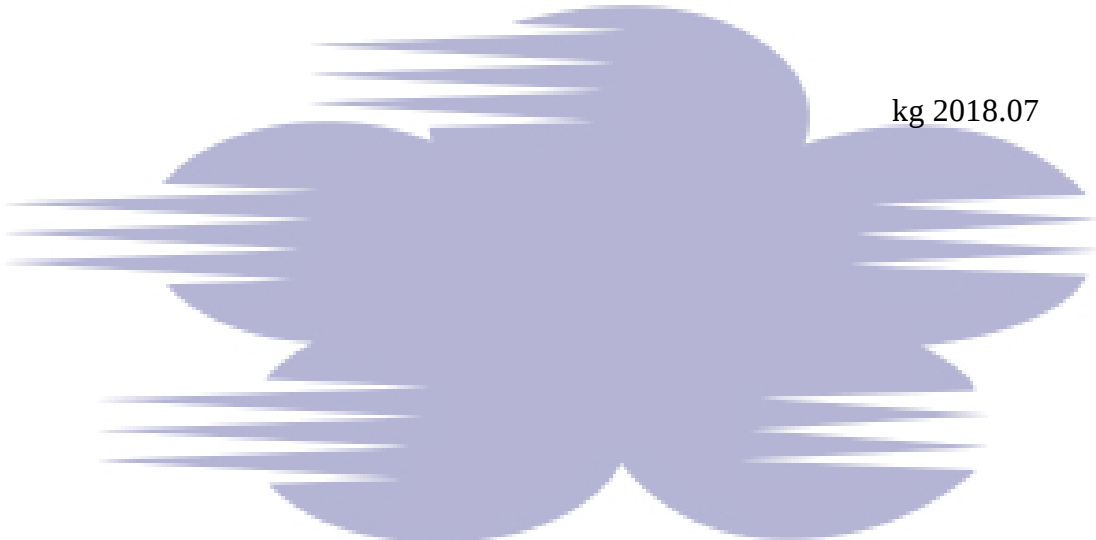
significant improvement in both aerobic and anerobic threshold. After HIIT, hyperoxia showed better recovery in heart rate ($p < .05$) and blood ammonia ($p < .05$).

Key words: Cooling, Hyperoxia, Recovery, High-Intensity-Interval-Training



致謝

歷史書的一句話帶過事件，但事件可能持續數年，對故事裡的人更不可能用一句話濃縮，彷彿是時間的相對論般。這本不成熟的論文代表著自己一個階段結束，這階段裡有新體驗，有重新認識世界，有重新解構和重構認知，彎彎曲曲走了過來。太多人對我付出與協助，豈中都記在心裡，太多人要感謝，只能謝天了。這些感謝與不成熟的論文，都是滋養內在的動力，豈中會時時提醒自己要努力變得更好，謝謝大家。



kg 2018.07

目 錄

中文摘要-----	I
英文摘要-----	II
致謝-----	III
目錄-----	V
表目錄-----	VII
圖目錄-----	VIII
第壹章 緒論-----	1
第一節 研究背景與動機-----	1
第二節 研究目的-----	3
第三節 操作性解釋-----	4
第貳章 文獻探討-----	5
第一節 肌肉疲勞指標-----	5
第二節 乳酸應用-有氧無氧閾值-----	8
第三節 心率變異度-----	10
第四節 高強度間歇訓練-----	12
第五節 訓練恢復應用-----	14
第六節 文獻總結-----	18
第參章 研究方法-----	19
第一節 研究對象-----	19
第二節 實驗時間與地點-----	19
第三節 實驗儀器與設備-----	20
第四節 實驗設計-----	22
第五節 研究流程-----	24

第六節 資料蒐集與統計分析-----	25
第肆章 結果分析與討論-----	26
第一節 基礎耐力前後測之乳酸曲線分析-----	26
第二節 基礎耐力前後測之心跳曲線分析-----	29
第三節 HIIT 應用超低溫或高氧之恢復期乳酸與心跳曲線分析-----	31
第四節 HIIT 應用超低溫或高氧之恢復期血氨堆積濃度分析-----	34
第五節 基礎耐力前後測之閾值耐力速度分析-----	35
第伍章 結論與建議-----	37
參考文獻-----	38

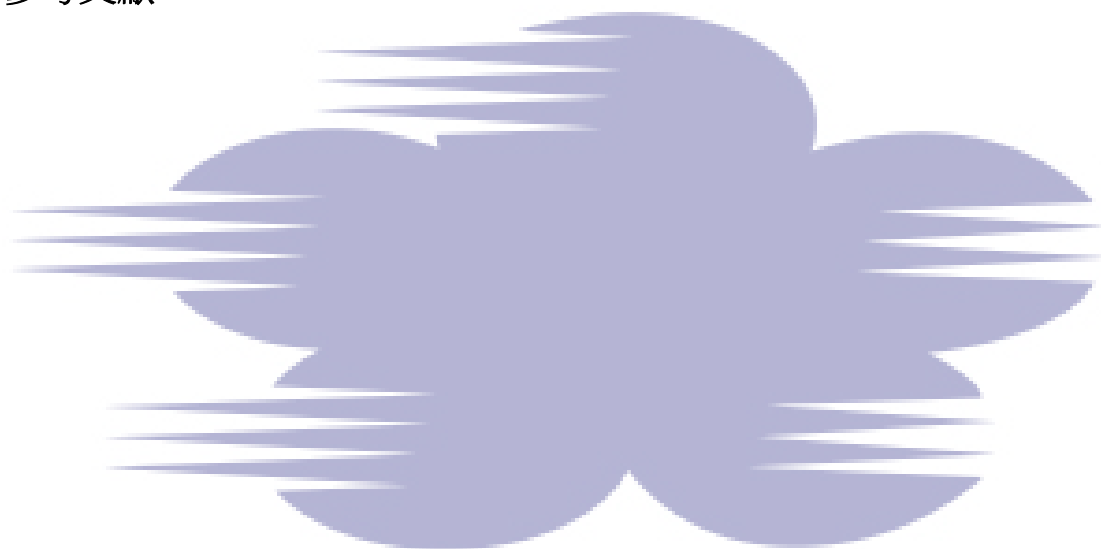


表 目 錄

表 2-4-1	HIIT 對於生理改變的效果-----	13
表 3-1-1	受試者基本資料-----	19
表 3-4-1	前、後測與單次 HIIT 訓練之生理參數蒐集整-----	23
表 4-5-1	超低溫與高氧應用對 2-4mmol/l 閾值心跳率與速度之影響-----	35
表 4-5-2	結果分析總表-----	36

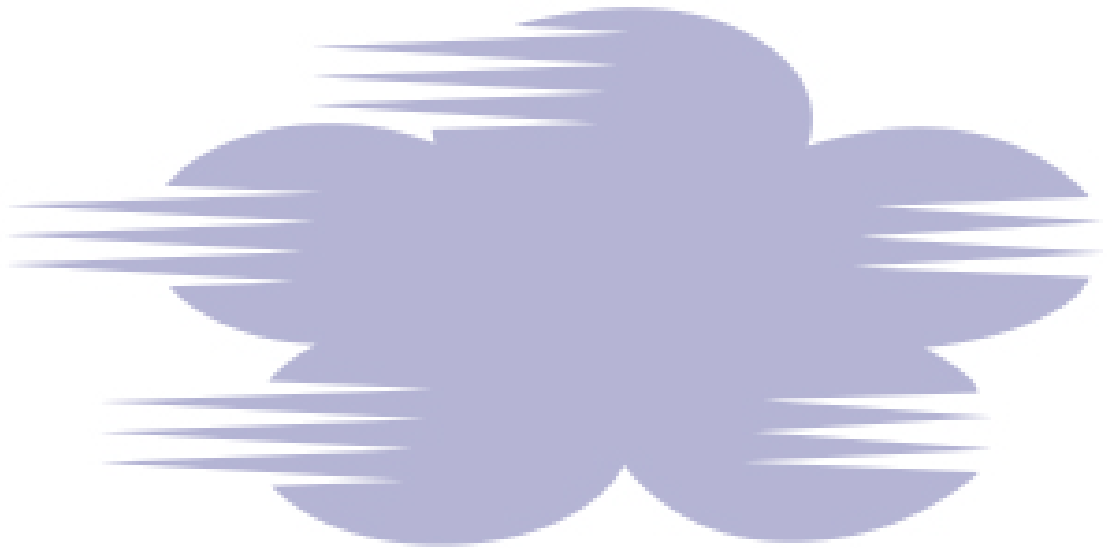


圖 目 錄

圖 2-2-1	有氧/無氧其能量路徑-----	8
圖 3-3-1	超低溫設備及應用圖-----	20
圖 3-3-2	高氧設備及應用圖-----	21
圖 3-3-3	h/p/cosmos 高速跑步機-----	21
圖 3-4-1	實驗步驟圖-----	22
圖 4-1-1	超低溫應用之前後測乳酸曲線-----	27
圖 4-1-2	高氧應用之前後測乳酸曲線-----	27
圖 4-2-1	超低溫應用之前後測心跳曲線-----	30
圖 4-2-2	高氧應用之前後測心跳曲線-----	30
圖 4-3-1	HIIT 應用超低溫或高氧之恢復期乳酸曲線-----	32
圖 4-3-2	HIIT 應用超低溫或高氧之恢復期心跳曲線-----	33
圖 4-4-1	HIIT 應用超低溫或高氧之恢復期血氨堆積濃度-----	34

第壹章 緒論

第一節 研究背景與動機

隨著生理研究與訓練方式進展，體能訓練逐漸突破以週為單位的規劃，而能透過短期特殊訓練快速提升運動能力和生理適應。此外，恢復方式的發展，選手更能提升頻率面對高強度的破壞與疲勞，進而突破或快速調整。

高強度間歇訓練 (High Intensity Interval Training, HIIT) 是種能快速有效改善心肺和代謝功能的訓練方式之一，HIIT 包含了重複的高強度負荷，中間穿插著休息間歇時間，給予運動員連續高強度的訓練刺激，透過這樣的訓練模式提升高強度的刺激頻率，進而提升訓練效果。Gillen 等人 (2013) 指出 HIIT 能夠有時間效率上的增加粒腺體、最大攝氧量、及骨骼肌的有氧能力等。相較於中低強度長時間的訓練模式，如長距離跑步 (Long Slow Distance, LSD)，訓練模式容易導致選手體液的流失、體內電解質失衡、甚至影響過度訓練等症狀 (Burgomaster et al., 2008; Sanchez, 2013; Shiraev & Barclay, 2012)，也因為訓練單元單次運動時間較長，受限於人體能量系統的機制，訓練的強度往往無法維持在個人的 90% 以上。近年大量針對 HIIT 的訓練方式研究，HIIT 的訓練模式不僅耐力訓練的效果較大範圍的訓練更佳，同時在骨骼、韌帶結構上的適應等諸多效果也更好 (Petersen, 2015)，也能避免過度訓練的症狀。

由短週期訓練應用看，訓練達到適應必須經過多次的刺激破壞與恢復，過去的研究提到不同的生理參數其適應改變所需要的時間不盡相同，實務上在訓練週期的訂定多以選手運動能力的改變或是身體各系統配合穩定作為基準，常見設定為四到六週 (Neumann & Berbalk, 1991)。然而依此適應概念，將參考點放在體循環和能量代謝的調適，包括：心跳率與肌肉能量代謝的生理壓力是否降低上，那麼思考訓練週期的時間長度也因此而改變，適應的週期將能更加縮

短。透過短週期的訓練方式做出體能突破，HIIT 的優點恰能與此目的結合實作。蕭婉柔研究 (2015) 發現連續 3 天的 HIIT 訓練模式，第 3 天的血乳酸濃度較低，有氧無氧閾值和心律變異度 (Heart rate variability, HRV) 產生正向改變。張育綺 (2014) 應用 HIIT 結合低氧的訓練模式，針對高競技能力之自行車選手，2 次訓練即出現腳踏車測功儀功率進步，對於高競技能力的運動員，應用短期特殊訓練模式取得突破，並且讓身體產生新的適應，透過連續高強度的刺激是可行的方式。

為了提高訓練效果、比賽優勢與降低運動後疲勞和損傷的發生，許多恢復應用快速發展，高氧 (Hyperoxia) 與超低溫 (Cooling) 為可以加速代謝物質移除的方式之一。超低溫使用低溫乾式氣體 - 液態氮 (liquid nitrogen)，讓身體短暫且大面積的處於冷艙室中 (-110 ~ -195°C) 持續 1-5 分鐘，能立即促使血管收縮並降低肌肉溫度，當接受完冷卻後，血管舒張提高微血管血流量 (capillary blood flow)，使氧氣與營養物質進入肌肉中，並提高因肌肉收縮產生的代謝物質移除效率 (Klimek et al., 2011)，達到促進恢復的效果。人體運動能力會因為呼吸氧氣濃度高低而受到影響，所以增加呼吸的氧氣濃度，能具有促進血液的氣體交換率 (Kajser, 1969)，高氧在訓練中應用能增加有氧代謝路徑的使用量，提高有氧強度訓練，減少肌肉收縮的提早疲勞，達到強度更高的運動刺激 (Perry et al., 2007)，訓練後使用能提升血氧飽和濃度與降低心跳、血壓、乳酸等功能 (Haseler et al., 1999)。

短期訓練應用 HIIT 並非沒有缺點，HIIT 達到效果的關鍵在於強度，設定至少達 90% $\text{VO}_2 \text{ max}$ ，才能有足夠的訓練刺激 (Laursen, 2002)，但強度高亦伴隨著神經肌肉的疲勞，練習量會受到侷限，尤其當選手處於一週練 5-6 天的訓練行程；或是短期球類聯賽的情境，若選手期間體能退化，如何能快速在短時間內提高體能，但又能讓高強度的破壞能加快恢復，皆是安排訓練的重要考量。超低溫和高氧在過去研究已顯示能提升恢復，何種工具和 HIIT 搭配能有

更好的訓練效果目前仍未明確，因此，本研究針對快速提升運動能力，使用單次急性 HIIT 的負荷，搭配超低溫與高氧恢復應用，探討單次訓練應用不同恢復的組合，對疲勞和體能的改變狀況。

第二節 研究目的

- 一、探討單次高強度間歇訓練應用超低溫與高氧對訓練前、後階梯式負荷測試之無氧閾值之效果。
- 二、探討單次高強度間歇訓練應用超低溫與高氧對肌肉疲勞指標與心率之影響。



第三節 操作性解釋

- 一、高強度間歇訓練 (High Intensity Interval Training, HIIT)：透過運動與運動之間的短暫休息，藉以達成維持運動刺激強度的目的。與過去透過持續性的訓練模式而有所不同，故特以間歇訓練稱之。本研究之高強度間歇訓練使用個人速度設定，進行 4 次 90 秒的跑步機負荷，每次間隔 60s。
- 二、超低溫應用 (Cooling)：本研究之超低溫指非全身性冷卻 (partial-body) 於一艙室中，溫度介於-110 至 -135°C，冷卻時間為連續 3 次 90 秒，每次間隔 3 分鐘。
- 三、高氧應用 (Hyperoxia)：本研究指吸取 80%高濃度氧氣，吸取時間為 15 鐘。



第貳章 文獻探討

本章分為三部分探討，第一至三節針對生理參數，探討肌肉疲勞指標（乳酸及血氨）、乳酸與有氧/無氧閾值判斷、以及可判斷自律神經調節的心律變異度；第四節針對訓練方式，探討高強度間歇訓練；第五節為恢復應用，探討超低溫與高氧應用。

第一節 肌肉疲勞指標

一、血氨

血氨 (ammonia, NH_3) 是人體內各器官與組織代謝的產物之一，是一種小分子物質，它在細胞內產生後會經過細胞膜進入血液，並且可透過血腦障壁 (Blood-Brain Barrier, BBB) 進入中樞神經系統。短時間高強度的激烈運動中，人對於 ATP (三磷酸腺苷) 需求急遽增加，致使大量的 ADP (二磷酸腺苷) 與 Pi (磷酸根) 結合以應付 ATP 需求，每 2 分子的 ADP 與 Pi 結合會產生 1 分子的 ATP 與 AMP (一磷酸腺苷)，當 AMP 進入到嘌呤核苷酸循環 (purine nucleotide cycle, PNC)，透過腺苷酸脫氨酶 (AMP deaminase) 的催化而產生氨與 IMP (肌核苷) (Weicker, 1988)。血氨排除主要在肝臟中進行尿素循環 (Urea cycle) 合成毒性較低的尿素，經由尿液排出體外 (Boron et al., 2012)。

Lowenstein 研究 (1972) 指出骨骼肌是體內產生血氨的主要部位，特別是快縮肌，換句話說，血液中氨的濃度取決於肌肉的型態比例，隨著運動強度、運動時間、運動型態等因素的變化，將會影響血液中氨濃度的高低。

Buono 研究 (1984) 指出強度在 60-70% $\text{VO}_2 \text{ max}$ 時，會提高血氨生成，強度提升到 90-100% 後血氨生成斜率最大。Allen 等人研究 (1960) 發現，當一般健康大眾以中低強度進行運動後，血液中的血氨濃度並無大幅的改變，不過若在高負荷下進行運動則血氨濃度則可能增加至安靜值的 4 倍之多，Davis 等人

(1997) 發現運動中的血氨累積，會負面影響中樞神經功能。在訓練應用上，血氨可作為運動負荷強度的生理參考指標 (Urhausen & Kindermann, 1992)。

二、乳酸 (Lactate, La)

ATP(三磷酸腺苷) 是提供肌肉細胞收縮最直接的大能量分子，從能量系統的角度來看，補充 ATP 的三大能量系統分為磷化物系統 (ATP-CrP)、醣酵解系統與有氧系統。而三大能量系統在運動過程中運作所佔的比例，主要受到「運動強度」、「運動時間」與「間歇時間」三個要素影響。

ATP-CP 本身是一個相當純粹的能量系統，透過分解 ATP 產生的 ADP 再與 CrP 發生反應合成為 ATP (Bonen et al., 1998; Tremblay, Simoneau, & Bouchard, 1994; 居乃琿, 2011)。醣酵解系統分為有氧和無氧，依運動強度和持續時間而定，其中無氧醣酵解系統動用太多是運動疲勞的主要原因，無氧醣酵解在產生能量的過程中，丙酮酸最終會轉換成為乳酸，這個過程會導致血液中 pH 值降低，進而影響肌肉收縮機制 (Tesch, 1978)，Liesen (1983) 指出乳酸濃度超過 8mmol/l，動作協調會被肌肉疲勞影響，Hollmann & Rost (1982) 指出乳酸濃度超過 8mmol/l 已達 All-out 狀況。有氧系統則是在低強度下佔據了大部分能量提供的來源，主要是透過檸檬酸循環，以電子傳遞鏈的方式將 ADP 轉為 ATP (Kenney, Wilmore, & Costill, 2015)。

運動負荷後在肌肉中產生乳酸，並透過擴散的方式進入血液再進入肝臟 (Weicker, 1994)。Neumann and Berbalk (1991) 指出乳酸是在肌肉中形成，滲透入血液中，最後是由肝臟 (50%)、心肌 (10%)、腎臟 (10%) 和不活動肌群 (30%) 排除。運動員乳酸排除速率應達 0.5 mmol/l/min，未訓練者為 0.3 mmol/l/min，且動態休息優於靜態休息 (Neumann, 1991)。Neumann (1991) 指出運動中乳酸的堆積與排除能力，是依據個人的有氧能力而定，有氧能力越高者，乳酸排除

速度越快。

相較於其他生理參數，乳酸具備了方便性、經濟性及不須在實驗室進行等多項優點。在近三十年來多篇研究 (Hollmann & Liesen, 1973; Mader et al., 1976) 的證實之下，乳酸可用於反應運動刺激對人體所造成的負荷，以及運動員有氧無氧閾值能力的評估，能在訓練中實用地整合。

在過往的研究中，透過高強度的間歇訓練刺激模式，能夠在短時間之內動用很高比例無氧醣酵解的能量供應，產生的代謝物質，造成極大的無氧壓力。黃俊霖等人研究 (2014) 中，透過 4x1000m 的間歇方式，第 1 次結束的血乳酸即達到 7.1 mmol/l，第 4 次更達到 11.6 mmol/l，超過了 all out 判定值 8 mmol/l。張育綺 (2014) 研究也發現，間歇方式的 2x3x200m 訓練，其血乳酸堆積之情形在第 3 次即超過 16 mmol/l，其強度為最大速度的 90%，呈現很高的無氧負荷狀態。

第二節 乳酸應用 - 有氧無氧閾值

從能量系統的角度看，透過乳酸數值的觀察，能判定運動強度、能量系統、與能量的來源。其中以血乳酸 2 mmol/l 及 4 mmol/l 作為有氧與無氧能量來源的分界點，在不同區間內能量的主要來源亦不同，如圖 2-2-1 (Pansold, 1991)。

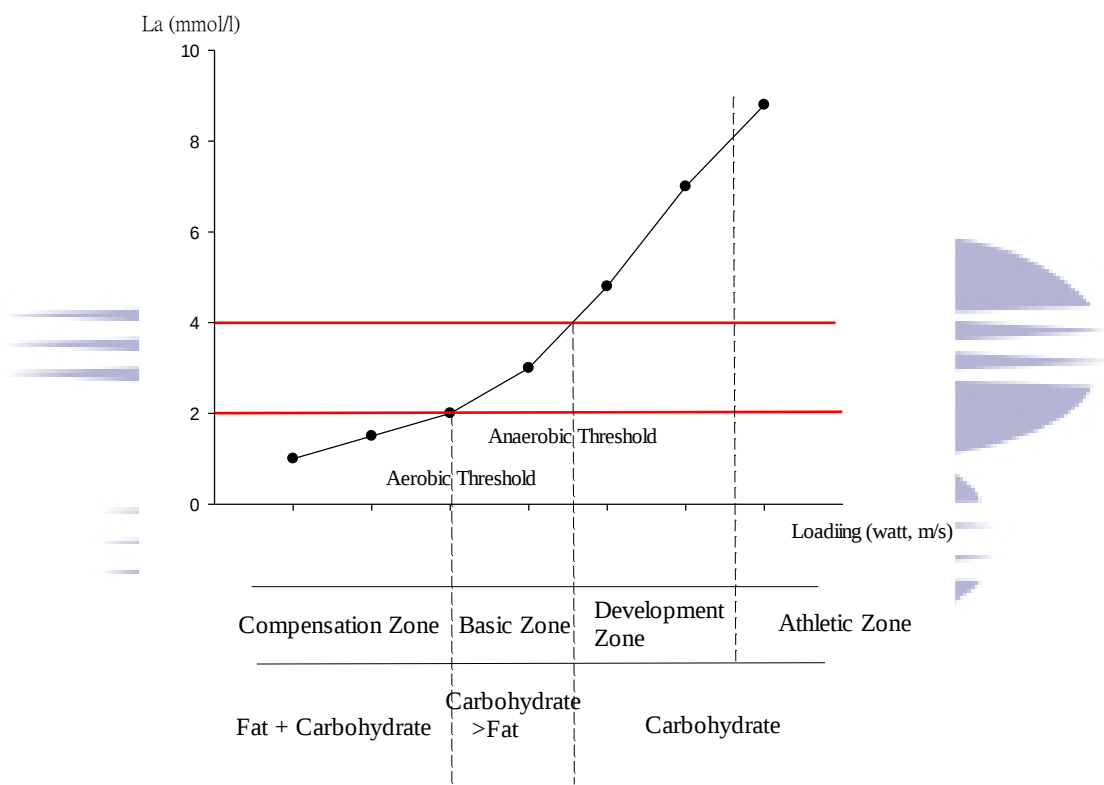
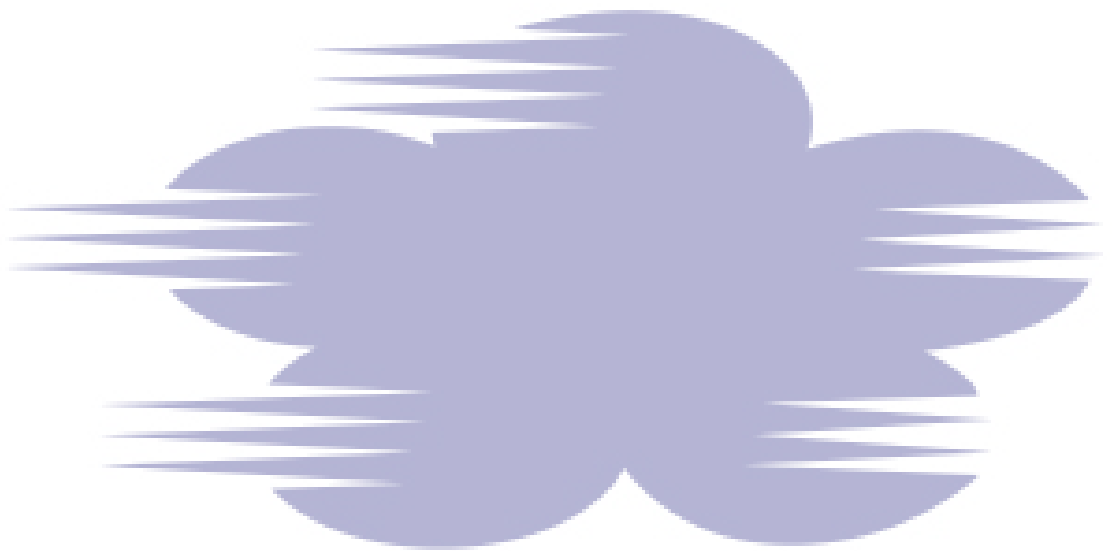


圖 2-2-1 有氧/無氧其能量路徑

Mader 等人 (1976) 應用乳酸提出 2-4mmol/l 應用，使用階梯式負荷，透過心跳率以及乳酸分析的方式，得到選手有氧及無氧閾值速度，2-4mmol/l 速度能力的改善是做為選手競技的基礎，影響其恢復的能力、能量運用路徑的效率以及降低體循環的壓力呈現。有氧閾值能力的呈現，表現在選手的恢復能力、糖

質新生與血糖的穩定，機制上代表選手在左心室輸出、體循環能力、乳酸排除等能力較佳，另外其代表的意義也在於細胞更容易使自由脂肪酸進入檸檬酸循環產生 ATP，而無氧閾值的好壞則呈現在專項能力的表現，屬於較長時間或是大量肌纖維徵召的動作型態，其乳酸生成率較低，其意義為對於肌肉疲勞的產生較少，這是基礎耐力對於專項體能影響的層面。



第三節 心率變異度

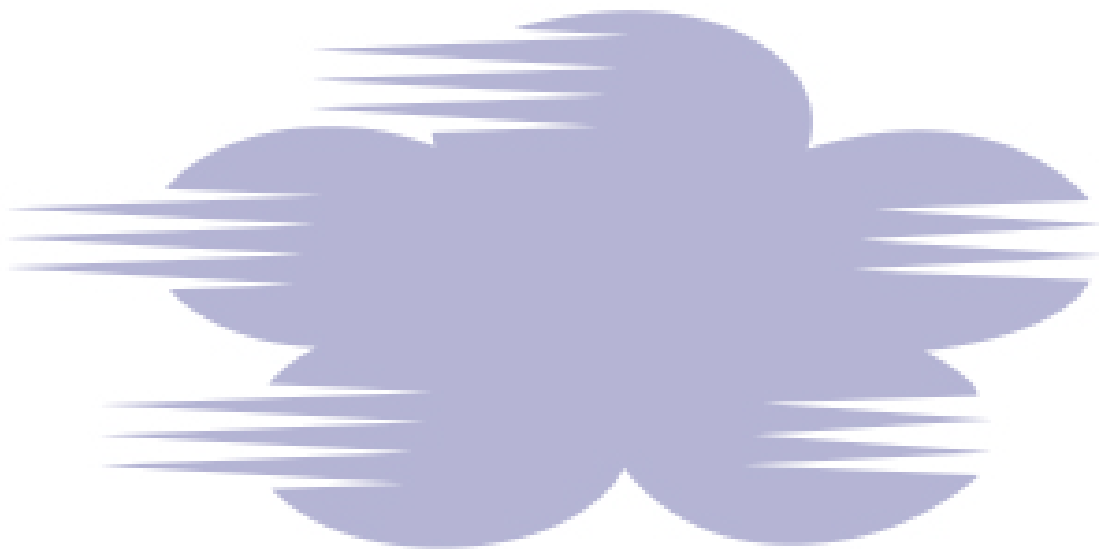
心臟並非以一固定節律跳動，即使處於相對穩定的狀態下，心跳也會有一定程度的變化，此變異程度稱為心率變異度 (heart rate variability, HRV)。心率變異度增加，表示副交感神經興奮，降低心跳率；心率變異度降低，表示副交感神經活性下降、交感神經活性相對增加，導致心跳率加快 (Achten & Jeukendrup, 2003)。心率變異度的重要性在於反映自律神經調控的功能，且具有非侵入性的優點，最早應用於預測心肌梗塞病人的預後，如猝死和心律不整 (Kleiger, 1987)，以及用以評估短期或長期運動訓練對自律神經調控的影響 (Mourrot et al., 2004)。

Puig et al., (1993) 觀察健康成人和運動員的心率變異程度，利用心率變異頻譜分析來評估運動員心臟自主神經系統活動的狀態，發現因為副交感神經增強的作用，運動員有較高心率變異度，Ishida and Okada (1997) 比較運動員和未受過訓練者，藉此探討規律運動對心臟自主神經系統的影響，結果顯示規律的運動訓練可增強心臟副交感神經活性或減弱交感神經活性。Carter et al., (2003) 指出長期的持續運動可以增加 HRV 及副交感神經活性，降低交感神經的興奮，以及降低安靜時及非最大運動時的心跳率，減少體循環壓力。林佳皇 (2006) 比較了 16 位長期接受籃球訓練的高中甲組籃球運動員與 15 位一般高中生，心率變異度在腳踏車運動後之差異，甲組籃球高中球員較一般高中生於相同的負荷後，副交感神經活性明顯增加及心率變異度亦明顯變大。在過往的研究中，大部分研究結果皆是認為經過長期耐力運動，可以減低安靜心跳率與非最大運動心跳率，並增加指標 TP (Total Power, 全頻) 和 HF (High Frequency, 高頻率) 的值 (林順萍、黃國禎、陳俊忠、郭博昭, 2006)。

Cole et al., (1999) 指出受試者在進行最大強度運動後發現，副交感神經的活性與心臟之功能有直接之影響，研究發現心率變異度閾值與換氣閾值 (ventilator threshold, VT) 有高度相關，也發現中等強度或高強度運動訓練後，

達到心率變異度閾值 (HRV threshoud) 的運動負荷顯著增加，Bond 等人研究 (2015) 指出，2 週共 7 次高強度間歇訓練能使 HRV 及血管內皮細胞增生，蕭婉柔 (2015) 應用連續 3 天不同型態的 HIIT 負荷，觀察到使用划船測功儀與腳踏車等阻力型態工具，HRV 改善幅度較跑步機為佳。

除了運動訓練，Joch 等人 (2004) 使用超低溫預先冷卻方式，觀察運動中與恢復期心跳及心律變異度，發現比對照組有正向效果，體表溫度的改變亦能影響心律變異度。



第四節 高強度間歇訓練

高強度間歇訓練 (High Intensity Interval Training, HIIT) 透過高強度運動刺激與短暫的間歇時間反覆進行，作為達到維持競技選手高強度訓練過程的目的。HIIT 透過「強度設定」以及間歇的「時間長短」，維持連續的高強度，使肌肉細胞之能量路徑呈現將近 90% 的無氧狀態，而由於高強度的運動刺激，提高對於無氧醣酵解路徑的刺激，進而提升磷酸果糖激酶 (PFK) 酵素的活性，使得在接受高強度運動的當下，無氧能量路徑能更有效率 (Whyte, 2010)、降低最大負荷心跳率與促進心臟血管及周邊組織之適應、提升生長賀爾蒙 (Nevill, 1996)、降低最大乳酸堆積 (Sperlich, 2010) 等效果。Atherton 等人 (2005) 針對更內部的機轉研究發現，透過高強度 ($>90-100\% \text{ VO}_2 \text{ Peak}$) 的間歇訓練，能夠增加粒腺體中 PGC-1 α 蛋白及 mRNA 的表現，相較於中低強度 (75% 的 $\text{VO}_2 \text{ Peak}$) 的刺激模式，只有透過急性高強度運動刺激才能激發細胞色素 c 氧化酶 (COXIV) 蛋白與 mRNA 的含量與活性，同時核糖體交互作用蛋白 (RIP140) 也會被激活，其主要功能影響了心臟、骨骼肌細胞以及粒腺體等的基因表達。

相較於中低強度長時間的持續模式訓練，如長距離跑步 (Long Slow Distance, LSD)，Gillen 等人 (2013) 指出 HIIT 能夠有時間效率上的增加粒腺體、最大攝氧量、及骨骼肌的有氧能力等，HIIT 訓練模式也能減少選手體液的流失、體內電解質失衡、甚至影響過度訓練等症狀 (Burgomaster et al., 2008; Sanchez, 2013; Shiraev & Barclay, 2012)。HIIT 的訓練模式不僅耐力訓練的效果相較於過往大範圍的訓練更佳，同時在骨骼、韌帶結構上的適應等諸多效果也更好 (Petersen, 2015)。運用 HIIT 的負荷方式，能夠改善 $\text{VO}_{2\text{Peak}}$ 、有氧與無氧等能力，也能達到長時間的有氧耐力訓練的效果，甚至效果更加卓越 (表 2-4-1)。

表 2-4-1 HIIT 對於生理改變之效果

研究者	年份	主要效果	訓練變化
Green & Fraser	1988		3 天連續高強度間歇 (120% $\dot{V}O_{2max}$) 磷酸肌酸增加、醣酵解能力進步、 尿酸增加
Rodas et al.	2000	$\dot{V}O_{2 peak}$ 從 57.3 ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹ 增加到 63.8 ml*min ⁻¹ *kg ⁻¹ 最大功率從 300w 進步到 330w	2 週(7 次) 磷酸激酶+31%，肌酸激酶+44%， 乳酸去氫酶+45%，磷酸果糖激酶 +106%
Laursen et al.	2002	最大功率上升 閾值速度進步 疲勞恢復速度較快	2 週(4 次)高強度腳踏車訓練(最大 功率) 換氣轉折點改善
Gibala et al.	2006		2 週(6 次), HIIT(2.5h) vs ET (10.5h) Biopsy 效果相當
Talanian et al.	2007	$\dot{V}O_{2 peak}$ 增加 13%	2 週(5 次)高強度間歇跑 趟間心跳率達顯著下降
吳杰銘等人	2015	有氧閾值提升 (1.8 m/s -> 2.5m/s)	3 天連續高強度間歇訓練 (階梯式 負荷+1.5m/s) 第 3 天訓練乳酸值減少

第五節 訓練恢復應用

一、超低溫恢復應用

超低溫使用低溫乾式氣體 - 液態氮 (liquid nitrogen)，讓身體短暫且大面積的處於冷艙室中 ($-110 \sim -195^{\circ}\text{C}$) 持續 1-5 分鐘，能立即促使血管收縮並降低肌肉溫度，當接受完冷卻後，血管舒張提高微血管血流量 (capillary blood flow)，使氧氣與營養物質進入肌肉中，並提高因肌肉收縮產生的代謝物質移除效率 (Klimek et al., 2011)，達到促進恢復的效果。

Selfe 等人 (2014) 以英式橄欖球比賽為運動負荷，觀察不同冷卻時間的賽後肌肉發炎與主觀感知，使用 $-130 \sim -135^{\circ}\text{C}$ 的 2 分鐘超低溫，相較於 1 分鐘有較佳的個人感受度，發炎反應 (IL-6) 則差異不大，但 2 分鐘即足以讓體表與核心溫度產生變化，並影響下肢 (股外側肌、腓腸肌) 肌肉氧合作用。Pournot 等人 (2011) 比較被動恢復與超低溫恢復效果，發現在運動後第 1 至 96 小時，超低溫組有較低發炎反應，並呈現較低的 C 反應蛋白 (plasma C-creative protein)。Ferreira-Junior (2014) 藉由落下跳 (box drop jump, DJ) 負荷的方式，在運動後應用超低溫與常溫比較發現，運動後立即進行超低溫，至第四天的力量恢復之中，最大力矩 (peak torque) 在第三天呈現恢復並且優於常溫組，此外在運動後隔天並未產生腿部肌肉腫脹情況，顯示應用超低溫有較佳的肌肉損傷恢復效果。Krüger 等人 (2015) 連續以三次運動負荷 (依序為：Ramp test $\rightarrow$ HIIT $\rightarrow$ Ramp test)，在 HIIT 後比較超低溫 (-110°C , 3min) 與動態恢復模式發現，第二次的 Ramp test 距離兩組皆呈現下降，但超低溫應用組下降距離較少，且在第二次的 Ramp test 呈現較低的心跳與自我負荷感覺 (rating of perceived exertion, RPE) 分數，並在股外側肌呈現較高的肌肉含氧量，不過乳酸部分兩者未呈現差異，這顯示超低溫在運動負荷後應用有助於減緩疲勞的累積，與降低恢復期體循環的負荷，但能量代謝上的機制尚未完全明確。上述研究顯示超低溫有助於

降低發炎與免疫反應，有助於加速恢復延緩疲勞。

由於高強度的訓練往往造成肌纖維的微損傷，因此相關發炎因子就可能從肌纖維釋放出來 (Howatson et al., 2005)，而這些受傷的細胞與肌漿膜使細胞內的鈣離子堆積，導致力量的降低。Wozniak 等人研究 (2007) 以連續十天訓練結合一天三次超低溫使用，觀察獨木舟選手溶酶體活性 (lysosomal enzyme activity) 與肌酸激酶 (creatine kinase, CK) 等，應用超低溫者 CK 值較未使用者降低 30%，發炎因子中的溶酶體活性 (lysosomal enzyme activity) 在 6 天的訓練後皆呈現下降趨勢。Joch 等人 (2005) 以腳踏車持續阻力變換的運動方式，觀察運動中與恢復期心跳、乳酸及心律變異度 (heart rate variability, HRV)，發現超低溫應用能降低運動中、運動間歇期與運動結束恢復期的心跳，運動中之乳酸值亦顯著低於非超低溫組，並由 HRV 獲知超低溫可能有助於提高迷走神經與副交感神經系統的調節。Pritchard and Saliba (2014) 回顧過去文獻指出相關冷卻的間隔時間大多高於 20 分鐘，與實際訓練與比賽上有所差異，因此建議冷卻間隔時間不應太長。此外，Rutkove 等人 (2001) 研究顯示超低溫可能會減緩肌肉收縮和神經傳導速度，造成最大力量與持續收縮的能力下降，因此建議在回到訓練或比賽時應再給予身體一段暖身的過程。

二、高氧恢復應用

人體運動能力會因為呼吸氧氣濃度高低而受到影響，所以增加呼吸的氧氣濃度，能具有促進血液的氣體交換率 (Kaijser, 1969)。攝取高氧的立即效果是提升血氧飽和濃度，Haseler et al., (1999) 研究指出運動後攝取能提升血氧飽和濃度、加速乳酸排除並促進恢復的效果。安靜狀態下攝取高氧 (100%) (Houssiere et al., 2006) 和高強度負荷 ($>$ 個人無氧閾值) 時攝取高氧 (97%) (Peeling et al., 2011) 皆能顯著提升血氧飽和濃度 (SaO₂)。

攝取高氧除了對於生理代謝具有正向的促進作用，同時亦具有提升運動表現之效果，Plet et al., (1992) 研究顯示，於固定負荷強度至衰竭中，實驗參與者吸取高氧 (55%) 的情況下，比常氧狀態下平均延長 44% 的持續時間耗竭。在相同心跳負荷的強度下，攝取高氧 (60%) 能比常氧能提高耗氧量與較大的動力輸出 (Perry et al., 2007)。Tucker et al., (2007) 研究發現在 20km 腳踏車計時測試中，攝取高氧 (40%) 能顯著提升運動表現及維持平穩動力輸出，相同測試於常氧中的動力輸出則出現顯著的下降 ($p < .01$)。

個人主觀上的影響層面，由知覺疲勞指數 (RPE) 來看，Tucker et al., (2007) 研究發現在 20 公里腳踏車計時測試中，RPE 在高氧組 (40%) 與常氧組間沒有顯著差異。然而，黃麟棋等人研究 (2008) 高強度間歇運動應用高氧 (97%) 發現，隨著高強度的次數增加，高氧組的 RPE 指數增加只有常氧組一半，達到顯著差異 ($p < .05$)。由此可見，負荷型態會影響 RPE 的感受。

由生理參數的乳酸觀察，研究指出若於運動過程中攝取高氧 (100%)，則比常氧中之相同的運動強度負荷下產生較少的血液乳酸值 (Houssiere et al., 2006)。運動後結束持續攝取高氧 (40%)，則有加速乳酸排除促進恢復的效果 (Nummela et al., 2002)，血糖值與心跳率影響則與常氧相同，沒有顯著的差異 (Huang et al., 2008)。Stellingwerff (2016) 研究指出，攝取高氧 (60%) 的情況下以個人最大攝氧量 70% 進行固定時間的腳踏車測試，結果體內醣酵解能量供應

下降 16%，且丙酮酸產量亦減少 15%，乳酸脫氫酶 (LDH) 活性沒有顯著變化，但血乳酸的累積量有顯著下降，他們亦觀察到實驗中減少腎上腺素濃度及磷酸化酶 (phosphorylase) 的催化物，進而降低 CrP 的使用效率，並在丙酮酸的產量減少與氧化作用配合的情況，減少乳酸產生及釋放到血液中的含量。

高氧對於交感神經方面的影響，Houssiere et al., (2006) 指出，應用高氧 (40%) 時的安靜狀態肌肉中交感神經活性、心跳率、平均血壓以及乳酸值等皆顯著的低於常氧的情況；在運動的情況下則發現，肌肉中交感神經活性與平均血壓，在高氧 (40%) 情況下則有顯著的增加情形；而運動結束後三分鐘的觀察顯示，高氧 (40%) 情況下的交感神經與平均血壓皆高於常氧，其結論為高氧下運動會增加交感神經與血壓的代謝反射的敏感性，進而支配了交感神經的抑制訊號與抑制血壓降低的效果。

高氧配合訓練週期進行較長時間的研究方面，Perry et al., (2007) 以重複量數方式進行六週訓練，每週 3 次，單次 40 分鐘的腳踏車 (90% 最大攝氧量) 負荷，搭配高氧 (60%) 或常氧環境，不同氧氣環境的訓練間隔為六週。結果發現，兩種情況皆能提升運動表現，但應用高氧的訓練模式，獲得顯著增加的動力輸出 ($p < .01$)。

第六節 文獻總結

綜合上述文獻，文獻總結如下：

- 一、血氨會隨運動強度提高而上升，可作為判定運動強度的生理指標。
- 二、乳酸和運動強度、持續時間、及間歇時間有關，應用上可作為有氧和無氧能量路徑的判斷。運動中乳酸的上升會連動影響血液 pH 值降低，進而影響肌肉收縮機制。有氧能力越高者，乳酸排除速度越快。
- 三、心律變異度能用於評估自律神經與心臟之間的影響，長期耐力運動和高強度運動都能增加 HRV，短期訓練使用阻力型態的 HIIT 對 HRV 改變較佳。運動前應用超低溫亦發現能對 HRV 有更好效果。
- 四、HIIT 能快速提升無氧效率、最大乳酸堆積降低，比長時間中低強度持續訓練模式更有時間效率，但不可避免的是強度帶來的生理無氧代謝物質和肌肉疲勞的影響。
- 五、高氧和超低溫應用皆能降低肌肉疲勞指標乳酸值或加快排除、超低溫更有助副交感神經調節，影響心率變異度。

綜合以上過去研究資訊，若使用已知的訓練和恢復方式做組合，透過單次訓練是否能給予足夠刺激？超低溫和高氧應用，何者和 HIIT 配合能有較好效果，隔天能出現適應改善與運動能力提升？以上為本研究之特色重點。

第參章 研究方法

第一節 研究對象

本研究將先送審人體試驗實驗委員會 (IRB)，經審核通過後將招募有規律運動習慣 (> 4 次/週，5 年以上，運動型態包含耐力與力量訓練)，無任何急性運動傷害之 20 歲以上健康成人男性 8 名。實驗前將以書面及口述方式，對實驗參與者完整說明研究流程、可能效益與風險、彼此配合事項、及預期之目標。若在參與實驗期間有身體不適或私人因素無法完成實驗者，參與者有權利隨時退出本實驗。經過參與者明確了解與同意後，由參與者本人簽屬實驗同意書及疾病調查表。

表 3-1-1 受試者基本資料

	年齡 (age)	身高(cm)	體重(kg)
男性 (n=8)	25.5 ±3.3	173.0±7.5	75.3±12.2

第二節 實驗時間與地點

一、時間：2017 年 12 月

二、地點：國立體育大學競技與教練科學研究所

運動能力診斷與訓練調整實驗室 (SPDI)

第三節 實驗儀器與設備

- 一、心律偵測器 (Polar H7 胸帶式心率傳感器)
- 二、採血工具 (採血針、酒精、手術用手套、紅血球破壞劑、衛生紙、毛管等)
- 三、乳酸血糖分析儀 (Diagnostic Biosen C-line; EKF-diagnostic, Germany)
- 四、血氨測定儀 (Thermo recorder TR-72U, Japan)
- 五、超低溫設備 (Space Cabin, CRYOMED Ltd, Ukraine) (圖 3-3-1)
- 六、高濃度氧氣設備 (NewLife / intensity/AirSep) (圖 3-3-2)
- 七、高速跑步機 (h/p/cosmos, Germany) (圖 3-3-3)



圖 3-3-1 超低溫設備及應用圖



圖 3-3-2 高氧設備及應用圖



圖 3-3-3 h/p/cosmos 高速跑步機

<https://www.h-p-cosmos.com/en/products>

第四節 實驗設計

本實驗設計分成「前、後測」、「單次高強度間歇訓練」、「訓練後恢復應用」共三個部分。為了降低不同恢復應用順序造成的交互影響，實驗參與者會在第一次前測後，使用平衡次序方式，依據無氧閾值分成能力接近的兩組，進行不同恢復應用的順序，不同恢復應用實驗間隔兩天休息。

「前、後測」為個人有氧-無氧閾值之階梯式跑步機測試 (2-4 mmol/l)。「單次高強度間歇訓練」於前、後測中間施行，實驗參與者在高速跑步機上以個人階梯式跑步機測試完成之最高速加上 0.3 m/s 作為強度設定，進行 4 x 90s 之訓練，並於每趟之間動態走動休息 1 分鐘。「訓練後恢復應用」分為兩種模式：高濃度氧氣 (80%) 與超低溫 (3 x 90s)，超低溫應用的溫度設定為 -120°C ，低溫間歇時間為 3 分鐘。高濃度氧氣應用為訓練後呼吸高濃度氧氣 15 分鐘。實驗步驟如下圖 3-4-1 所示，相關生理參數整理於表 3-4-1。

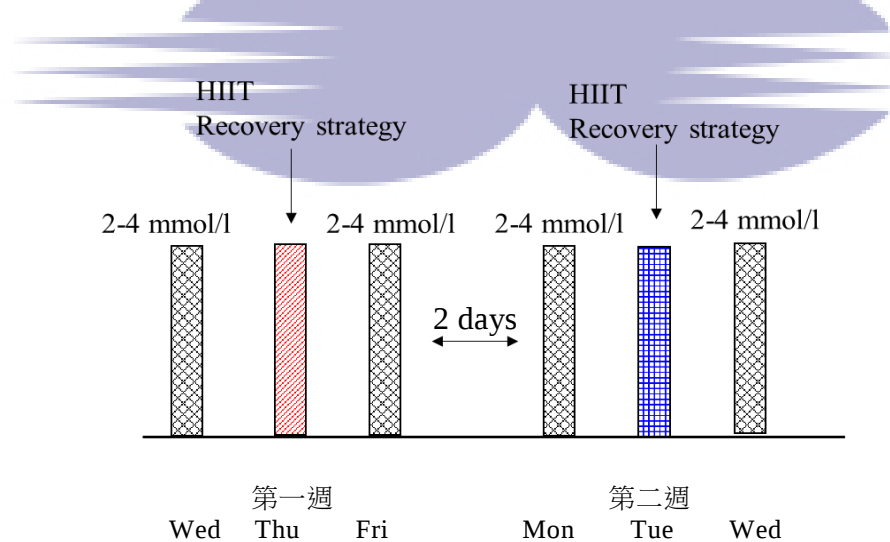
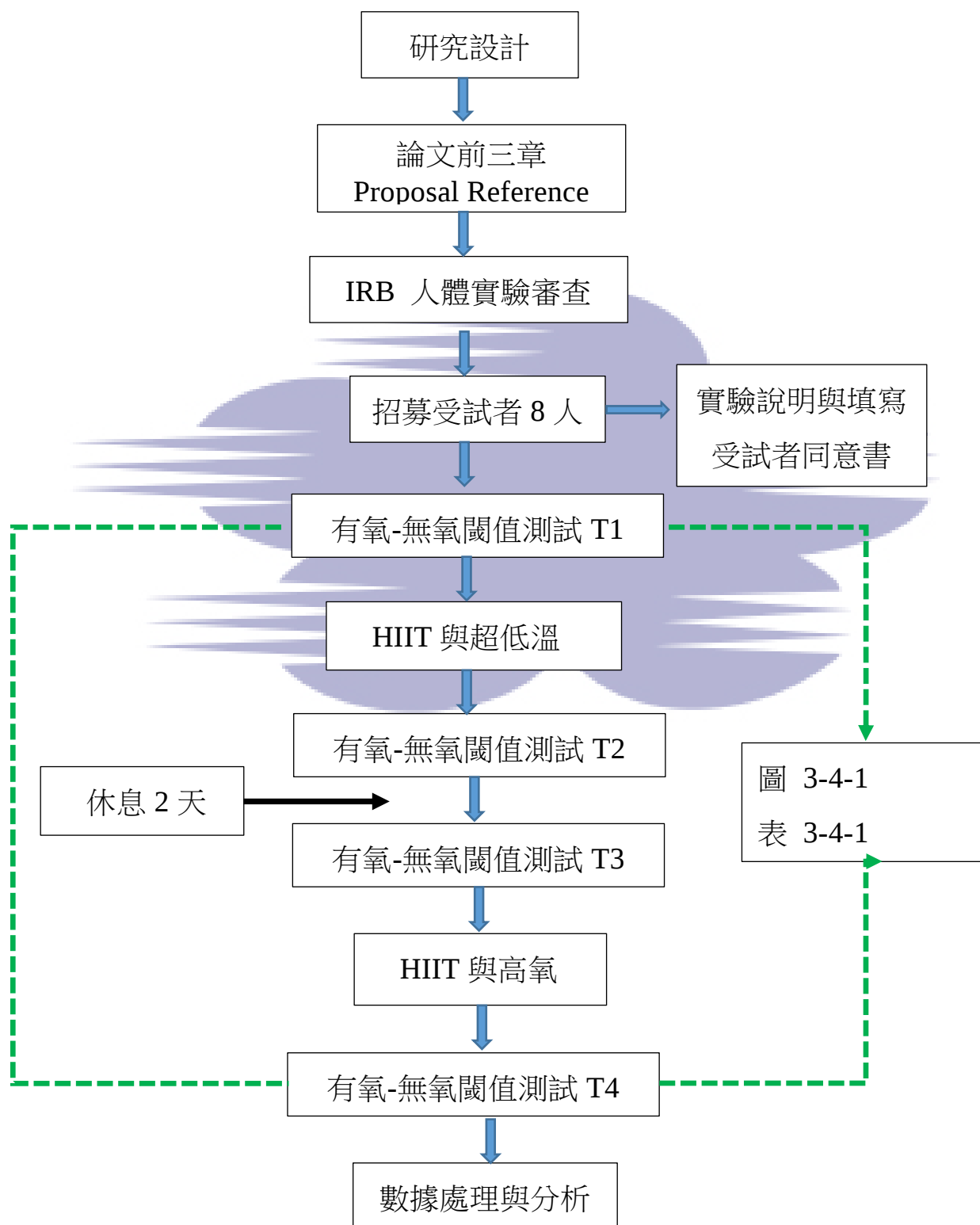


圖 3-4-1 實驗步驟圖

表 3-4-1 前、後測與單次 HIIT 訓練之生理參數蒐集整理

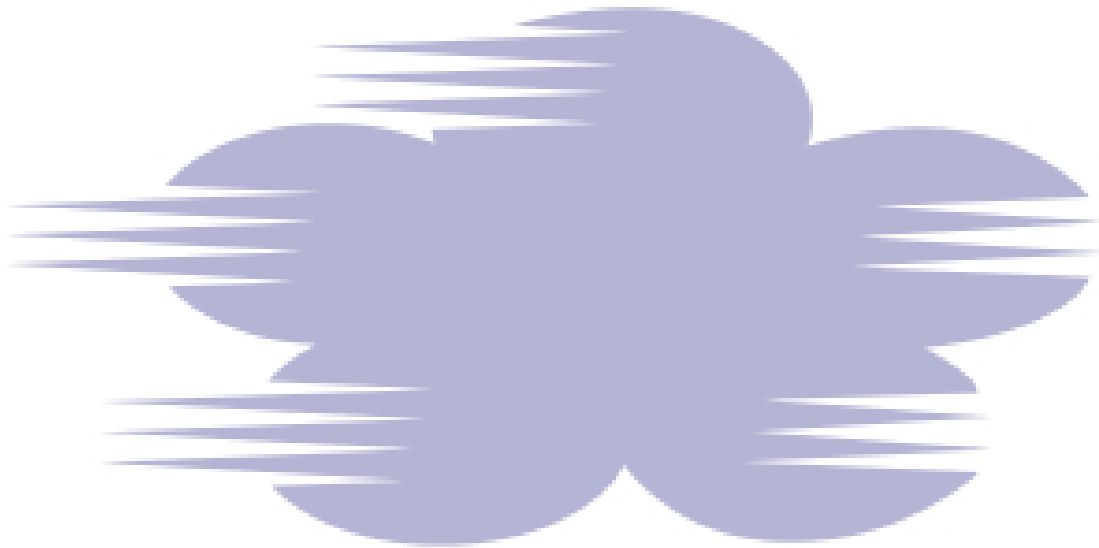
測試內容	負荷	蒐集參數
2-4mmol/l	階段式漸增負荷	La: R-依個人能力 4-5 次
	初始速度：2.5m/s	HR: 全程紀錄
	每 5 分鐘階負荷+0.5m/s	HRV:全程紀錄
	至個人最大負荷	註：總採血量每人約 60 μ l
HIIT + Cooling	4 x 90s (階段式負荷可完成最高速度+0.3 m/s) Rep: 60s Cooling: 3 x 90s, set: 3min	La: R, 2x, 4x, E3, E6, E10, E15 NH ₃ : R, E3, E15 HR:全程紀錄 HRV:全程紀錄 註：總採血量每人約 130 μ l
HIIT + Hyperoxia	4 x 90s (階段式負荷可完成最高速度+0.3 m/s) Rep: 60s Hyperoxia: 15min	La: R, 2x, 4x, E3, E6, E10, E15 NH ₃ : R, E3, E15 HR:全程紀錄 HRV:全程紀錄 註：總採血量每人約 130 μ l

第五節 研究流程



第六節 資料蒐集與統計分析

- 一、各項參數以統計軟體 SPSS for Windows 20.0 進行資料統計分析。
- 二、以 SigmaPlot 12.5 軟體進行繪圖繪製。
- 三、以相依樣本 t 考驗分析項各參數於訓練前後之差異。
- 四、數值以平均數及標準差(Mean $\pm$ SD)呈現，顯著效果訂為 $\alpha = .05$ 。



第肆章 結果分析與討論

本章結依據實驗結果進行分析和討論，分為下列各結探討：

第一節 基礎耐力前後測之乳酸曲線分析

第二節 基礎耐力前後測之心跳曲線分析

第三節 HIIT 應用超低溫或高氧之恢復期乳酸與心跳曲線分析

第四節 HIIT 應用超低溫或高氧之恢復期血氨堆積濃度分析

第五節 基礎耐力前後測之閾值耐速度分析與實驗總表

第一節 基礎耐力前後測之乳酸曲線分析

高強度間歇訓練 (HIIT) 應用超低溫，前後測乳酸曲線分析 (圖 4-1-1)，前後測最高乳酸平均值皆出現在跑步機速度 5.0 m/s，前測最高乳酸平均值為 8.48 ± 1.31 mmol/l，後測最高乳酸平均值為 9.54 ± 2.61 mmol/l。後測在跑步機速度 2.5 m/s、3.0 m/s、以及 3.5 m/s 之乳酸值呈現比前測降低，最大差距出現在跑步機速度 3.5 m/s，差異為 -0.42 mmol/l。後測在跑步機速度 4.0 m/s、4.5 m/s，以及 5.0 m/s 之乳酸值呈現比前測高，最大差距出現在跑步機速度 5.0 m/s，差異為 1.06 mmol/l，前後測在各階速度之乳酸平均值未呈現顯著差異。

HIIT 應用高氧，前後測乳酸曲線分析 (圖 4-1-2)。前後測最高乳酸平均值皆出現在跑步機速度 5.0 m/s，前測最高乳酸平均值為 9.55 ± 1.17 mmol/l，後測最高乳酸平均值為 10.84 ± 3.96 mmol/l。後測在跑步機速度 2.5 m/s、3.0 m/s、以及 3.5 m/s 之乳酸值呈現比前測低，最大差距出現在跑步機速度 2.5 m/s，差異為 -0.33 mmol/l。後測在跑步機速度 4.0 m/s、4.5 m/s，以及 5.0 m/s 之乳酸值呈現比前測升高，最大差距出現在跑步機速度 5.0 m/s，差異為 1.29 mmol/l，一

名受試者於後測多跑完一階，前後測在各階速度之乳酸平均值未呈現顯著差異。

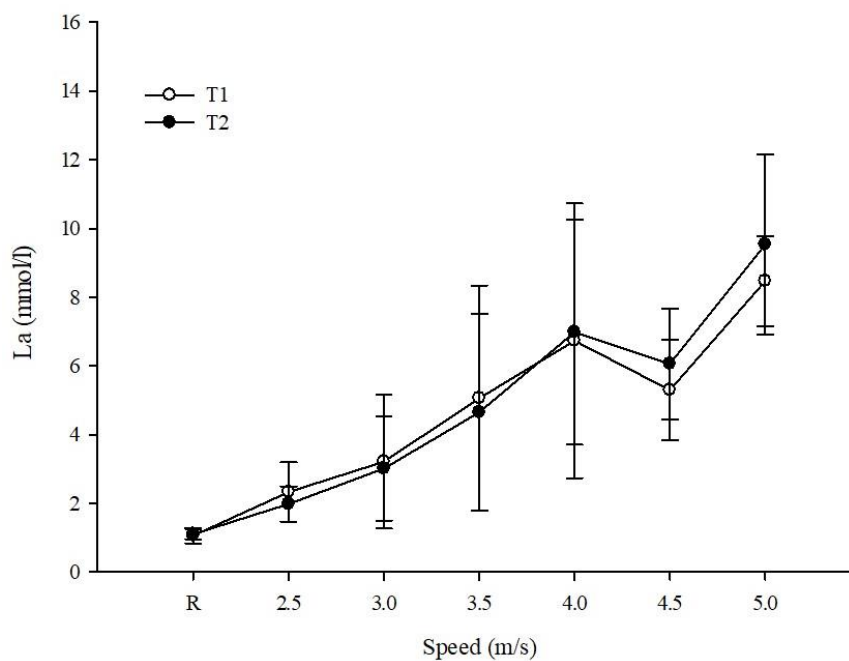


圖 4-1-1: 超低溫應用之前後測乳酸曲線

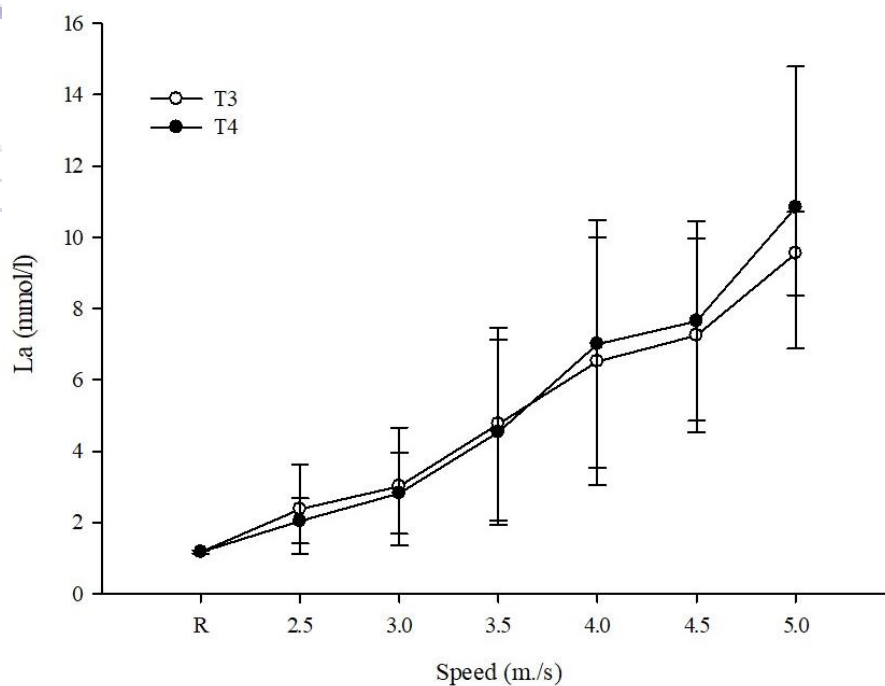


圖 4-1-2: 高氧應用之前後測乳酸曲線

過去研究指出 HIIT 能增加骨骼肌氧化能力，減少進入血液的乳酸 (Little et al., 2010; Gillen et al., 2013)。本研究經過單次急性 HIIT 後，搭配不同的恢復應用下，跑步機較低速度 (2.5 m/s, 3.0 m/s, 3.5m/s) 的後測平均乳酸值呈現下降趨勢，較高速度 (4.0 m/s, 4.5 m/s, 5.0 m/s) 的後測平均乳酸則呈現上升現象。Whyte et al., (2010) 研究結果顯示，HIIT 能同時改善有氧和無氧能力，Sperlich et al., (2010) 研究指出，HIIT 有降低最大乳酸堆積之效果。但是，本研究實驗僅在較低速度呈現較低乳酸平均值，推測較高速可能被疲勞累積影響，而沒有產生乳酸降低的現象。HIIT 透過高強度去刺激能量路徑，但亦伴隨著神經與肌肉疲勞，本研究實驗設計貼近選手訓練型態，測試與訓練並沒有休息天，後測前兩天進行了階梯式負荷前測與 HIIT 訓練，訓練中各項生物參數恢復所需時間不同，比如最大肌肉負荷下，收縮蛋白質的再建立需要 12–48 小時 (張嘉澤, 2010)，加上階梯式負荷屬於持續型態，後面的高速可能受到疲勞堆積影響，使的高速部分未呈現適應。

Neumann 等人 (1991) 指出乳酸的適應改善，時間需要以週為單位。透過 HIIT 的生理機轉，陸續有研究結果顯示 3 天或 5 天的短週期訓練能快速改善能量代謝 (蕭婉柔, 2015; 李婉貞, 2014)。本研究進而探討 1 天訓練的可行性，結果顯示在低速部分出現乳酸值下降。

第二節 基礎耐力前後測之心跳曲線分析

高強度間歇訓練 (HIIT) 應用超低溫或高氧，前後測心跳曲線分別為圖 4-2-1 及圖 4-2-2 所示。低溫應用的前後測最高心跳皆為 188 min^{-1} ，心跳曲線幾乎無變化。高氧應用的前後測最高心跳分別為 188 min^{-1} 及 187 min^{-1} ，後測心跳呈現下降現象，最大差異出現在跑步機速度 2.5 m/s 及 3.0 m/s ，差異為 -7 min^{-1} 。

器官組織對運動訓練的適應，反應最快為心跳，改變以日為單位 (Neumann et al., 1991)。Schaun 與 Del Vecchio (2018) 研究發現，兩種不同阻力模式進行高強度間歇訓練，一天後皆能降低心跳率。但是，李婉貞 (2014) 研究顯示，連續五天 HIIT，乳酸值在後測明顯下降，心跳曲線卻往上移動，推論為 HIIT 累積疲勞高影響交感神經導致。本研究使用一天的高強度間歇訓練，乳酸值在跑步機高速呈現上升 (圖 4-1-1 及 圖 4-1-2)，但是心跳呈現未變化或下降，顯示單次的高強度刺激疲勞尚不至於影響心跳率退化。

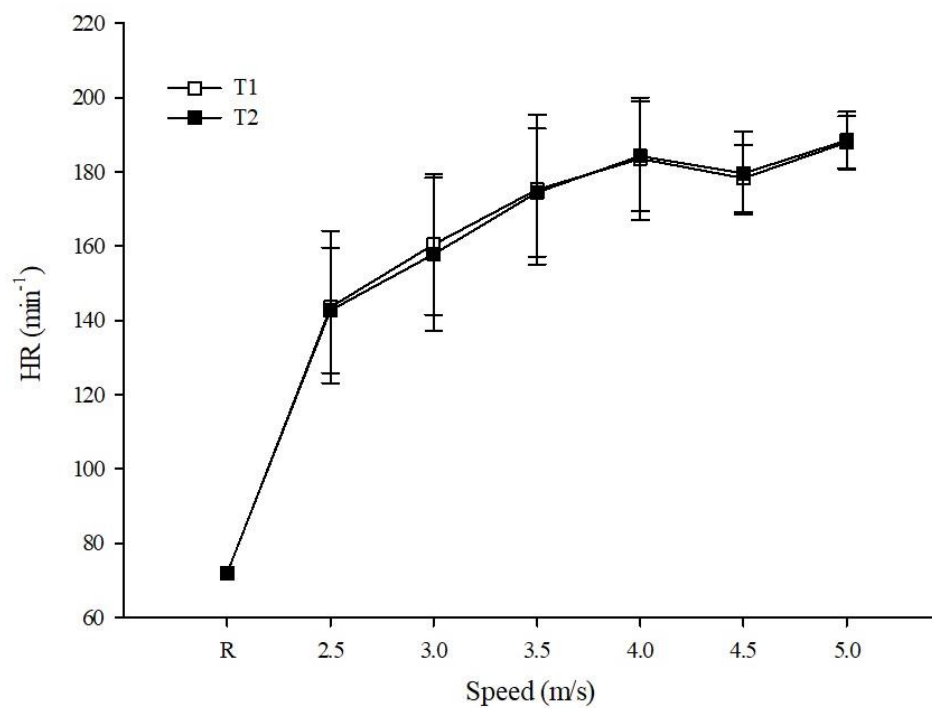


圖 4-2-1: 超低溫應用之前後測心跳曲線

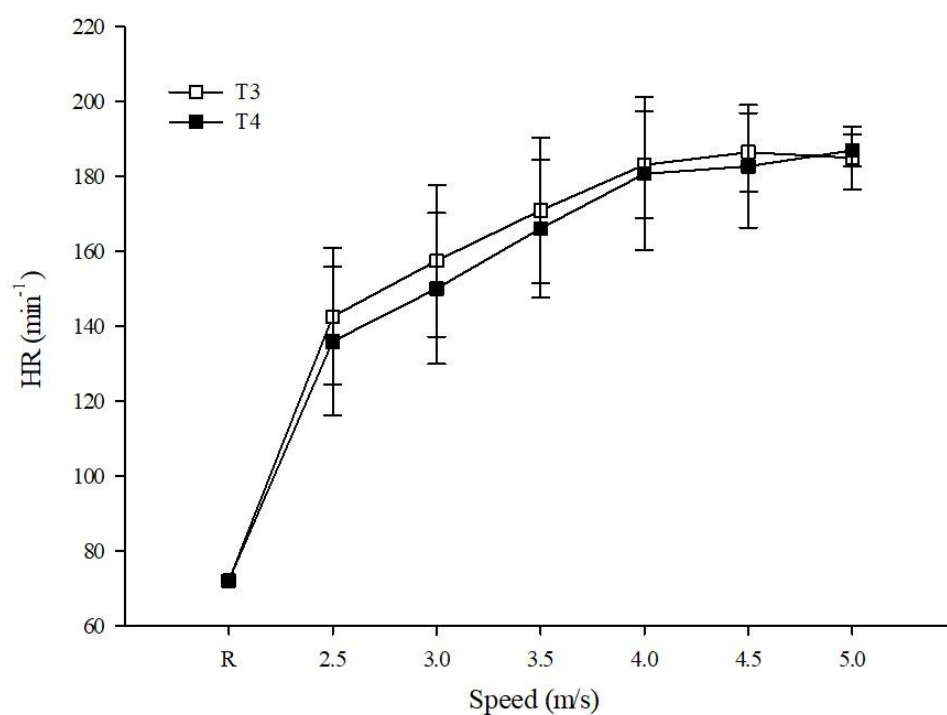


圖 4-2-2: 高氧應用之前後測心跳曲線

第三節 HIIT 應用超低溫或高氧之恢復期乳酸與心跳曲線分析

高強度間歇訓練 (HIIT) 應用超低溫或高氧恢復，恢復期乳酸平均值分析 (圖 4-3-1)，低溫應用之最高乳酸值為 9.20 mmol/l，出現在恢復期第三分鐘 (E3)，恢復期平均乳酸排除量為每分鐘 0.26 mmol/l。高氧應用之最高乳酸值為 8.43 mmol/l，出現在恢復期第三分鐘 (E3)，恢復期平均乳酸排除量為每分鐘 0.25 mmol/l。平均乳酸值在高氧應用呈現較低，最大差異為 0.76 mmol/l (E3)。

恢復期心跳曲線分析 (圖 4-3.2)，低溫應用的平均最高心跳為 184 min⁻¹，恢復期第 15 分鐘 (E15) 降到 98 min⁻¹；高氧應用平均最高心跳為 182 min⁻¹，E15 降到 94 min⁻¹。高氧應用比超低溫在恢復期呈現較低的心跳率，最大差距為恢復期第三分鐘 (E3)，差異為 -20 min⁻¹，其中 E3 和 E6 兩個時間點呈現顯著差異 ($p < .05$)。

Kaijser (1969) 指出高氧提升呼吸的氧氣濃度，能促進血液氣體交換率和提升血氧飽和濃度。Haseler et al., (1999) 研究指出，運動後攝取高氧能提升血氧飽和濃度，加速乳酸排除的效果。超低溫則是透過短時間冷卻，促使表面血管收縮，當冷卻完成後，血管會因為身體回溫而舒張，進而提高微血管血流量，提高代謝物質移除效率 (Klimek et al., 2011)。在本研究的恢復期乳酸曲線比較中，恢復期第三分鐘 (E3) 呈現較大的差距，推論和應用方式差異有關。超低溫應用前，需先將身體擦乾避免凍傷，進入低溫艙室時間為恢復期第三分鐘後 (圖 4-3-1 虛線區域為超低溫應用時間)，高氧則是 HIIT 負荷結束後立即戴上氧氣面罩，因此 E1 到 E3 的曲線呈現較為和緩。王昱中等人 (2017) 研究發現，高強度間歇訓練後應用高氧或超低溫，高氧的恢復期乳酸曲線呈現比超低溫較低，現象與本研究相同。超低溫需要體表溫度的變化帶動血液動力學，在本研究的 15 分鐘恢復期，身體反應速度不若高氧。

Houssiere et al., (2006) 研究指出，高氧應用時的交感神經活性、心跳率、和平均血壓皆顯著低於常氧；Joch et al., (2005) 研究指出，超低溫的應用能降低間歇期的心跳，並有助提高迷走神經和副交感神經的調節。本研究結果的心跳曲線和前述乳酸曲線類似，由於使用方式上的差異，高氧在恢復期第三分鐘呈現比超低溫顯著的心跳下降，到了恢復期第 15 分鐘 (E15)，高氧應用呈現比超低溫較低的心跳 (圖 4-3-2)。

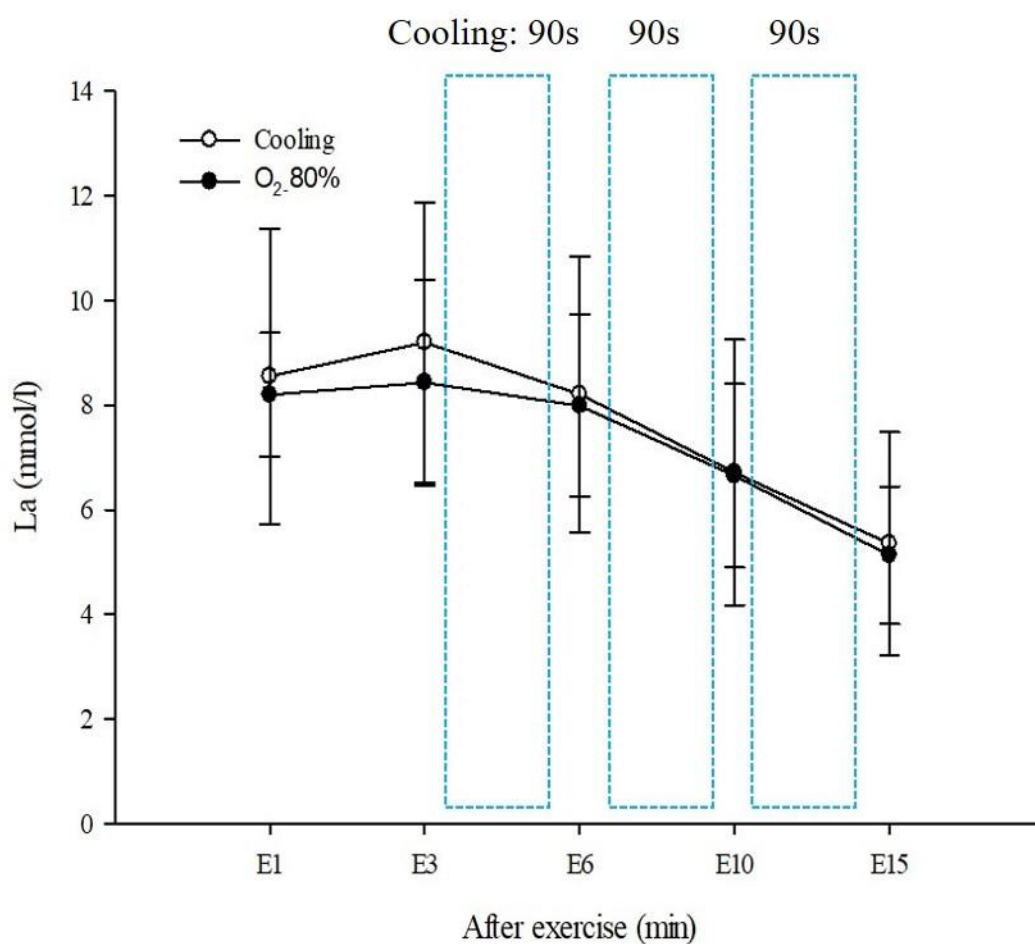


圖 4-3-1 HIIT 應用超低溫或高氧之恢復期乳酸曲線

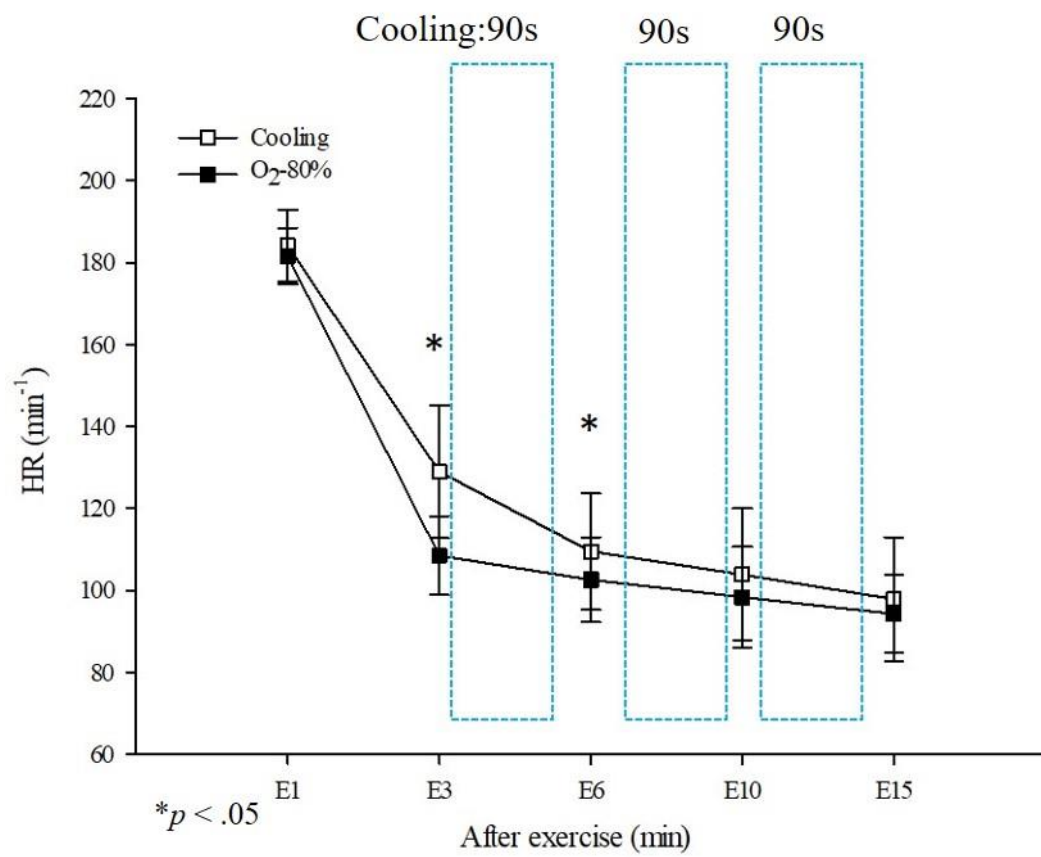


圖 4-3-2 HIIT 應用超低溫或高氧之恢復期心跳曲線

第四節 HIIT 應用超低溫或高氧之恢復期血氨堆積濃度分析

高強度間歇訓練應用超低溫或高氧恢復，恢復期血氨 (NH_3) 堆積濃度分 (圖 4-4-1)。低溫應用恢復期第三分鐘 (E3) NH_3 為 $83.8 \mu\text{mol/l}$ ，E15 為 $84.3 \mu\text{mol/l}$ ；高氧應用在 E3 為 $80.1 \mu\text{mol/l}$ ，E15 為 $53.3 \mu\text{mol/l}$ 。低溫應用的平均 NH_3 排除為 $+0.5 \mu\text{mol/l}$ ，高氧應用則為 $-26 \mu\text{mol/l}$ ，高氧應用的排除呈現顯著差異 ($p < .05$)。

NH_3 排除主要在肝臟中進行尿素循環 (Urea cycle) 合成毒性較低的尿素，經由尿液排出體外 (Boron et al., 2012)，Van Wenum et al., (2018) 研究發現，高氧能增加肝臟 HepaRG 細胞和尿素循環活性。王昱中等人 (2017) 比較超低溫與高氧在單次高強度阻力間歇訓練後的恢復期 NH_3 排除，結果顯示高氧對 NH_3 排除速度高於超低溫應用，和本研究結果相同。

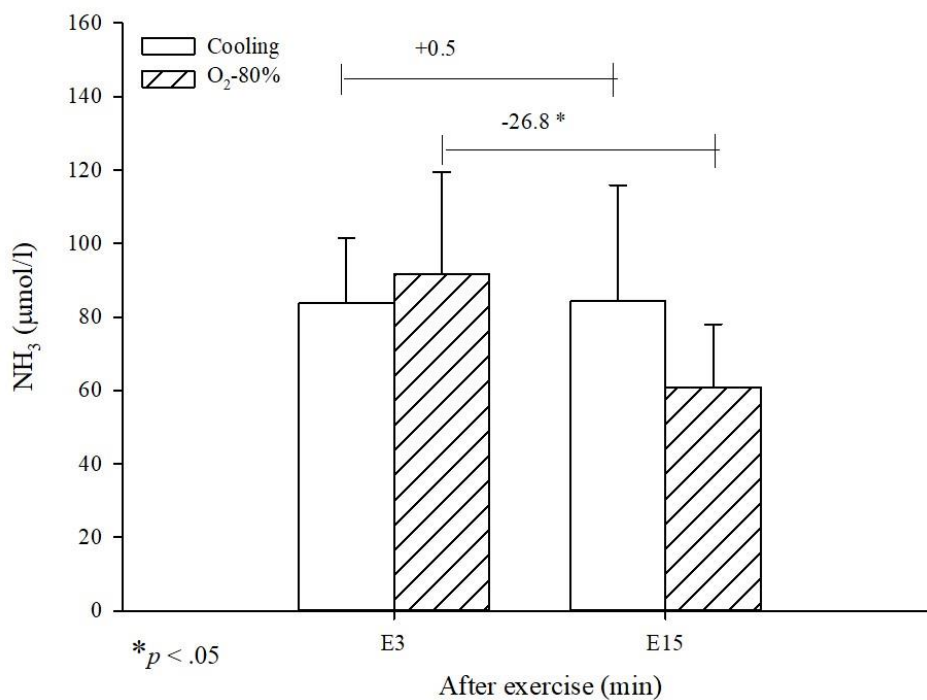


圖 4-4-1 HIIT 應用超低溫或高氧之恢復期血氨堆積濃度

第五節 基礎耐力前後測之閾值耐力速度分析

表 4-5-1 為閾值耐力前後測數值分析，有氧閾值 (2 mmol/l) 速度在超低溫應用改善 +0.4 m/s ($p>.05$)，高氧應用則 +0.1 m/s ($p>.05$)。無氧閾值 (4 mmol/l) 在超低溫應用則未呈現改變現象，高氧應用則改善 +0.1 m/s。

過去應用 HIIT 改善閾值耐力速度，週期最短為三天。蕭婉柔 (2015) 研究發現連續三天跑步機 HIIT，有氧閾值改善 +0.4 m/s，但是無氧閾值出現退化，差異為-0.4 m/s；吳杰茗等人 (2015) 亦發現三天跑步機 HIIT，有氧閾值改善 +0.7 ms/，但無氧閾值速度無變化。本研究僅用單次 HIIT 配合恢復應用，有氧閾值速度在兩種恢復應用皆有改善 ($p>.05$)，無氧閾值在高氧應用呈現進步 ($p>.05$)，考量單次 HIIT 的疲勞累積較三天 HIIT 較低，本研究並未出現如蕭婉柔 (2015) 研究結果中的無氧閾值退化情況。表 4-5-2 為本研究結果分析總表。

表 4-5-1: 超低溫與高氧應用對 2-4mmol/l 閾值心跳率與速度之影響

Application	Threshold		Pre-test	Post-test	Diff.
Cooling	2 mmol/l	m/s	2.2±1.3	2.6±0.8	+0.4
		HR	134±23	147±15	+13
	4 mmol/l	m/s	3.5±0.7	3.5±0.6	-
		HR	175±8	177±9	+2
O ₂ (80%)	2 mmol/l	m/s	2.3±1.3	2.4±1.1	+0.1
		HR	132±26	134±16	+2
	4 mmol/l	m/s	3.4±0.9	3.5±0.5	+0.1
		HR	170±12	168±7	-2

表 4-5-2 結果分析總表

	血乳酸 (La)	心跳 (HR)	血氨 (NH ₃)	無氧閾值 (4 mmol/l)	有氧閾值 (2 mmol/l)
有氧-無氧閾值 前後測 (超低溫)	高速↑ 低速↓	—		—	↑ (0.4 m/s)
有氧-無氧閾值 前後測 (高氧)	高速↑ 低速↓	↓		↑ (0.1 m/s)	↑ (0.1 m/s)
HIIT 恢復期 生理參數恢復 (高氧 vs 超低溫)	高氧	高氧	高氧		

第伍章 結論與建議

結果分析發現單次 HIIT 恢復期應用超低溫或高氧，階梯式負荷後測的低速部分呈現較低的乳酸和心跳，乳酸在高速部分呈現較高，但心跳並未呈現同步上升現象。

HIIT 負荷後應用超低溫的後測發現提升有氧閾值 (2 mmol/l) 耐力較多，但是對無氧閾值耐力則未呈現明顯改變。高氧應用對有氧-無氧閾值速度皆呈現改善反應，但是未達顯著。

HIIT 的恢復期結果發現，使用方式以及生理機制的差異，會讓高氧在初期呈現較好的乳酸和心跳下降，但到了恢復期第 15 分鐘，兩者的差異不大。但是，恢復期血液 NH_3 排除，高氧應用下降則顯著高於超低溫方式。

因此，建議在單次高強度負荷應用超低溫，可以改變肌肉能量路徑較大。如果僅針對恢復期生理參數平衡考量，建議使用高氧，可以加快排除血液 NH_3 。

參考文獻

- 王昱中、張嘉澤、黃俊霖 (2017). 高濃度氧氣與超低溫應用在急性 HIIT 負荷對肌肉疲勞之影響。運動教練協會春季學術研討會。國立台灣體育運動大學。
- 李婉禎 (2014). 一週常氧與低氧訓練對跆拳道基礎耐力與專項、比賽恢復能力之影響。
- 吳杰茗, 蕭敬衡, &張嘉澤. (2015). 短期跑步機 HIIT 對田徑選手有氧閾值能力、乳酸排除率以及心跳率之效果。國際教練科學研討會。
- 林佳皇. (2006). 腳踏車運動對高中甲組籃球運動員心率變異度之效應 (Doctoral dissertation, 撰者)。
- 林順萍, 黃國禎, 陳俊忠, & 郭博昭. (2006). 太極拳運動對心臟血管機能之影響. 中華技術學院學報, (34), 389-397.
- 張育綺. (2014). 兩次低氧高強度間歇負荷對恢復速度與有氧閾值耐力之效果。
- 黃麟棋, 王錠堯, & 張嘉澤. (2008). 高濃度氧氣對高強度間歇運動負荷之血乳酸, 心跳率與 RPE 之影響. 運動教練科學, (11), 13-22.
- 張嘉澤. (2010). 運動能力診斷與訓練調整: 臺灣運動能力診斷協會。
- 蕭婉柔. (2015). 急性短期不同高強度間歇訓練負荷型態對無氧能量路徑及心率變異度之效果。
- Achten, J., & Jeukendrup, A. E. (2003). Heart rate monitoring. Sports medicine, 33(7), 517-538.
- Allen, S. I., & Conn, H. O. (1960). Observations on the effect of exercise on blood

- ammonia concentration in man. *The Yale journal of biology and medicine*, 33(2), 133.
- Atherton, P. J., Babraj, J., Smith, K., Singh, J., Rennie, M. J., & Wackerhage, H. (2005). Selective activation of AMPK-PGC-1 α or PKB-TSC2-mTOR signaling can explain specific adaptive responses to endurance or resistance training-like electrical muscle stimulation. *The FASEB journal*, 19(7), 786-788.
- Bond, B., Cockcroft, E. J., Williams, C. A., Harris, S., Gates, P. E., Jackman, S. R., ... & Barker, A. R. (2015). Two weeks of high-intensity interval training improves novel but not traditional cardiovascular disease risk factors in adolescents. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 309(6), H1039-H1047.
- Boron, W. F., & Boulpaep, E. L. (2012). *Medical physiology*, 2e updated edition: with Student consult online access. Elsevier Health Sciences.
- Buono, M. J., Clancy, T. R., & Cook, J. R. (1984). Blood lactate and ammonium ion accumulation during graded exercise in humans. *Journal of applied physiology*, 57(1), 135-139.
- Burgomaster, K. A., Howarth, K. R., Phillips, S. M., Rakobowchuk, M., MacDonald, M. J., McGee, S. L., & Gibala, M. J. (2008). Similar metabolic adaptations during exercise after low volume sprint interval and traditional endurance training in humans. *The Journal of physiology*, 586(1), 151-160.
- Carter, J. B., Banister, E. W., & Blaber, A. P. (2003). Effect of endurance exercise on autonomic control of heart rate. *Sports medicine*, 33(1), 33-46.
- Cole, C. R., Blackstone, E. H., Pashkow, F. J., Snader, C. E., & Lauer, M. S. (1999).

- Heart-rate recovery immediately after exercise as a predictor of mortality. *New England journal of medicine*, 341(18), 1351-1357.
- Davis, J. M., & Bailey, S. P. (1997). Possible mechanisms of central nervous system fatigue during exercise. *Medicine and science in sports and exercise*, 29(1), 45-57.
- Ferreira-Junior, J. B., Vieira, C. A., Soares, S. R., Guedes, R., Junior, V. R., Simoes, H. G., ... & Bottaro, M. (2014). Effects of a Single Whole Body Cryotherapy (–110 C) Bout on Neuromuscular Performance of the Elbow Flexors during Isokinetic Exercise. *Int J Sports Med*, 35(14), 1179-1183.
- Gibala, M. J., & McGee, S. L. (2008). Metabolic adaptations to short-term high-intensity interval training: a little pain for a lot of gain? *Exercise and sport sciences reviews*, 36(2), 58-63.
- Gillen, J. B., & Gibala, M. J. (2013). Is high-intensity interval training a time-efficient exercise strategy to improve health and fitness?. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 39(3), 409-412.
- Green, H. J., & Fraser, I. G. (1988). Differential effects of exercise intensity on serum uric acid concentration. *Medicine and science in sports and exercise*, 20(1), 55-59.
- Haseler, L. J., Hogan, M. C., & Richardson, R. S. (1999). Skeletal muscle phosphocreatine recovery in exercise-trained humans is dependent on O₂ availability. *Journal of Applied Physiology*, 86(6), 2013-2018.
- Hollmann, W., & Liesen, H. (1973). Über die Bewertbarkeit des Lactats in der

- Leistungsdiagnostik. *Sportarzt sportmed*, 8, 175.
- Houssière, A., Najem, B., Cuylits, N., Cuypers, S., Naeije, R., & Van De Borne, P. (2006). Hyperoxia enhances metaboreflex sensitivity during static exercise in humans. *American Journal of Physiology-Heart and Circulatory Physiology*, 291(1), H210-H215.
- Howatson, G., Gaze, D., & Van Someren, K. A. (2005). The efficacy of ice massage in the treatment of exercise-induced muscle damage. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 15(6), 416-422.
- Ishida, R., & Okada, M. (1997). Spectrum analysis of heart rate variability for the assessment of training effects. *Rinsho byori. The Japanese journal of clinical pathology*, 45(7), 685-688.
- Joch, W., & Ückert, S. (2004). Auswirkungen der Ganzkörperkälte von -110 Celsius auf die Herzfrequenz bei Ausdauerbelastungen und in Ruhe. *Physikalische Medizin, Rehabilitationsmedizin, Kurortmedizin*, 14(03), 146-150.
- Joch, W., & Ückert, S. (2005). Precooling als Mittel der Leistungssteuerung in Training und Wettkampf. *BISp-Jahrbuch–Forschungsförderung*, 6, 209-216.
- Kaijser, L. (1969). Limiting factors for aerobic muscle performance. The influence of varying oxygen pressure and temperature. *Acta physiologica Scandinavica. Supplementum*, 346, 1-96.
- Kenney, W. L., Wilmore, J., & Costill, D. (2015). *Physiology of sport and exercise* 6th edition. Human kinetics.

- Kleiger, R. E., Miller, J. P., Bigger Jr, J. T., & Moss, A. J. (1987). Decreased heart rate variability and its association with increased mortality after acute myocardial infarction. *The American journal of cardiology*, 59(4), 256-262.
- Klimek, A. T., Lubkowska, A., Szyguła, Z., Frączek, B., & Chudecka, M. (2011). The influence of single whole body cryostimulation treatment on the dynamics and the level of maximal anaerobic power. *Int J Occup Med Environ Health*, 24(2), 184-191.
- Krüger, M., de Marees, M., Dittmar, K. H., Sperlich, B., & Mester, J. (2015). Whole-body cryotherapy's enhancement of acute recovery of running performance in well-trained athletes. *International journal of sports physiology and performance*, 10(5), 605-612.
- Laursen, P. B., Blanchard, M. A., & Jenkins, D. G. (2002). Acute high-intensity interval training improves Tvent and peak power output in highly trained males. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 27(4), 336-348.
- Liesen, H. (1983). Training konditioneller Fähigkeiten in der Vorbereitungsperiode. *Entrenamiento de capacidades condicionales en el período de preparación para el entrenamiento en fútbol*). *Fußballtraining*, 1(3), 11-14.
- Little, J. P., Safdar, A., Wilkin, G. P., Tarnopolsky, M. A., & Gibala, M. J. (2010). A practical model of low-volume high-intensity interval training induces mitochondrial biogenesis in human skeletal muscle: potential mechanisms. *The Journal of physiology*, 588(6), 1011-1022.

- Lowenstein, J. M. (1972). Ammonia production in muscle and other tissues: the purine nucleotide cycle. *Physiological Reviews*, 52(2), 382-414.
- Mader, A., Liesen, H., Heck, H., Philippi, H., Rost, R., Schürch, P., & Hollmann, W. (1976). Zur beurteilung der sportartspezifischen ausdauerleistungsfähigkeit im labor. *Sportarzt sportmed*, 27(80), 199.
- Mourot, L., Bouhaddi, M., Perrey, S., Cappelle, S., Henriët, M. T., Wolf, J. P., ... & Regnard, J. (2004). Decrease in heart rate variability with overtraining: assessment by the Poincaré plot analysis. *Clinical physiology and functional imaging*, 24(1), 10-18.
- Nevill, M. E., Holmyard, D. J., Hall, G. M., Allsop, P., Van Oosterhout, A., Burrin, J. M., & Nevill, A. M. (1996). Growth hormone responses to treadmill sprinting in sprint-and endurance-trained athletes. *European journal of applied physiology and occupational physiology*, 72(5-6), 460-467.
- Neumann, G., & Berbalk, A. (1991). Umstellung und Anpassung des Organismus—grundlegende Voraussetzung der sportlichen Leistungsfähigkeit. *Leistungssport*, 21, 29-31.
- Nummela, A., Härmäläinen, I., & Rusko, H. (2002). Effect of hyperoxia on metabolic responses and recovery in intermittent exercise. *Scandinavian journal of medicine & science in sports*, 12(5), 309-315.
- Pansold, B., Roth, W., Zinner, J., Hasart, E., & Gabriel, B. (1982). Die Laktat-Leistungs-Kurve—ein Grundprinzip sportmedizinischer Leistungsdiagnostik. *Med u Sport*, 22(4), 107-112.

- Peeling, P., & Andersson, R. (2011). Effect of hyperoxia during the rest periods of interval training on perceptual recovery and oxygen re-saturation time. *Journal of sports sciences*, 29(2), 147-150.
- Perry, C. G., Talanian, J. L., Heigenhauser, G. J., & Spriet, L. L. (2007). The effects of training in hyperoxia vs. normoxia on skeletal muscle enzyme activities and exercise performance. *Journal of Applied Physiology*, 102(3), 1022-1027.
- Petersen, B. A. (2015). *Alternative Methods of Resistance and High-intensity Interval Training: Effects on Musculoskeletal and Physiological Health and Fitness*. The Pennsylvania State University.
- Pournot, H., Bieuzen, F., Louis, J., Fillard, J. R., Barbiche, E., & Hausswirth, C. (2011). Time-course of changes in inflammatory response after whole-body cryotherapy multi exposures following severe exercise. *PloS one*, 6(7), e22748.
- Pritchard, K. A., & Saliba, S. A. (2014). Should athletes return to activity after cryotherapy?. *Journal of athletic training*, 49(1), 95-96.
- Puig, J., Freitas, J., Carvalho, M. J., Puga, N., Ramos, J., Fernandes, P., & Costa, O. (1993). Spectral analysis of heart rate variability in athletes. *The Journal of sports medicine and physical fitness*, 33(1), 44-48.
- Rodas, G., Ventura, J. L., Cadefau, J. A., Cussó, R., & Parra, J. (2000). A short training programme for the rapid improvement of both aerobic and anaerobic metabolism. *European journal of applied physiology*, 82(5-6), 480-486.
- Rutkove, S. B. (2001). Effects of temperature on neuromuscular

- electrophysiology. *Muscle & nerve*, 24(7), 867-882.
- Sanchez, E. J. (2013). Comparing aerobic adaptations with a running based high intensity interval training (HIIT) and a continuous endurance training (CET) protocol in relatively healthy adults.
- Selfe, J., Alexander, J., Costello, J. T., May, K., Garratt, N., Atkins, S., ... & Coley, A. (2014). The effect of three different (-135° C) whole body cryotherapy exposure durations on elite rugby league players. *PLoS One*, 9(1), e86420.
- Schaun, G. Z., & Del Vecchio, F. B. (2018). High-Intensity Interval Exercises' Acute Impact on Heart Rate Variability: Comparison Between Whole-Body and Cycle Ergometer Protocols. *The Journal of Strength & Conditioning Research*, 32(1), 223-229.
- Shirayev, T., & Barclay, G. (2012). Evidence based exercise: Clinical benefits of high intensity interval training. *Australian family physician*, 41(12), 960.
- Sperlich, B., Zinner, C., Heilemann, I., Kjendlie, P. L., Holmberg, H. C., & Mester, J. (2010). High-intensity interval training improves VO₂peak, maximal lactate accumulation, time trial and competition performance in 9–11-year-old swimmers. *European journal of applied physiology*, 110(5), 1029-1036.
- Stellingwerff, T., LeBlanc, P. J., Hollidge, M. G., Heigenhauser, G. J., & Spriet, L. L. (2006). Hyperoxia decreases muscle glycogenolysis, lactate production, and lactate efflux during steady-state exercise. *American Journal of Physiology-Endocrinology and Metabolism*, 290(6), E1180-E1190.

- Talanian, J. L., Galloway, S. D., Heigenhauser, G. J., Bonen, A., & Spriet, L. L. (2007). Two weeks of high-intensity aerobic interval training increases the capacity for fat oxidation during exercise in women. *Journal of applied physiology*, 102(4), 1439-1447.
- Tesch, P., Sjödín, B., Thorstensson, A., & Karlsson, J. (1978). Muscle fatigue and its relation to lactate accumulation and LDH activity in man. *Acta Physiologica Scandinavica*, 103(4), 413-420.
- Tucker, R., Kayser, B., Rae, E., Rauch, L., Bosch, A., & Noakes, T. (2007). Hyperoxia improves 20 km cycling time trial performance by increasing muscle activation levels while perceived exertion stays the same. *European journal of applied physiology*, 101(6), 771-781.
- Uckert, S., & Joch, W. (2005). Effects of precooling on thermoregulation and endurance exercise. *New Studies in Athletics*, 20(4), 33.
- Urhausen, A., & Kindermann, W. (1992). Biochemical Monitoring of Training. *Clinical Journal of Sport Medicine*, 2(1), 52-61.
- van Wenum, M., Adam, A. A., van der Mark, V. A., Chang, J. C., Wildenberg, M. E., Hendriks, E. J., ... & Chamuleau, R. A. (2018). Oxygen drives hepatocyte differentiation and phenotype stability in liver cell lines. *Journal of cell communication and signaling*, 1-14.
- Weicker, H. (1988). Purinnukleotidzyklus und muskuläre Ammoniakproduktion. *Dtsch Z Sportmed*, 39(5), 172-188.
- Weicker, H., & Strobel, G. (1994). Sportmedizin: biochemisch-physiologische Grundlagen und ihre sportartspezifische Bedeutung; 27 Tabellen: Fischer.
- Whyte L.J., Gill J. M.R., Cathcart A.J.(2010) Effect of 2 weeks of sprint interval

training on health-related outcomes in sedentary overweight/obese men.

Metabolism Clinical and Experimental 59, 1421-1428

Wozniak, A., Wozniak, B., Drewa, G., & Mila-Kierzenkowska, C. (2007). The effect of whole-body cryostimulation on the prooxidant–antioxidant balance in blood of elite kayakers after training. *European Journal of Applied Physiology*, 101(5), 533-537.

