

高強度間歇訓練對一般健康成人、中老年者、過重與肥胖者以及第 2 型糖尿病

患者的應用方法：敘述性綜論

余亮穎¹、李佳倫^{1*}、張乃仁²

¹ 國立中山大學運動與健康教育中心

² 高雄醫學大學運動醫學系

摘要

近年來許多研究發現，高強度間歇訓練 (high-intensity interval training) 被廣泛運用在運動員訓練或者一般大眾的健康促進上，透過短時間的運動能達到類似或甚至更優於長時間連續中等強度有氧運動的訓練效果，這一項具時間經濟效益的運動方法，不論在運動表現或改善健康方面都有明顯的效益。本文以論述方式彙整相關文獻來呈現高強度間歇訓練在不同族群的應用，細分為一般健康成人、過重與肥胖者、中老年人及第 2 型糖尿病患者。本研究方法於 Google 學術搜尋、華藝線上圖書館、PubMed (MEDLINE) 及 Web of Science 選查近 6 年至 2021 年 1 月的國內外相關研究文獻進行比較分析。本文獻回顧分析結果揭示，一般健康成人、過重與肥胖族群、中老年人以及第 2 型糖尿病患者，在接受高強度間歇訓練後皆能有效改善心肺能力、身體組成、血糖、血脂代謝及心血管危險因子。儘管如此，在設計高強度間歇訓練的運動處方時，仍必須針對不同族群加以考量適合的運動強度與時間，才能達到高強度間歇訓練帶來的健康效益。

關鍵詞：間歇運動訓練、激烈運動、運動強度、健康促進、特殊族群

壹、前言

隨著社會及生活型態的改變，坐式生活者的人口數逐漸增加，坐式生活行為會增加成年人心血管疾病的風險進而提高死亡率 (Warren et al., 2010)，相反地，若降低久坐的生活型態，可顯著降低腰圍、臀圍及相關的代謝症候群 (metabolic syndrome) 危險因子 (Healy et al., 2008)。過去許多研究發現，增加身體活動能降低癌症的發生率 (Orsini, Mantzoros, & Wolk, 2008; Parent et al., 2011) 以及降低第 2 型糖尿病風險 (Hu et al., 2001)。近年來大眾對健康促進的意識逐漸抬頭，國內的運動風氣也有逐年提升的趨勢，不過教育部體育署調查歷年規律

*通訊作者: 李佳倫 Email: karenlee1129@gmail.com

地址: 80424 高雄市鼓山區蓮海路 70 號

運動人口比例只有 33.6%，13 歲以上的運動人口只佔 1/3 (教育部體育署，2020)，如此仍必須努力推廣運動有益健康的價值。另一方面，我國長照十年計畫 2.0 政策逐漸全面落實，主要乃因應臺灣已邁入高齡化社會以及長期需要特別照顧者所擬定之計畫，2019 年國人平均壽命 80.9 歲，其中女性 84.2 歲，男性 77.7 歲，自 2009 年起迄今國人的平均壽命逐年增加，但是令人憂心的是國人不健康的生存壽命達 8.4 年 (內政部統計處，2020)，在面臨長壽風險及少子化趨勢衝擊下，如何提昇中老年者享有健康的中晚年生活，除了健康飲食之外，學習運動增強體力是最理想的照顧自我方式。也因此，若因運動空間或時間不足而降低運動參與進而危害健康則顯得不明智，那麼不受限於場地因素，既可縮短單次運動時間又能兼顧良好運動效益的方式，高強度間歇訓練 (high-intensity interval training, HIIT) 是可思考的方向 (Burgomaster et al., 2008; Gibala, 2007; Gibala & McGee, 2008)。對於特殊族群，例如過重與肥胖者、第 2 型糖尿病患者、高血壓患者、近期接受心臟手術、長時間坐式生活且缺乏運動者等，美國運動醫學會 (American College of Sports Medicine, ACSM) 建議這些族群從事每週 3 – 5 天，每次 20 – 40 分鐘有氧運動，持續 12 週能讓肌肉產生適應並且改善氧氣運送至骨骼肌的能力，建立身體能力與肌肉力量的基礎，才能降低運動傷害 (Donnelly et al., 2009)。提供給健康體適能專家針對特殊族群開立運動處方的建議，Liguori、Dwyer、Fitts 與 Lewis (2014) 也明確指出運動強度可為 50% – 80% 保留心跳率 (heart rate reserve) 或 6 – 20 運動自覺量表 (rating of perceived exertion) 介於 12 – 16，運動頻率每週 3 – 7 天，運動時間每次 20 – 60 分鐘，每週應以中等運動強度達 150 分鐘或 90 分鐘的激烈有氧運動。ACSM (Garber et al., 2011) 提供給健康成年人建議的運動準則及處方，提到每週應有 5 天完成 30 分鐘的中等強度運動或是總時間達 150 分鐘的中等強度運動，也可選擇每天 20 分鐘至少 3 天的激烈運動或是達到每週總時間 75 分鐘的高強度有氧運動。從上述 ACSM 提供的運動處方之建議，特殊族群比一般健康成年人的運動頻率更多且運動時間更長一些。不過傳統有氧運動的時間較長容易造成運動依附性較差且最後停止運動，因此發展適合現代人具備時間經濟效益又能最大化健康效益的運動模式逐漸受到重視。

近幾年隨著節省運動時間的觀念及提高效率的訓練策略興起，高強度間歇訓練也開始蓬勃發展，HIIT 不僅能夠縮短運動時間還能保有足夠的運動強度來達到有效的生理刺激，儘管過去許多研究已經證實，中強度連續有氧運動對生理指標及疾病的改善具有正面影響，但缺乏時間運動成為大多數人無法持續參與規律身體活動常見的阻礙 (Godin et al., 1994; Reichert, Barros, Domingues, & Hallal, 2007)，通常在相同能量消耗的情形下，中強度持續性運動 (moderate intensity continuous exercise, MICT) 的時間比高強度間歇運動多 15-20% (Kessler, Sisson, & Short, 2012)，而高強度間歇訓練不論對於年輕人或老年人除了能夠增加有氧運動能力，對於肌肉代謝功能 (Burgomaster, Hughes, Heigenhauser, Bradwell, & Gibala, 2005)、血管內皮功能 (Tjønnå et al., 2008)、心血管代謝風險因子 (Kemmler, Scharf, Lell, Petrasek, & Von Stengel, 2014)、慢性心臟疾病及慢性阻塞性肺病 (Nasis et al., 2015) 也都具有改善的效果。Gibala 與 McGee (2008) 指出與控制組比較，短期 2 週且每週 3 次的 HIIT 明顯提昇人體骨骼

肌中的細胞色素氧化酶 C (cytochrome c oxidase, COX) 和檸檬酸合成酶 (citrate synthase) 活性，這兩種酶的活性提升代表肌肉氧化能力增強。Little、Safdar、Wilkin、Tarnopolsky 與 Gibala (2010) 也驗證了 2 週 HIIT 訓練後，增加過氧化體增生劑活化受體 γ 輔啟動因子 (peroxisome proliferator-activated receptor- γ coactivator 1 alpha, PGC-1 α) 的細胞核含量 (nuclear abundance) 約 25%，以及促進 PGC-1 α 生成的活化劑 — 靜止基因傳遞調節者 (silent information regulator T1, SIRT1) 增加約 56%。SIRT1 常被稱為 NAD-依賴性去乙酰化酶，在人體骨骼肌的研究中發現與攝取能量限制和運動的機制有關，與 PGC-1 α mRNA 表現同樣可影響粒線體的功能 (Civitaresse et al., 2007)。在各種細胞型態表現上最關鍵的氧化酵素調節者，是 PGC-1 α ，傳統的訓練是採用高量訓練 (high-volume training)，本文聚焦討論的是高強度訓練 (high-intensity training)，高量訓練可能透過 adenosine monophosphate kinase (AMPK) 改變 PGC-1 α ，高強度訓練可能藉由 calcium-calmodulin kinase (CaMK) 訊號路徑影響 PGC-1 α ，而 PGC-1 α 扮演主要開關 (master switch) 的角色，PGC-1 α 下調節的功能不僅能改善第 I 型態肌肉表現型態的發展，也提高粒線體生成 (mitochondrial biogenesis)，增加脂肪氧化能力 (fat oxidative capacity)，提昇肝醣 (glycogen) 和葡萄糖轉運蛋白 4 (glucose transporter 4) 含量 (Laursen, 2010)。雖然傳統的高量訓練與高強度訓練的結果所調節肌肉功能的結果一致，但路徑不同且高強度訓練因訓練時間短且高強度運動時每次衝刺後有休息時間因而縮減了整體的運動時間且提昇運動效率。

依照 ACSM 所頒布的運動 FITT 包括運動頻率 (frequency)、運動強度 (intensity)、類型 (type) 及時間 (time)，良好的運動處方除了包含以上條件有效控制運動強度方可達到訓練效果外，也要考量到性別、年齡或身體狀態等不同的因素做調整。因此選擇 HIIT 這類運動總時間較短的高強度間歇訓練，不僅可以達到健康效益，可能也能讓民眾更有意願參與 HIIT 並維持運動的習慣，再加上 HIIT 的運動類型除了以跑步或腳踏車等工具進行之外，也可以利用自身體重負荷的徒手訓練方式操作，可在有限的空間下運動，解決了缺乏運動場地、器材或氣候不佳無法外出運動等限制性因素，如此可讓更多人接受並參與 HIIT。2021 年 ACSM 公布世界體適能流行趨勢分析報告記載 HIIT 排名第五 (Thompson, 2021)，迄今已連續七年蟬聯前 5 名並列為熱門項目，可見廣受大眾喜愛之程度，雖然受到 COVID-19 疫情影響使得線上訓練 (online training) 或稱為虛擬線上訓練 (virtual online training) 躍升至 2021 年第一名，但仍不減 HIIT 的流行熱門度，如表 1。因此，為了能夠瞭解近六年 HIIT 的研究發展，本文以系統性文獻回顧的綜評方式，闡述與提供健康成人、中老年者、過重與肥胖者以及第 2 型糖尿病患者應用高強度間歇訓練的方法及策略。

表 1、2017 – 2021 年世界體適能流行趨勢調查結果前十名

	2017	2018	2019	2020	2021
1	可穿戴技術 (wearable technology)	高強度間歇訓練	可穿戴技術	可穿戴技術	線上訓練 (online training)
2	體重訓練 (body weight training)	團體訓練	團體訓練	高強度間歇訓練	可穿戴技術
3	高強度間歇訓練 (high-intensity interval training)	可穿戴技術	高強度間歇訓練	團體訓練	體重訓練
4	教育、證照和專業 體適能訓練 (educated, certified, and experienced fitness professionals)	體重訓練	高齡者的體適能課程	自由重量訓練 (training with free weights)	戶外活動 (outdoor activities)
5	肌力訓練 (strength training)	肌力訓練	體重訓練	私人訓練	高強度間歇訓練
6	團體訓練 (group training)	教育、證照和專業 體適能訓練	聘用持證照之體適 能專業人員 (employing certified fitness professionals)	運動即是良藥	虛擬訓練 (virtual training)
7	運動即是良藥 (Exercise is Medicine)	瑜珈	瑜珈	體重訓練	運動即是良藥
8	瑜珈 (yoga)	私人訓練	私人訓練	高齡者的體適能課程	自由重量之肌力訓練 (strength training with free weights)
9	私人訓練 (personal training)	高齡者的體適能課程 (fitness programs for older adults)	功能性體適能	健康/全人教練	高齡者的體適能課程
10	運動和減重 (exercise and weight loss)	功能性體適能 (functional fitness)	運動即是良藥	聘用持證照之體適 能專業人員	私人訓練

貳、高強度間歇訓練對一般健康成人與特殊族群的應用

一、一般健康成年人

高強度間歇訓練是一項透過重覆高強度運動並穿插短時間休息的低量運動，雖然運動時間縮短，但運動強度高同樣能帶來健康促進的效益並解決沒時間運動的問題 (Gibala, Little, Macdonald, & Hawley, 2012)。Schaun、Pinto、Silva、Dolinski 與 Alberton (2018) 研究 55 名年齡 23.7 ± 0.7 歲的健康成年男性，隨機分配至三組訓練模式：高強度間歇訓練 (HIIT 組)、體重負重的高強度間歇訓練 (whole-body high-intensity interval training, WB-HIIT) 和中強度連續訓練組 (MICT)，HIIT 組在跑步機上進行 8 次以 130% VO_{2max} 衝刺 20 秒，間歇休息 10 秒，WB-HIIT 組以健身操模式進行全力以赴的運動，MICT 組以 90%-95% HR 進行 30 分鐘跑步，持續 16 週每週 3 天，結果顯示 HIIT 組、HIIT-WB 組及 MICT 組訓練後最大攝氧量 (maximal oxygen consumption, VO_{2max}) 分別上升 6.3%、12.8% 及 3.9%，三組在經過訓練後皆有提升最大攝氧量，但相對於 MICT，HIIT 和 HIIT-WB 的運動模式可以節省更多時間並且提升最大攝

氧量。一項研究招募 44 名健康成年男性，隨機分配至 HIIT 組與 MICT。HIIT 組以 90 – 95% 最大心跳率 (maximal heart rate, HR_{max}) 進行 15 次 30 秒的跑步機衝刺訓練，間歇恢復以 50 – 55% 最大心跳率休息 60 秒；MICT 組以 65 – 75% 最大心跳率進行 40 分鐘連續跑步運動，總共 8 週且每週 3 天訓練，研究結果顯示訓練後 HIIT 組提升 8.9% 的最大攝氧量，MICT 組提升了 8.1%，而 HIIT 組所需運動的時間不到 MICT 組的一半，同樣說明了 HIIT 是一項有效率提升最大攝氧量的運動 (Arboleda-Serna, Feito, Patiño-Villada, Vargas-Romero, & Arango-Vélez, 2019)。

另一篇以 18-35 歲健康男性比較 5 週 HIIT 組和 MICT 組在生理代謝指標上的差異，HIIT 組以 100% VO_{2max} 進行 1 分鐘衝刺和 1 分鐘休息，完成總距離 5 公里的間歇訓練；MICT 組以 70% VO_{2max} 進行連續跑五公里的運動模式，兩種運動模式於訓練後測立即檢測總膽固醇、三酸甘油酯及高密度脂蛋白膽固醇發現濃度皆上升，但在非運動之空腹情況下 HIIT 組的高密度脂蛋白膽固醇含量與訓練前相比增加近 3%，與 MICT 組相比趨近顯著水準 ($p = .09$)。推測相關原因，可能與受試者條件為健康者且無生理代謝疾病方面的問題或是運動的能量消耗太低不足以影響血脂，該文作者建議後續研究可長期觀察並調整運動的強度來評估血脂的變化 (Lira et al., 2019)。一篇比較 15 名年齡 25.6 ± 2.6 歲成年人 (11 位女性，4 位男性) 以不同模式進行高強度間歇訓練 (跑步 vs. 功能性) 對最大攝氧量及肌耐力的影響，兩組都以全力以赴的方式進行 8×20 秒衝刺，間歇休息 10 秒，組間休息 5 分鐘的方式，共 3–4 組為期 4 週的短期訓練，每周進行 3 天，研究結果顯示以跑步進行的高強度間歇訓練 (HIIT-R) 模式與功能性為訴求的高強度間歇訓練 (HIIT-F) 模式，其最大攝氧量皆分別提升了 13.1% 與 9.8%，肌耐力部分 HIIT-R 組在舉腳觸槓 (toes-to-bar) 表現提升 28.5%，HIIT-F 則是在波比 (burpees) 表現提升 32.1%，可以得知不論是跑步或功能性高強度間歇訓練，皆可提升最大攝氧量以及肌耐力 (Menz et al., 2019)。以偶爾參與休閒活動的 38 名男性分組為長時間踏車衝刺 (85% – 90% VO_{2max} 進行 8 次 60 秒衝刺且間歇休息 120 秒)、短時間踏車衝刺 (85% – 90% VO_{2max} 進行 48 次 10 秒衝刺且間歇休息 20 秒) 以及控制組訓練 4 周每週 3 次，結果顯示 4 週訓練後長時間與短時間踏車衝刺皆能有效改善有氧能力與降低皮下脂肪率，但長時間踏車衝刺對無氧能力的進步效果較為明顯 (Lee, Hsu, & Cheng, 2017)。

由上述文獻整理得知，高強度間歇訓練應用在一般健康成年人的運動模式包括跑步、腳踏車或徒手訓練，以 90% – 95% 最大心跳率或全力以赴 10 – 60 秒衝刺的方式控制運動強度，多數研究中設定的運動持續時間為 30 秒 – 4 分鐘 (Wen et al., 2019；胡翔越、李育豪、陳弘洲、劉燦宏，2019)，訓練週期為 4 週至 16 週不等，每週訓練 3 天，運動休息比介於 1:0.5 – 1:2，單次運動共 3 – 8 組循環的方式進行，不論是以徒手全身式、跑步或腳踏車所完成的高強度間歇運動模式，透過短期 (< 12 週) 或長期 (≥ 12 週) HIIT 刺激皆能有效提升心肺能力，增強最大攝氧量是評估心肺功能及預測心血管疾病死亡率的重要指標之一，與中強度連續訓練的運動模式相比，高強度間歇訓練更能有效提高最大攝氧量 (Serna, Vélez, Arias, & Feito, 2016)，因此可作為預測心血管疾病死亡率的參考。除此之外，對於一般健康成年人本身無代

謝疾病者，透過 HIIT 訓練也能夠提升高密度脂蛋白膽固醇濃度、降低體脂肪以及可能降低動脈粥狀硬化指數，但短期的 HIIT 可能無法明顯改變總膽固醇濃度，建議可以延長 HIIT 訓練的總週數並持續觀察血脂的變化，以了解高強度間歇訓練在一般健康成年人的其他生理效果。彙整上述一般健康成年人之高強度間歇訓練如表 2。

表 2、一般健康成年人之高強度間歇訓練內容

作者	受試者特性			運動 頻率 (次/ 週)	運動 強度	運動 類型	訓練 時間 (分/次)	週時間 (分/週)	訓練方式				
	年齡	男/女	$\dot{V}O_{2\max/\text{peak}}$						重複次數× 持續時間	恢復 時間	熱身/緩 和(分)		
			前測 ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)									進步率	期程 (週)
Schaun, Pinto 等人 (2018)	23.7 ± 0.7	55/0	HIIT-T: 36.33 ± 3.48	6.3%	16	跑步機	130% VO _{2max}	3	8	24	8×20-s	10-s	0
			HIIT-WB: 33.83 ± 2.83	12.8%	16	徒手	All-out	3	8	24	8×20-s	10-s	0
			MICT: 38.59 ± 6.07	3.9%	16	跑步機	90%-95% HR _{max}	3	30	90	30 min	0	0
Arboleda-Serna 等人 (2019)	29.5 (25 – 38)	36/0	HIIT: 40.4 ± 6.0	8.9%	8	跑步機	90%-95% HR _{max}	3	15	45	15×30-s	1 min	0
	23.5 (20 – 34)		MICT: 41.7 ± 9.8	8.1%	8	跑步機	65%-75% HR _{max}	3	40	120	40 min	0	0
Lira 等人 (2019)	26.9 ± 4.70	20/0	HIIT: 50.1 ± 3.08	NR	5	跑步機	100% VO _{2 peak}	3	NR	NR	1 min	1 min	5/5
	24.6 ± 3.71		MICT: 54.0 ± 4.11	NR	5	跑步機	70% VO _{2peak}	3	NR	NR	5km	0	5/5
Menz 等人 (2019)	27 ± 3	4/11	HIIT-R: 47.8 ± 5.6	13.1%	4	跑步機	All-out	3	12	36	8×20-s	10-s	0
	24 ± 2		HIIT-F: 49.5 ± 6.6	9.8%	4	徒手	All-out	3	12	36	8×20-s	10-s	0
Lee 等人 (2017)	21 ± 2	38/0	HIIT10s: 52.6 ± 9.5	15.9%	4	腳踏車	90%-95% VO _{2max}	3	24	72	48×10-s	20-s	5/3
			HIIT60s: 51.9 ± 9.2	18.3%	4	測功計		3	24	72	8×60-s	120-s	5/3

HIIT: high-intensity interval training 高強度間歇訓練. MICT: moderate-intensity continuous training 中強度連續訓練. HR_{\max} : maximal heart rate 最大心跳率. All-out: 全力以赴. NR: no reported data 未說明

二、過重與肥胖者

高強度間歇訓練也廣泛的應用在肥胖族群上，Higgins、Fedewa、Hathaway、Schmidt 與 Evans (2016) 研究 52 位 20.4 ± 1.5 歲年輕的肥胖女性 (身體質量指數 [body mass index, BMI] = $30.3 \pm 4.5 \text{ kg/m}^2$)，為期 6 週每週 3 天的 HIIT 或 MICT，HIIT 組以 3×30 秒全力衝刺在功率自行車上，恢復 4 分鐘；MICT 組以 60% – 70% 的最大心跳率連續騎乘 60 分鐘，研究結果顯示 HIIT 組訓練後的總體脂肪下降 3.6%，MICT 組下降幅度僅有 0.6%；在有氧能力方面，HIIT 組訓練後峰值攝氧量 (peak oxygen consumption, $\dot{V}O_{2\text{ peak}}$) 增加 14.1% 是 MICT 組 (增加 7.1%) 的 2 倍。Fisher 等人 (2015) 研究 28 名 20 ± 1.5 歲超重或肥胖的男性 (BMI = $29.5 \pm 3.3 \text{ kg/m}^2$) 隨機分配到 HIIT 組或 MICT 組，比較身體組成、血壓、血脂、胰島素敏感性的變化，HIIT 組訓練 6 週每週 3 天，進行 85% $\dot{V}O_{2\text{ peak}}$ 的 4×30 秒衝刺，4 分鐘恢復，每週衝刺階段功率為 $810 \pm 25 \text{ watts}$ ，休息階段 $140 \pm 20 \text{ watts}$ ；MICT 組訓練 6 週每週 5 天，以 55% – 65% $\dot{V}O_{2\text{ peak}}$ 連續騎乘 45 – 60 分鐘，運動強度控制於 $138 \pm 13 \text{ watts}$ ，研究結果發現 6 週訓練後 HIIT 組與 MICT

組的最大攝氧量分別提昇了約 2.8%及 11.1%，兩組的胰島素敏感性獲得顯著改善，體脂肪、總膽固醇及三酸甘油脂有顯著降低，但 HIIT 組僅需要每週運動總時間 1 小時，而 MICT 組需要每週花費 5 小時才有同樣的效果，顯示高強度間歇訓練的時間經濟效益極高。在 Smith-Ryan、Trexler、Wingfield 與 Blue (2016) 的研究中，比較特別的是設計了兩組皆為高強度間歇訓練的組別並且和控制組相比較，該研究以 30 名 18-55 歲女性 ($BMI = 32.0 \pm 6.0 \text{ kg/m}^2$) 隨機分配至三組模式：(1) 10×1 分鐘衝刺 (90% VO_{2peak}) 間歇 1 分鐘恢復、(2) 5×2 分鐘衝刺 (80-100% VO_{2peak}) 間歇 1 分鐘恢復以及 (3) 控制組。訓練組以腳踏車測功儀進行 3 週每週 3 天的訓練，研究發現短期訓練後的兩組訓練組之間的最大攝氧量沒有明顯差異 ($p > .05$)，但在運動至力竭時間結果，10×1 分鐘衝刺提升了 6.6%，5×2 分鐘衝刺提升 7.5%，輸出功率也分別提升了 9.6%及 11.9%，兩組訓練後的體脂肪與控制組相比也明顯下降。雖然兩訓練組相比在訓練後最大攝氧量和體脂肪沒有明顯差異，可能與訓練的週期時間較短有關；儘管如此，仍可看出短時間高強度訓練能提升肥胖和過重女性族群的運動耐力以及降低體脂肪量。另一項研究以 46 位 (男性 16 位，女 30 位) 平均年齡 34.4 歲的成年人 (BMI 為 $33.3 \pm 2.9 \text{ kg/m}^2$) 在功率腳踏車上進行每週 3 天共 12 週的高強度間歇訓練 (HIIT，平均運動時間 20 分鐘)、短時間高強度間歇訓練 (1/2 HIIT，平均運動時間 10 分鐘) 或中等強度連續訓練 (MICT，平均運動時間 32 分鐘)。HIIT 組以最大心跳率的 85% – 90% 進行 8 秒衝刺，間歇休息 12 秒；1/2 HIIT 組運動時間只有 HIIT 組一半，運動模式相同；MICT 組以最大心跳率的 70% 連續騎乘 32 分鐘，研究結果發現 HIIT 組、1/2 HIIT 組及 MICT 組經訓練後的最大攝氧量分別顯著增加約 9%、14.9%、9.3%，體重、腰圍、臀圍、軀幹及腿部脂肪三組皆有明顯減少，但軀幹和腿部肌肉量明顯增加，該結果亦顯示 12 週的 HIIT 同樣能在身體組成及心肺能力面得到改善 (Martins et al., 2016)。

另外，在設定坡度 6% 跑步機上進行高強度間歇訓練的研究中，Wang、Yang 與 Lee (2017) 探討 25 位 35-45 歲的中年過重肥胖男性 (全身脂肪百分比平均值 = 29.1%)，在 12 週每週 3 天的高強度間歇訓練後，身體組成 (體脂肪百分比、淨體重)、代謝症候指標 (安靜血壓、血糖、高低密度脂蛋白膽固醇、總膽固醇及三酸甘油脂) 及心肺耐力指標 (最大攝氧量、無氧閾值與力竭時間) 的變化。該研究將受試者隨機分配至 uHIIT 組 (上坡跑高強度間歇訓練)，以 90% HR_{max} 衝刺 7×2 分鐘，間歇休息 1 分鐘，共進行約 20 分鐘運動，MICT 組 (水平中等強度持續訓練) 心跳率控制強度為 65 – 70% HR_{max} 連續運動約 40 分鐘與控制組三種，訓練後結果發現 uHIIT 組的最大攝氧量提升 16.4% 且顯著優於 MICT 組的 9.3%，而 uHIIT 組與 MICT 組的無氧閾值比訓練前分別進步 7.9% 與 8%，運動至力竭時間皆比訓練前進步 5.8% 與 3.1%，uHIIT 組的全身脂肪百分比、腿部脂肪百分比與臀部脂肪百分比分別減少 2.2%、2.2%、3.4%，改善效果皆優於控制組，僅有 uHIIT 組在訓練後改善血壓 (舒張壓下降 7.6%) 及血糖值 (下降 6.7%)，雖然 uHIIT 和 MICT 在訓練後無明顯改善，但無參與訓練的控制組其高密度脂蛋白膽固醇濃度顯著降低，說明透過運動刺激能避免高密度脂蛋白膽固醇的濃度下降，建議從事運動時要重視運動強度才能發揮運動的高實質效益。

表 3、過重和肥胖者之高強度間歇訓練內容

作者	受試者特性			$\dot{V}O_{2\max/\text{peak}}$ 前測 ($\text{ml}\cdot\text{kg}^{-1}\cdot\text{min}^{-1}$)	$\dot{V}O_{2\max}$ 進步率	期程 (週)	運動 類型	運動 強度	運動 頻率 (次/ 週)	訓練 時間 (分/次)	週時間 (分/週)	訓練方式		
	年齡	男/女	重複次數× 持續時間									恢復 時間	熱身/緩 和(分)	
Higgins 等人 (2016)	20.4 ± 1.5	0/52	HIIT: 29.1 ± 4.8	14.1%	6	腳踏車 測功計	All-out	3	9.5	28.5	3×30-s	4 min	0	
			MICT: 26.9 ± 4.5	7.1%	6		60%-70% HR_{\max}	3	60	180	60 min	0	0	
Fisher 等人 (2015)	20.5 ± 1.5	28/0	HIIT: 35.72 ± 6.22	2.8%	6	腳踏車 測功計	85% $\text{VO}_{2\text{peak}}$	3	18	54	4×30-s	4 min	0	
			MICT: 34.95 ± 6.46	11.1%	6		55%-65% $\text{VO}_{2\text{peak}}$	5	45-60	225-300	45-60 min	0	0	
Smith-Ryan 等人 (2016)	33.2 ± 12.8	0/30	10×1 分鐘: 23.2 ± 5.9	7.9%	3	腳踏車 測功計	90% $\text{VO}_{2\text{peak}}$	3	20	60	10×1 min	1 min	0	
	33.6 ± 11.6		5×2 分鐘: 25.0 ± 5.8	8.9%	3	腳踏車 測功計	80-100% $\text{VO}_{2\text{peak}}$	3	20	60	5×2 min	1 min	0	
Martins 等人 (2016)	34.1 ± 7.1	16/30	1/2 HIIT: 29.6±6.2	4.4±2.2	12	腳踏車 測功計	85%-90% HR_{\max}	3	20	60	×8-s	12-s	5/5	
	33.0 ± 9.9		MICT: 31.1±5.3	2.9±2.9	12	腳踏車 測功計	70% HR_{\max}	3	42	126	32 min	0	5/5	
Wang 等人 (2017)	37.6 ± 2.1	25/0	uHIIT: 43.3 ± 3.0	16.4%	12	跑步機	90% HR_{\max}	3	24	72	7×2 min	1 min	3/0	
	38.1 ± 5.4		MICT: 42.8 ± 7.1	9.3%	12	跑步機	65-70% HR_{\max}	3	43	129	40 min	0	3/0	

HIIT: high-intensity interval training 高強度間歇訓練. MICT: moderate-intensity continuous training 中強度連續訓練. HR_{\max} : maximal heart rate 最大心跳率. All-out: 全力以赴

綜合上述文獻可以發現高強度間歇訓練應用在過重與肥胖族群上，大多使用腳踏車進行。原因是腳踏車訓練相較於跑步對膝關節的壓力與可能傷害較小。雖然中強度連續運動也能夠提升最大攝氧量，但高強度間歇訓練在時間效益上明顯優於中強度連續運動，且實際運動總時間可能縮減 3 倍至 6 倍。對於過重與肥胖者的運動建議，高強度間歇訓練的時間常見為 6 – 12 週，每週訓練至少 3 次，運動強度常設定在約 85% $\text{VO}_{2\text{peak}}$ 或 85% – 90% 最大心跳率，運動時間約 30 秒至 2 分鐘，間歇休息 1 至 4 分鐘，循環次數 3 – 10 組不等。另外也發現使用腳踏車或跑步模式的訓練後以腰圍及臀圍的脂肪量改善最為明顯，可能影響原因與參與訓練的骨骼肌群多集中在下肢與軀幹有關，不過血脂濃度無明顯變化可能與受試者本身並非是血脂代謝異常的患者，又可能是因為介入 HIIT 劑量或週期不足以致於無法明顯改變血脂值，因此在血脂方面的改變未達到顯著差異。本篇回顧與 Batacan、Duncan、Dalbo、Tucker 與 Fenning (2017) 發表的一篇統合分析之結果相似，該篇文章揭示 HIIT 影響過重或肥胖受試者的血液脂質測量結果仍存在分歧，不過該文提到統合分析 65 篇研究的結果顯示 HIIT 對血液脂質的影響未見異質性 (heterogeneity)，因此過重與肥胖者如何才能達到最符合節省時間且最大化健康效益的運動休息比仍有待更多實證性研究釐清。彙整過重和肥胖者之高強度間歇訓練如表 3。

三、中老年人

高強度間歇訓練對健康中老年人而言也是一項容易操作且安全的運動，不過要注意的是受試對象若為久坐中老年人、有肥胖及慢性疾病等症狀，可能會提高受傷的風險，因此在設計高強度間歇訓練上應該要考量適合的運動強度及模式，才能有效達到健康促進的效用。Søgaard 等人 (2018) 比較 22 名平均年齡 63 歲的男、女性中老年人在腳踏車測功計進行 6 週 (每週 3 天) 的高強度間歇訓練，訓練開始進行 5×1 分鐘衝刺 (> 50 watts)，間歇恢復 1.5 分鐘 (25 watts)，每週增加一個循環，結果發現訓練後女性的最大攝氧量上升 3.5%，男性上升 7.7%，女性血液總膽固醇減少 6.8% 以及男性減少 4%，女性低密度脂蛋白膽固醇減少 6.9% 以及男性減少 7.5%，女性的內臟脂肪減少 5.7% 而男性減少 3.2%，女性以及男性脂肪量分別下降 1.3% 和 2%，該研究顯示 HIIT 訓練能改善中老年生理代謝相關指標，減少隨年齡增加而產生的心血管疾病。研究顯示平均 65 歲健康的坐式生活形態中老年人參與 8 週高強度間歇踏車訓練 (90% HR_{max} 運動強度進行 4×4 分鐘衝刺，間歇休息 3 分鐘) 比能量消耗相同的中等強度持續踏車訓練 (70% HR_{max} 運動強度進行 32 分鐘) 更能改善中老年人有氧適能、心臟功能 (例如左心室射出率[ejection fraction]) 以及胰島素阻抗的代謝指標 (Hwang et al., 2016)。Marzuca-Nassr 等人 (2020) 比較 20 位年輕成人 (平均年齡 21 歲) 與中老年人 (平均年齡 66 歲)，以 90% HR_{max} 在腳踏車上進行 10×1 分鐘衝刺，間歇休息 2 分鐘，為期 12 週每週進行 3 次高強度間歇訓練，研究結果發現兩組訓練後最大攝氧量都有提升，但中老年人在訓練後的最大攝氧量增加了 40.5% 也明顯優於年輕成人組的進步幅度，此外中老年人訓練後全身脂肪明顯下降 1.8%，腿部肌肉量增加 1.6%，腿部肌力提升 11%，血脂方面老年人的總膽固醇下降 4.2%，空腹血糖下降 4.9%，此結果不可否認的證實高強度間歇訓練同樣能幫助中老年人在肌力、最大攝氧量、身體組成及代謝指標方面獲得明顯的改善。另一篇進行 12 週合併上肢與下肢高強度間歇訓練對 36 位中老年人男性之肌力與心肺適能的研究 (Hurst, Weston, & Weston, 2019)，以雙向心液壓式阻力測功儀設計全身性的運動，讓中老年人試著以 > 90% HR_{max} 高強度運動進行訓練，每組四個動作，每個動作執行 45 秒並間歇休息 15 秒，共執行四組，組間休息 3 分鐘，該結果顯示中老年者的非慣用或慣用腿部肌力進步 9.4% – 10.5%，慣用或非慣用手部握力增加 5.9% – 6.3% 並且提昇與健康相關之生活品質 (health-related quality of life)，該文作者也表示此作法有別於傳統 HIIT 訓練，以高強度間歇訓練的概念融合阻力運動，對中老年人而言其實不需要以“全力以赴 (all-out)”的方式進行 HIIT 訓練也能夠提昇肌力與健康水準。

從攝氧動力學的研究現況來看，中老年人參與中強度以上踏車運動的生理功能性比年輕成人差，主要倚賴無氧能量系統供能的結果而提早疲勞。然而，事實上中老年人一旦接受運動訓練就能改善攝氧動力學的表現，並且其進步的幅度與未受過訓練的年輕人相似，進步的可能原因是加快運動初期的中樞血流速度，進而提高氧氣傳送的利用率 (Chilibeck, Paterson, Petrella, & Cunningham, 1996)，其他有助於心肺功能提昇的潛在機制仍有待探討。老年男性與女性透過高強度間歇訓練造成肌肉增強的原因，Chrois 等人 (2020) 招募坐式生活習慣之老年人 (男、女性各 11 名) 進行 6 週每週 3 次的高強度間歇踏車訓練 (以 124 – 135% 最大力量輸

出進行 5×1 分鐘訓練，間歇休息 1.5 分鐘），以肌肉穿刺 (muscle biopsy) 探討骨骼肌細胞之粒線體 (mitochondria) 數量、粒線體呼吸能力以及粒線體酵素，結果顯示老年男女性經過 HIIT 訓練後皆明顯增加檸檬酸合成酶 (citrate synthase) 活性，而粒線體的偶合與非偶合呼吸能力 (coupled and uncoupled mitochondrial respiratory capacity) 僅在老年男性上看到明顯提昇。此外，訓練後的體脂肪率明顯降低，最大攝氧量顯著增加，顯見中老年人經過短期 6 週的高強度間歇訓練不僅可降低體脂肪量並強化心肺能力，其潛在有利的適應條件也作用在骨骼肌粒線體數量及氧化能力表現，或許高強度間歇訓練可以減緩因年齡增長而發生的肌少症 (sarcopenia)。有研究指出 30 名肥胖老年者 (平均年齡 68.1 ± 4.2 歲，BMI = 30.5 kg/m^2) 經過 12 週 HIIT 訓練後比訓練前明顯提升下肢肌力相對值、肌肉質量和肌肉爆發力 (Buckinx et al., 2018)。在前言中曾提到 HIIT 訓練後，COX、SIRT1 和 PGC-1 α 共同在人體骨骼肌的生理適應上扮演關鍵角色，其中 PGC-1 α 下調節的功能不僅能增進第 I 型態肌肉表現型態的發展，亦有助於增加粒線體生成與脂肪氧化能力 (Laursen, 2010)，因此無氧型態運動 (例如高強度間歇運動) 刺激使粒線體密度量增加所產生骨骼肌肌力增強的適應機制，可能減緩老年者罹患肌少症的情況發生 (Parise & De Lisio, 2010)。

由上述研究可歸納當運動對象為中老年人，考量到受試者年齡較大在體能及肌力方面不比年輕時的狀態，在安排訓練模式上可考量不以 all-out 模式進行高強度間歇訓練並且延長運動與休息比，Herbert、Grace 與 Sculthorpe (2015) 也曾提到針對老年者規劃的高強度間歇訓練在單次訓練後應恢復至少 3 日以上，除了老年者接受高強度間歇訓練可能暴露的潛在風險還有要考量運動依附性與耐受力的問題，有足夠的休息時間才可減緩身體疲勞感並且讓身體適應高強度運動。此外，老年者的高強度間歇訓練盡量以安全為前提，由上述文獻不難發現多以腳踏車測功計進行運動，該原地式腳踏車比起跑步機可讓老年者於運動中更有安全感並且減少因身體平衡度不佳而跌倒的風險。高強度間歇訓練的單次運動時間大多為 1 分鐘，休息時間為 1–2 分鐘，循環 5–10 次，運動強度可控制在 85%–90% HR_{max}，為期 12 周且每周 3 天的訓練量，同樣能提升中老年人的人心肺能力和改善體脂肪。本文彙整上述有關中老年人參與高強度間歇訓練的文獻於表 4。值得一提的是，以高強度間歇訓練融合阻力運動的新穎作法也能夠強化中老年人的上下肢肌力 (Hurst et al., 2019)，我國學者何松諺等人 (2018) 探討 50 ± 6 歲的中年婦女使用徒手進行全身式高強度循環訓練及有氧舞蹈為期 8 周每周 3 天，高強度循環訓練後下肢的伸展與屈曲力矩分別增加 2% 和 14%，肌肉量也增加了 2%，因此在安排中老年人從事高強度訓練時建議加入適當的阻力訓練，幫助中老年人整體健康指數並延緩肌少症的可能發生。

表 4、中老年人之高強度間歇訓練內容

作者	受試者特性			$\dot{V}O_{2\max}$	期程 (週)	運動 類型	運動 強度	運動 頻率 (次/ 週)	訓練 時間 (分/次)	週時間 (分/週)	訓練方式		
	年齡	男/女	$\dot{V}O_{2\max}/\text{peak}$								重複次數× 持續時間	恢復 時間	熱身/緩 和(分)
			前測 (ml·kg ⁻¹ ·min ⁻¹)										
Hwang 等人 (2016)	65 ± 1	21/30	HIIT: 23.1 ± 0.7 MICT: 25.9 ± 1.7	11% 0.4%	8	腳踏車 測功計	90% HR _{max} 70% HR _{max}	3	25 32	75 96	4×4 min 32 min	3 min 0	10/5
Marzuca-Nassr 等人 (2020)	66 ± 5	20/0	Young: 29.87 ± 6.60 Older: 16.65 ± 4.55	26.3% 40.5%	12	腳踏車 測功計	90% HR _{max}	3	30	90	10×1 min	2 min	0/0
Søgaard 等人 (2018)	63 ± 1	11/11	M: 27.4±2 W: 23.1±1	7.7% 3.5%	6	腳踏車 測功計	85% Load _{max}	3	14.5	43.5	5×1 min	1.5 min	2/0
Hurst 等人 (2019)	62 (50 – 81)	36/0	HIIT : 33.8±8.3	11.5%	12	液壓式 阻力器 材	90% HR _{max}	3	12 – 20	36 – 60	4 set×4 rep	15-s	6/10
Chrois 等人 (2020)	63 ± 1	11/11	M: 27 ± 2 W: 23 ± 1	11.1% 4.3%	6	腳踏車 測功計	85% Load _{max}	3	12.5	37.5	5×1 min	1.5 min	2/0

HIIT: high-intensity interval training 高強度間歇訓練. MICT: moderate-intensity continuous training 中強度連續訓練. Load_{max}: maximal load reached during the $\dot{V}O_{2\max}$ test 最大攝氧量測驗相對應之最大負荷. HR_{max}: maximal heart rate 最大心跳率

四、第 2 型糖尿病患者

隨著飲食習慣的改變，現代人攝取高油脂或高熱量的食物更加普遍，導致擁有代謝症候群的人口日益增加，代謝症候群是一種高危險性疾病，主要特徵包括胰島素阻抗、腹部肥胖、高血壓和血脂異常 (dyslipidemia) 等綜合性病徵，是一項預測第 2 型糖尿病至關重要的因子 (Deen, 2004)。Colberg 等人 (2016) 指出規律的運動訓練能有效增強心肺適能之外，對於有胰島素阻抗的第 2 型糖尿病患者而言，規律運動能持續增加胰島素敏感性，達到預防、控制和治療第 2 型糖尿病及相關併發症的效果。不過運動訓練的方式有許多種，何種運動方式能有效率地改善第 2 型糖尿病前期或第 2 型糖尿病者的空腹血糖與代表性檢驗指標，例如糖化血色素 (HbA1c) 或葡萄糖耐受力測驗 (oral glucose tolerance test, OGTT)，張祐華、林貴福、盧淑雲 (2018) 指出高強度間歇運動對第 2 型糖尿病血糖調控的影響，結果發現高強度間歇運動可調節骨骼肌中葡萄糖攝取和代謝能力，改善第 2 型糖尿病患的胰島素阻抗，降低空腹血糖值及糖化血色素濃度，是一項有效調控血糖的運動。至於如何應用高強度間歇訓練在第 2 型糖尿病者身上，Fex、Leduc-Gaudet、Filion、Karelis 與 Aubertin-Leheudre (2015) 以 16 名 60.4 ± 6.1 歲的糖尿病前期及第 2 型糖尿病患者使用橢圓機進行 12 週每週 3 次的高強度間歇訓練，以 80% – 85% 最大心跳率進行 10×30 秒訓練，動態恢復 90 秒，共計 20 分鐘，研究結果發現訓練後兩組的腰圍與臀圍各減少 4% 與 3%，收縮壓及舒張壓分別下降 5% 及 2%，最大攝氧量也上升 12.7%，空腹血糖值下降了 8%，不論是糖尿病前期或第 2 型糖尿病患者經訓練後皆能改善身體組成和代謝危險因子。

Stoa 等人 (2017) 研究 38 名患有第 2 型糖尿病者進行每週 3 次共 12 週的訓練指導，此實驗共分為 HIIT 及 MICT 兩組，HIIT 組以 85 – 95% HR_{max} 運動強度進行 4×4 分鐘的戶外走路或跑步，MICT 組以 70 – 75% HR_{max} 運動強度於戶外持續走路或跑步運動，比較特別是因 HIIT 與 MICT 組的運動強度不同，為了讓兩組的能量消耗一致，因此 MICT 組的運動時間較長 (約 60 分鐘)。結果發現兩組經訓練後的體脂肪百分比、腰圍與臀圍皆顯著低於訓練前，舒張壓也明顯低於訓練前。MICT 組於血脂的變化比 HIIT 組明顯，和訓練前相比，MICT 組的三酸甘油酯明顯降低且高密度脂蛋白膽固醇明顯增加，但 HIIT 組在血脂表現未見明顯改變。不過 HIIT 組的相對最大攝氧量提升 21%，但 MICT 組的相對最大攝氧量沒有變化。第 2 型糖尿病需關切的觀察變項中，HIIT 組訓練後的 HbA1c 變化率降低 0.58% 並且明顯低於 MICT 組。因此該作者認為以 85 – 95% HR_{max} 進行高強度有氧間歇訓練，比中強度持續訓練更能有效改善第 2 型糖尿病的心肺功能以及降低 HbA1c。

Way 等人 (2020) 以 35 名 55.1 ± 1.4 歲的肥胖第 2 型糖尿病患者進行 12 周每周 3 次高強度間歇訓練，HIIT 組在腳踏車上進行 10 分鐘 50% VO_{2peak} 強度熱身，90% VO_{2peak} 運動強度進行 1×4 分鐘運動，再以 50% VO_{2peak} 強度休息 5 分鐘，每次訓練時間共 19 分鐘；MICT 組以 60% VO_{2peak} 連續騎乘 45 分鐘，訓練前後五分鐘以 50% VO_{2peak} 強度熱身及緩和，研究結果顯示訓練後的 HIIT 組與 MICT 組之最大攝氧量分別進步 3.8% 與 11.1%，兩種運動模式皆能提升心肺能力，此外訓練後腰圍分別減少 3.2% 及 2.7%，糖化血色素濃度分別下降 4.2% 及 4.1%，血壓也分別下降 5% 和 8.8%，如此可觀察到 HIIT 訓練後改善心血管方面的相關危險因子，對於促進第 2 型糖尿病患者的健康有益處。探討 32 名第 2 型糖尿病患分組至 HIIT 組 (以 95% $Load_{max}$ 進行 10×1 分鐘訓練並間歇恢復 1 分鐘)、MICT 組 (以 50% $Load_{max}$ 進行每週 40 分鐘) 及控制組，為期 11 週的腳踏車訓練每週 3 次，HIIT 組與 MICT 組每週運動總時間各為 75 分鐘及 135 分鐘。研究結果顯示 HIIT 組有效降低空腹與餐後血糖值、HOMA-IR 指數、HbA1c 濃度以及腹部指數量，而餐後血糖下降原因主要來自較低的外源性葡萄糖表現，儘管 HIIT 的運動能量消耗低於 MICT，但 VO_{2peak} 明顯比 MICT 組增加約 12% (Winding et al., 2018)。對於第 2 型糖尿病患者而言，高強度間歇訓練有利於降低脂肪所影響的調控機制為何，Koh 等人 (2018) 探討 16 名平均年齡 57 歲的坐式生活且第 2 型糖尿病患，隨機分組為 MICT (50% $Load_{max}$ 進行踏車 40 分鐘耐力運動)、HIIT (95% $Load_{max}$ 10×1 分鐘踏車衝刺，間歇休息 1 分鐘)，每週 3 次並持續 11 週訓練，結果顯示脂質代謝 (三酸甘油酯、組膽固醇、高密度脂蛋白膽固醇和低密度脂蛋白膽固醇) 指標未受到訓練而明顯改變，不過訓練確實明顯改變脂肪量、內臟脂肪量、OGTT 及 HbA1c 濃度；進一步瞭解脂肪型態測量學 (morphology of lipid) 分析第 1 型纖維與第 2 型肌纖維於訓練前、後肌膜下及肌原纖維間的粒線體與脂肪滴 (lipid droplets) 之分率，顯示少量高強度間歇訓練會影響血脂的亞細胞型態和骨骼肌內脂肪滴的體積容量，特別是經由降低脂肪滴尺寸伴隨著增加第 2 型肌纖維的粒線體數量，上述機轉可能是 HIIT 改善第 2 型糖尿病患之骨骼肌內血糖調控的原因。

上述第 2 型糖尿病患者實施高強度間歇訓練的文獻彙整成摘要如表 5，由上述結果可得

知研究大多以偏向長期訓練的改善效果較明顯 ($\geq 11 - 16$ 週)，進行高強度訓練的運動強度控制在 $\geq 80\%$ 最大心跳率並且會隨著訓練週次的增加而適當提高訓練強度，當次訓練課的運動與休息時間比則與前述的比率稍有不同；換言之運動休息比的範圍更大，以本文所引用文章的運動休息比介於 $1 : 0.75 - 1 : 3$ ，此比率加大可以根據第 2 型糖尿病患者的體能與健康狀態進行調整並提高其對高強度運動的適應性。除此之外，雖然以 HIIT 運動訓練介入第 2 型糖尿病患者與 MICT 運動相比皆同樣有效於改善腰臀部位以及內臟脂肪量、腰臀圍比、血糖、胰島素、OGTT 及 HbA1c 濃度等因子，但仍需視個體狀況執行適當的運動處方，並在合格運動指導員的監督下進行 HIIT 訓練是較為安全且理想的方法。

表 5. 第 2 型糖尿病患者之高強度間歇訓練內容

作者	受試者特性		$\dot{V}O_{2\max}/\text{peak}$ 前測 ($\text{ml} \cdot \text{kg}^{-1} \cdot \text{min}^{-1}$)	$\dot{V}O_{2\max}$ 進步率	期程 (週)	運動 類型	運動 強度	運動 頻率 (次/ 週)	訓練 時間 (分/次)	週時間 (分/週)	訓練方式		
	年齡	男/女									重複次數× 持續時間	恢復 時間	熱身/緩 和(分)
Fex 等人 (2015)	60.4 ± 6.1	4/12	HIIT : 40.3 ± 8.0	12.7%	12	橢圓機	80% ~ 85% HR_{\max}	3	19.5	58.5	10×30-s	1.5 min	0/0
	57 ± 9		MICT: 27.9 ± 7.5	2.9%	16		60-70% HR_{\max}	5	30	150	30 min	0	0
Støa 等人 (2017)	59 ± 11	15/23	HIIT: 25.6 ± 6.2	5.3%	12	跑步 或走路	85-95% HR_{\max}	3	28	84	4×4 min	3 min	15/12
	59 ± 10		MICT: 25.8 ± 5.5	-0.2%	12		70-75% HR_{\max}	3	60	180	~60 min	0	0/0
Way 等人 (2020)	56.9 ± 2.1	13/11	HIIT: 20.9 ± 2.6	3.8%	12	腳踏車 測功計	90% $VO_{2\text{peak}}$	3	19	57	1×4 min	0	5/5
	54.8 ± 2.4		MICT: 21.6 ± 6.0	11.1%	12		60% $VO_{2\text{peak}}$	3	55	165	45min	0	5/5
Winding 等人 (2018)	54 ± 6	19/13	HIIT: 27.8 ± 5.5	20.4%	11	腳踏車 測功計	50% $Load_{\max}$	3	20	60	10×1 min	1 min	5/0
	58 ± 8		MICT: 28.4 ± 6.1	8.9%			95% $Load_{\max}$		40	120	40 min	0 min	0/0
Koh 等人 (2018)	56 ± 5	9/7	HIIT: 45.4 ± 7.0	20.7%	11	腳踏車 測功計	50% $Load_{\max}$	3	20	60	10×1 min	1 min	0/0
	58 ± 9		MICT: 44.7 ± 9.1	9.3%			95% $Load_{\max}$		40	120	40 min	0 min	0/0

HIIT: high-intensity interval training 高強度間歇訓練. MICT: moderate-intensity continuous training 中強度連續訓練. $Load_{\max}$: maximal load reached during the $VO_{2\max}$ test 最大攝氧量測驗相對應之最大負荷. HR_{\max} : maximal heart rate 最大心跳率

參、結論與建議

近年來許多研究已證實高強度間歇訓練是一項省時且有效率的運動，不僅能增進心肺適能，也能促進健康和提升骨骼肌的適應性，對於身體組成、體脂肪、代謝生理指標或血糖控制方面也都有良好的成效。但由於高強度間歇訓練的預設運動強度較為激烈，是否該運動會造成特殊族群的危險性增加的結果一直不明確 (De Nardi, Tolves, Lenzi, Signori, & Silva, 2018)，因此若是對於沒有運動習慣、本身已知有特殊疾病或是已列為高危險因子的族群，例如高血壓、高血脂與高血糖患者，建議以循序漸進的方式進行 HIIT 以降低運動傷害的風險發生。本篇文獻回顧統整相關研究結果顯示，在目前文獻中常見的 HIIT 運動強度大多設定在 $\geq 80\%$ 最大心跳率或峰值攝氧量，高強度間歇訓練除了可選擇以全身徒手式進行外，亦可選擇固定式

腳踏車或跑步機等運動器材，當然也能夠以室外跑步或室外腳踏車的方式進行，但是必須格外注意運動時心跳率的監控以及戶外運動環境的安全性。另外運動處方的設計因個體的體能狀態與健康條件而有所不同，例如一般健康成年人的運動休息時間比較短，而體重過重與肥胖、中老年人或第 2 型糖尿病患的運動處方需考量生理與疾病的潛在干擾因素較多，因此運動休息比應比一般健康成年人來的彈性一些，直到熟悉運動模式並產生生理適應（約四周）後再視情況做強度與頻率的調整。

有研究曾提到雖然短期 HIIT 訓練 (≤ 4 週) 對於健康成年人有顯著的改善，但中長期 HIIT 訓練 ($> 4-12$ 週) 對健康成人及過重與肥胖者的正向效益更大，若能執行 >12 週 HIIT 長期訓練可能對於心肺適能與改善骨骼肌纖維與脂肪滴與粒線體數量的反應會更加明顯 (Koh et al., 2018; Wen et al., 2019)。由於目前研究介入的訓練期程最多僅 16 週，因此未能得知半年或一年等長期介入 HIIT 訓練的效果，也因而限制瞭解生理與代謝上的諸多反應，多數研究在受試者的飲食方面並無設計營養師與營養衛教介入，如此也可能造成一些生理參數值（例如總膽固醇、三酸甘油酯、高密度脂蛋白膽固醇、低密度脂蛋白膽固醇等）未達到統計上的明顯變化，因此建議未來實施高強度間歇訓練時，除了針對不同族群的受試者可納入更彈性的 HIIT 運動處方，也需隨時注意受試者的個別生理狀況，例如第 2 型糖尿病患者需定期門診抽血瞭解 HIIT 對血糖、HbA1c 濃度與胰島素阻抗的影響效果，適時瞭解 HIIT 訓練對個體的血糖和血脂的影響，若能夠延長 HIIT 介入後的觀察與追蹤時間，了解運動介入的長期效果，可進一步完善高強度間歇訓練的可行性。

肆、實務應用

本研究供一般健康成人、中老年人、體重過重與肥胖者、第 2 型糖尿病患者、運動指導員、運動科研人員以及運動教練參考，短期高強度間歇訓練的課程設計至少 4 週，若要讓心肺功能獲得更明確的改善成效至少要 6 週，骨骼肌纖維型態的改變至少需 11 週，血脂代謝的可見效益需要 12 週以上。健康成人的運動休息比可安排 $1:0.5 - 1:2$ ，提供給中老年人與患有代謝性疾病者可彈性調整運動休息比為 $1:0.75 - 1:3$ ，依照個體的生理條件、體能與病徵情況予以適當運動強度，初期可從 $80\% HR_{max}$ 或 $70\% VO_{2max}$ 著手，切勿操之過及，運動頻率可安排一週三次，選擇跑步機或腳踏車進行之外，亦可承載自身體重進行徒手高強度間歇訓練，只不過動作內容的排程與設計應讓運動參與者經由練習過後可獨自進行為原則，同時應將安全納入第一考量來設計高強度間歇訓練的組合動作方為上策。

利益衝突

本研究無涉及相關利益衝突。

引用文獻

- 何松諺、陳竑廷、鍾雨純、王止俞、劉祐君、吳慧君 (2018)。短時間高強度循環訓練對中高齡女性身體組成、代謝症候群、下肢肌力及相關血液指標之影響。《體育學報》，51(2)，155-168。
- 內政部統計處 (2020)。108 年國人平均壽命達 80.9 歲，再創新高。內正統計通報，32，1-4。網路擷取自
https://ws.moi.gov.tw/001/Upload/OldFile/news_file/109%E5%B9%B4%E7%AC%AC32%E9%80%B1%E5%85%A7%E6%94%BF%E7%B5%B1%E8%A8%88%E9%80%9A%E5%A0%B1_%E7%94%9F%E5%91%BD%E8%A1%A8.pdf
- 胡翔越、李育豪、陳弘洲、劉燦宏 (2019)。高強度間歇運動。《臨床醫學月刊》，83(2)，124-128。
- 張祐華、林貴福、盧淑雲 (2018)。高強度間歇運動對 II 型糖尿病血糖調控的影響。《中華體育季刊》，32(1)，53-61。
- 教育部體育署 (2020)。中華民國 109 年運動統計，台北市。網路擷取自
<https://www.sa.gov.tw/ebook/List?id=12&n=169>
- Arboleda-Serna, V. H., Feito, Y., Patiño-Villada, F. A., Vargas-Romero, A. V., & Arango-Vélez, E. F. (2019). Effects of high-intensity interval training compared to moderate-intensity continuous training on maximal oxygen consumption and blood pressure in healthy men: A randomized controlled trial. *Biomedica*, 39(3), 524-536.
- Batacan, R. B., Duncan, M. J., Dalbo, V. J., Tucker, P. S., & Fenning, A. S. (2017). Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic health: A systematic review and meta-analysis of intervention studies. *British Journal of Sports Medicine*, 51(6), 494-503.
- Buckinx, F., Gouspillou, G., Carvalho, L. P., Marcangeli, V., El Hajj Boutros, G., Dulac, M., . . . Aubertin-Leheudre, M. (2018). Effect of high-intensity interval training combined with l-citrulline supplementation on functional capacities and muscle function in dynapenic-obese older adults. *Journal of Clinic Medicine*, 7(12), 561.
- 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.
- Burgomaster, K. A., Hughes, S. C., Heigenhauser, G. J., Bradwell, S. N., & Gibala, M. J. (2005). Six sessions of sprint interval training increases muscle oxidative potential and cycle endurance capacity in humans. *Journal of Applied Physiology*, 98(6), 1985-1990.
- Chilibeck, P. D., Paterson, D. H., Petrella, R. J., & Cunningham, D. A. (1996). The influence of age and cardiorespiratory fitness on kinetics of oxygen uptake. *Canadian Journal of Applied Physiology*, 21(3), 185-196.

- Chrois, K. M., Dohlmann, T. L., Sogaard, D., Hansen, C. V., Dela, F., Helge, J. W., & Larsen, S. (2020). Mitochondrial adaptations to high intensity interval training in older females and males. *European Journal of Sport Science*, 20(1), 135-145.
- Civitarese, A. E., Carling, S., Heilbronn, L. K., Hulver, M. H., Ukropcova, B., Deutsch, W. A., . . . Team, C. P. (2007). Calorie restriction increases muscle mitochondrial biogenesis in healthy humans. *PLoS Med*, 4(3), e76.
- Colberg, S. R., Sigal, R. J., Yardley, J. E., Riddell, M. C., Dunstan, D. W., Dempsey, P. C., . . . Tate, D. F. (2016). Physical activity/exercise and diabetes: A position statement of the American Diabetes Association. *Diabetes Care*, 39(11), 2065-2079.
- De Nardi, A. T., Tolves, T., Lenzi, T. L., Signori, L. U., & Silva, A. M. V. d. (2018). High-intensity interval training versus continuous training on physiological and metabolic variables in prediabetes and type 2 diabetes: A meta-analysis. *Diabetes Research and Clinical Practice*, 137, 149-159.
- Deen, D. (2004). Metabolic syndrome: Time for action. *American Family Physician*, 69(12), 2875-2882.
- Donnelly, J. E., Blair, S. N., Jakicic, J. M., Manore, M. M., Rankin, J. W., & Smith, B. K. (2009). American College of Sports Medicine position stand. Appropriate physical activity intervention strategies for weight loss and prevention of weight regain for adults. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 41(2), 459-471.
- Fex, A., Leduc-Gaudet, J.-P., Filion, M.-E., Karelis, A. D., & Aubertin-Leheudre, M. (2015). Effect of elliptical high intensity interval training on metabolic risk factor in pre-and type 2 diabetes patients: A pilot study. *Journal of Physical Activity and Health*, 12(7), 942-946.
- Fisher, G., Brown, A. W., Brown, M. M. B., Alcorn, A., Noles, C., Winwood, L., . . . Allison, D. B. (2015). High intensity interval-vs moderate intensity-training for improving cardiometabolic health in overweight or obese males: A randomized controlled trial. *PloS one*, 10(10), e0138853.
- Garber, C. E., Blissmer, B., Deschenes, M. R., Franklin, B. A., Lamonte, M. J., Lee, I. M., . . . American College of Sports, M. (2011). American College of Sports Medicine position stand. Quantity and quality of exercise for developing and maintaining cardiorespiratory, musculoskeletal, and neuromotor fitness in apparently healthy adults: Guidance for prescribing exercise. *Med Sci Sports Exerc*, 43(7), 1334-1359.
- Gibala, M. J. (2007). High-intensity interval training: a time-efficient strategy for health promotion? *Current Sports Medicine Reports*, 6(4), 211-213.
- 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.
- Gibala, M. J., Little, J. P., Macdonald, M. J., & Hawley, J. A. (2012). Physiological adaptations to low-volume, high-intensity interval training in health and disease. *Journal of Physiology*, 590(5),

- Godin, G., Desharnais, R., Valois, P., Lepage, L., Jobin, J., & Bradet, R. (1994). Differences in perceived barriers to exercise between high and low intenders: Observations among different populations. *American Journal of Health Promotion*, 8(4), 279-285.
- Healy, G. N., Wijndaele, K., Dunstan, D. W., Shaw, J. E., Salmon, J., Zimmet, P. Z., & Owen, N. (2008). Objectively measured sedentary time, physical activity, and metabolic risk: The Australian Diabetes, Obesity and Lifestyle Study (AusDiab). *Diabetes Care*, 31(2), 369-371.
- Herbert, P., Grace, F. M., & Sculthorpe, N. F. (2015). Exercising caution: Prolonged recovery from a single session of high-intensity interval training in older men. *Journal of American Geriatrics Society*, 63(4), 817-818.
- Higgins, S., Fedewa, M. V., Hathaway, E. D., Schmidt, M. D., & Evans, E. M. (2016). Sprint interval and moderate-intensity cycling training differentially affect adiposity and aerobic capacity in overweight young-adult women. *Applied Physiology, Nutrition, and Metabolism*, 41(11), 1177-1183.
- Hu, F. B., Leitzmann, M. F., Stampfer, M. J., Colditz, G. A., Willett, W. C., & Rimm, E. B. (2001). Physical activity and television watching in relation to risk for type 2 diabetes mellitus in men. *Archives of Internal Medicine*, 161(12), 1542-1548.
- Hurst, C., Weston, K. L., & Weston, M. (2019). The effect of 12 weeks of combined upper- and lower-body high-intensity interval training on muscular and cardiorespiratory fitness in older adults. *Aging Clinical and Experimental Research*, 31(5), 661-671.
- Hwang, C.-L., Yoo, J.-K., Kim, H.-K., Hwang, M.-H., Handberg, E. M., Petersen, J. W., & Christou, D. D. (2016). Novel all-extremity high-intensity interval training improves aerobic fitness, cardiac function and insulin resistance in healthy older adults. *Experimental gerontology*, 82, 112-119.
- Kemmler, W., Scharf, M., Lell, M., Petrasek, C., & Von Stengel, S. (2014). High versus moderate intensity running exercise to impact cardiometabolic risk factors: The randomized controlled RUSH-study. *BioMed Research International*, 2014.
- Kessler, H. S., Sisson, S. B., & Short, K. R. (2012). The potential for high-intensity interval training to reduce cardiometabolic disease risk. *Sports Medicine*, 42(6), 489-509.
- Koh, H. E., Ortenblad, N., Winding, K. M., Hellsten, Y., Mortensen, S. P., & Nielsen, J. (2018). High-intensity interval, but not endurance, training induces muscle fiber type-specific subsarcolemmal lipid droplet size reduction in type 2 diabetic patients. *American Journal of Physiology-Endocrinology Metabolism*, 315(5), E872-E884.
- Laursen, P. B. (2010). Training for intense exercise performance: High-intensity or high-volume training? *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports*, 20, 1-10.
- Lee, C. L., Hsu, W. C., & Cheng, C. F. (2017). Physiological adaptations to sprint interval training with matched exercise volume. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 49(1), 86-95.

- Liguori, G., Dwyer, G. B., Fitts, T. C., & Lewis, B. (2014). *ACSM's Resources for The Health Fitness Specialist*. Champaign, IL: Human Kinetics.
- Lira, F., Antunes, B., Figueiredo, C., Campos, E., Panissa, V., St-Pierre, D., . . . Magri-Tomaz, L. (2019). Impact of 5-week high-intensity interval training on indices of cardio metabolic health in men. *Diabetes and Metabolic Syndrome: Clinical Research and Reviews*, 13(2), 1359-1364.
- 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.
- Martins, C., Kazakova, I., Ludviksen, M., Mehus, I., Wisloff, U., Kulseng, B., . . . King, N. (2016). High-intensity interval training and isocaloric moderate-intensity continuous training result in similar improvements in body composition and fitness in obese individuals. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 26(3), 197-204.
- Marzuca-Nassr, G. N., Artigas-Arias, M., Olea, M. A., SanMartín-Calísto, Y., Huard, N., Durán-Vejar, F., . . . Salazar, L. A. (2020). High-intensity interval training on body composition, functional capacity and biochemical markers in healthy young versus older people. *Experimental Gerontology*, 141, 111096.
- Menz, V., Marterer, N., Amin, S. B., Faulhaber, M., Hansen, A. B., & Lawley, J. S. (2019). Functional vs. Running low-volume high-intensity interval training: Effects on VO₂max and muscular endurance. *Journal of Sports Science and Medicine*, 18(3), 497-504.
- Nasis, I., Kortianou, E., Vasilopoulou, M., Spetsioti, S., Louvaris, Z., Kaltsakas, G., . . . Vogiatzis, I. (2015). Hemodynamic effects of high intensity interval training in COPD patients exhibiting exercise-induced dynamic hyperinflation. *Respiratory Physiology and Neurobiology*, 217, 8-16.
- Orsini, N., Mantzoros, C., & Wolk, A. (2008). Association of physical activity with cancer incidence, mortality, and survival: A population-based study of men. *British Journal of Cancer*, 98(11), 1864-1869.
- Parent, M.-É., Rousseau, M.-C., El-Zein, M., Latreille, B., Désy, M., & Siemiatycki, J. (2011). Occupational and recreational physical activity during adult life and the risk of cancer among men. *Cancer Epidemiology*, 35(2), 151-159.
- Parise, G., & De Lisio, M. (2010). Mitochondrial theory of aging in human age-related sarcopenia. *Interdiscip Top Gerontol*, 37, 142-156.
- Reichert, F. F., Barros, A. J., Domingues, M. R., & Hallal, P. C. (2007). The role of perceived personal barriers to engagement in leisure-time physical activity. *American Journal of Public Health*, 97(3), 515-519.
- Schaun, G. Z., Pinto, S. S., Silva, M. R., Dolinski, D. B., & Alberton, C. L. (2018). Whole-body high-intensity interval training induce similar cardiorespiratory adaptations compared with traditional high-intensity interval training and moderate-intensity continuous training in healthy men. *The*

- Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(10), 2730-2742.
- Serna, V. H. A., Vélez, E. F. A., Arias, R. D. G., & Feito, Y. (2016). Effects of a high-intensity interval training program versus a moderate-intensity continuous training program on maximal oxygen uptake and blood pressure in healthy adults: Study protocol for a randomized controlled trial. *Trials*, 17(1), 413.
- Smith-Ryan, A. E., Trexler, E. T., Wingfield, H. L., & Blue, M. N. (2016). Effects of high-intensity interval training on cardiometabolic risk factors in overweight/obese women. *Journal of Sports Sciences*, 34(21), 2038-2046.
- Søgaard, D., Lund, M., Scheuer, C., Dehlbaek, M., Dideriksen, S., Abildskov, C., . . . Vigelsø, A. (2018). High-intensity interval training improves insulin sensitivity in older individuals. *Acta Physiologica*, 222(4), e13009.
- Stoa, E. M., Meling, S., Nyhus, L. K., Glenn, S., Mangerud, K. M., Helgerud, J., . . . Storen, O. (2017). High-intensity aerobic interval training improves aerobic fitness and HbA1c among persons diagnosed with type 2 diabetes. *European Journal of Applied Physiology*, 117(3), 455-467.
- Thompson, W. R. (2021). Worldwide Survey of Fitness Trends for 2021. *ACSM's Health and Fitness Journal*, 25(1), 10-19. doi:10.1249/fit.0000000000000631
- Tjønnå, A. E., Lee, S. J., Rognmo, Ø., Stølen, T. O., Bye, A., Haram, P. M., . . . Wisløff, U. (2008). Aerobic interval training versus continuous moderate exercise as a treatment for the metabolic syndrome: A pilot study. *Circulation*, 118(4), 346-354.
- Wang, T. Y., Yang, S. C., & Lee, W. C. (2017). Effects of high-intensity interval training on fat loss and metabolic markers in middle-aged men. *Sports and Exercise Research*, 19(4), 374-383.
- Warren, T. Y., Barry, V., Hooker, S. P., Sui, X., Church, T. S., & Blair, S. N. (2010). Sedentary behaviors increase risk of cardiovascular disease mortality in men. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(5), 879.
- Way, K. L., Sabag, A., Sultana, R. N., Baker, M. K., Keating, S. E., Lanting, S., . . . Johnson, N. A. (2020). The effect of low-volume high-intensity interval training on cardiovascular health outcomes in type 2 diabetes: A randomised controlled trial. *International Journal of Cardiology*, 320, 148-154. doi:10.1016/j.ijcard.2020.06.019
- Wen, D., Utesch, T., Wu, J., Robertson, S., Liu, J., Hu, G., & Chen, H. (2019). Effects of different protocols of high intensity interval training for VO_{2max} improvements in adults: A meta-analysis of randomised controlled trials. *Journal of Science and Medicine in Sport*, 22(8), 941-947.
- Winding, K. M., Munch, G. W., Iepsen, U. W., Van Hall, G., Pedersen, B. K., & Mortensen, S. P. (2018). The effect on glycaemic control of low-volume high-intensity interval training versus endurance training in individuals with type 2 diabetes. *Diabetes Obes Metab*, 20(5), 1131-1139.

High-Intensity Interval Training Intervention in Healthy Adults, Middle-Aged and Older Population, Overweight and Obese Individuals, and Patients with Type 2 Diabetes: A Narrative Review

Liang-Ying Yu¹, Chia-Lun Lee^{1*}, Nai-Jen Chang²

¹Center for Physical and Health Education, Si-Wan College, Nation Sun Yat-sen University, Kaohsiung, Taiwan.

²Department of Sports Medicine, Kaohsiung Medical University, Kaohsiung, Taiwan.

Abstract

In recent years, many studies have found that high-intensity interval training (HIIT) is widely applied in athlete's training and health promotion program in the general public. The relative shorter period of training duration of HIIT can achieve similar or even better training effects in comparison with relative longer period of moderate-intensity continuous aerobic exercise. Thus, this time-efficient exercise has apparent benefits in both sport performance and health improvement. This review literature presented application of HIIT in different populations, including the general public, overweight and obese individuals, middle-aged and elderly adults, and patients with type 2 diabetes. A database search was conducted using Google Scholar, Airiti Library, PubMed (MEDLINE), and Web of Science from January 2015 to January 2021 for studies related to exercise training interventions. The results of this literature review showed that the HIIT can effectively improve cardiopulmonary capacity, body composition, blood glucose, and lipids metabolism, and reduce cardiovascular risk factors in the general public, overweight or obese individuals, middle-aged and elderly adults, and type 2 diabetic patients. Note that while applying HIIT in exercise prescription, it is necessary to properly manipulate the exercise intensity and duration for different populations to achieve health outcomes.

Keywords: interval exercise training, intense exercise, exercise intensity, health promotion, special population
