

科技部補助專題研究計畫報告

支鏈胺基酸增補對下坡跑後肌肉激素—irisin及肌肉損傷與合成指標之效應

報告類別：成果報告
計畫類別：個別型計畫
計畫編號：MOST 108-2410-H-003-119-
執行期間：108年08月01日至109年10月31日
執行單位：國立臺灣師範大學體育學系（所）

計畫主持人：王鶴森

計畫參與人員：碩士班研究生-兼任助理：林雲郁
碩士班研究生-兼任助理：詹紫涵

本研究具有政策應用參考價值：否 是，建議提供機關
(勾選「是」者，請列舉建議可提供施政參考之業務主管機關)
本研究具影響公共利益之重大發現：否 是

中華民國 110 年 01 月 31 日

中文摘要：背景：運動刺激骨骼肌分泌之肌肉激素—irisin於離心運動後有上升趨勢，且irisin可能會使抑制肌肉合成作用的myostatin表現下降，及透過刺激IL-6路徑訊號促進肌肉衛星細胞分化。支鏈胺基酸增補被認為能減緩離心運動後肌肉損傷程度並具促進蛋白質合成之效，且其血液中濃度與irisin呈正相關。目的：探討下坡跑運動前、後增補支鏈胺基酸對irisin與肌肉損傷、合成相關指標之效應。方法：12名無規律運動習慣之年輕健康男性（年齡：22.81 ± 3.64歲；BMI：19.83 ~ 24.97）以重複量數、平衡次序及雙盲設計進行兩次間隔四週的30分鐘70% V02 max下坡跑運動（-15度），並於運動前15分鐘、運動後立即、運動後3小時分別進行每次每公斤體重100毫克支鏈胺基酸增補或相同重量安慰劑處理，並於實驗處理一週前進行僅進行支鏈胺基酸增補但未進行下坡跑的控制處理。於控制處理的基準值、24小時，以及實驗處理的基準值與運動後立即、3小時、24小時、48小時等時間點進行血液樣本採集，分析irisin、myostatin、IL-6、肌酸激酶（CK）等數值，並進行痠痛自覺量表（VAS）評估與最大自主等長收縮肌力（MVIC）測試。所得數據以重複量數二因子（處理×時間）變異數分析進行檢定。結果：1. CK、MVIC：皆無交互作用，時間主效果顯示CK於運動後24小時顯著高於其他時間點，運動後3、48小時顯著高於基準值及運動後立即，運動後立即顯著高於基準值；MVIC基準值顯著高於其他時間點，且運動後48小時顯著高於運動後立即、3小時；2. VAS：運動後3、24小時，BCAA增補顯著低於安慰劑處理；3. irisin：無交互作用，運動後24小時BCAA增補有高於控制處理的趨勢（ $p = .053$ ）；4. myostatin：無交互作用，時間主效果顯示運動後立即、3小時顯著高於基準值；5. IL-6：無交互作用，時間主效果顯示運動後立即顯著高於基準值，運動後3小時顯著高於各時間點；6. irisin與myostatin兩者自基準值至運動後3小時的變化率呈顯著負相關（ $r = -.436$ ）。結論：於下坡跑運動前、後增補共每公斤體重300毫克之支鏈胺基酸，雖能改善運動後3、24小時的主觀痠痛程度，但無法減緩於離心運動後造成的肌肉損傷及肌力表現下降。下坡跑誘發肌肉損傷後irisin濃度無顯著變化，myostatin則於運動後立即、3小時顯著上升，並與irisin之變化呈顯著負相關，然兩者間的關係仍有待未來更多的研究進行確認。

中文關鍵詞：延遲性肌肉痠痛、離心運動、肌肉萎縮、運動營養

英文摘要：Background: Studies had suggested that exercise-induced irisin may function as an exercise signal to facilitate muscle anabolism under muscle damage. It has been proven that branched-chain amino acids (BCAA) could attenuate muscle damage and promote protein synthesis after eccentric exercise. Besides, positive correlation has been found between BCAA and irisin level. Purpose: To examine the effects of BCAA supplementation on blood irisin levels, muscle damage and other muscle growth-related factors following downhill running. Methods: A total of 12 physically inactive young healthy men were recruited and completed two bouts of downhill running (-15°) at 70%

VO₂max for 30 minutes with supplementation of either 100mg/bodyweight of BCAA (BCAA) or placebo (PLA) 15 mins before, immediately after and 3h after running in a double-blinded, crossover design. A control trial (CON) with BCAA supplementation but exercise was carried out a week before the two running trials. Irisin, creatine kinase (CK), myostatin, IL-6, muscle soreness and maximal voluntary isometric contraction (MVIC) were measured at baseline, immediately, 3h, 24h and 48h after exercise during running trials and at baseline and 24h during control trial. A two-way (supplementation × time) repeated ANOVA were used for analyzing the collected data. Results: 1. time main effect of CK and MVIC: CK peaked at 24h 3h and 48h were higher than baseline and immediately after running. Baseline was lower than immediately after running. MVIC peaked at baseline, 48h was higher than 3h and immediately after running 2. VAS: at 3h and 24h, BCAA were lower than PLA. 3. irisin: no interaction. BCAA tended to be higher than CON at 24h. 4. myostatin: no interaction, immediately and 3h after running were higher than baseline. 5. IL-6: no interaction: IL-6 peaked at 3h and baseline was lower than immediately after running. 6. Change rate of irisin and myostatin at 3h was significantly negatively correlated ($r = -.436$). Conclusion: A total of 300 mg/kg BCAA supplemented before and after downhill running improved VAS at 3h and 24h but didn't affect muscle damage or muscle strength. Blood irisin levels did not increase after downhill running while myostatin increased immediately and 3h after running. Irisin was negatively correlated with myostatin after downhill running, but the mechanism or influences between them still needs further study.

英文關鍵詞：delay onset muscle soreness (DOMS), eccentric exercise, muscle atrophy, sports nutrition

一、研究計畫背景與重要文獻探討

過去許多研究已證實，從事適當的身體活動能有效地預防甚至改善某些慢性疾病，例如肥胖、第二型糖尿病，及心血管相關疾病等 (Carroll & Dudfield, 2004; Chen, Fredericson, Matheson, & Phillips, 2013; Colberg et al., 2010)；其中，除了運動過程所直接形成的能量負平衡外，其所引發的激素調節作用亦可能透過不同的路徑形成益處，而運動時大量活動的骨骼肌，便被視為有分泌作用的器官之一，會釋出具有不同功能的肌肉激素 (myokine)，和其他的器官之間形成交互影響或是作用於肌肉本身 (Pedersen & Febbraio, 2012)。Boström 等 (2012) 的研究定義了一項受到運動刺激而產生的肌肉激素—irisin，並指出其能促使脂肪「棕化」(browning)，透過 UCP1 (uncoupling protein 1) 的非偶合作用，以非顫抖性產熱的方式釋放能量，提高體內能量消耗，進而達到對抗能量過剩導致的代謝疾病之效。在運動過程中，骨骼肌的反覆收縮會提升過氧小體增生活化受體 γ 輔啟動因子 1 (peroxisome proliferator-activated receptor gamma coactivator-1 alpha, PGC1 α) 的表現，骨骼肌中 PGC1 α 表現上升會增加穿膜蛋白 FNDC5 (fibronectin type III domain-containing protein 5) 形成，FNDC5 於胞外被修剪釋放的片段便是 irisin。Irisin 自骨骼肌分泌後進入循環中，與脂肪組織的未知受器結合而作用，使粒線體中的 UCP1 表現增加，呈現棕色脂肪細胞之特性，此即脂肪棕化之過程。

目前關於運動對 irisin 之效應的研究結果在許多面向仍有不一致之處，但整體而言，綜整各項結果可以發現，單次立即性運動使 irisin 濃度上升的效果相對較長期之運動訓練為佳，且 irisin 濃度約於運動後一小時便會回復至安靜值；在運動類型方面，也以強度較高的運動其刺激 irisin 分泌之效果較顯著 (Rodrigues, Ferreira, Carneiro-Júnior, Natali, & Bressan, 2016)。此外，除了在脂肪組織的作用之外，亦有研究於細胞實驗中發現 irisin 對於骨骼肌本身的醣類調節有正面調節功能 (Huh, Mougios, Kabasakalis, et al., 2014; Lee et al., 2015; Vaughan et al., 2014) 或是和肌細胞合成生長有關 (Huh, Dincer, et al., 2014)。進行阻力運動後，irisin 前驅物 PGC1 α 的其中一種亞型—PGC1 $\alpha 4$ 在骨骼肌中之表現顯著增加，會向上調節 mTOR 訊號，並減少肌肉生長之負向調控因子肌肉生長抑制素 (myostatin) 表現，促進肌細胞合成，且伴隨功能性肌肉質量與力量增加 (Correia, Ferreira, & Ruas, 2015; Ruas et al., 2012; White et al., 2014)。後續研究進一步將人類大腿骨骼肌細胞以外源性 irisin 進行培養，發現骨骼肌細胞 myostatin 的基因表現顯著下降，且其變化與 irisin 之處理呈現劑量反應關係，同時，路徑上游的 PGC1 $\alpha 4$ 亦向上調節；近期更有研究指出，irisin 會透過刺激介白素-6 (interleukin 6, IL-6) 的路徑訊號增加衛星細胞的分化以及肌原細胞之融合作用，而在神經阻斷造成肌肉量流失的情況下，透過 irisin 注射亦能增加衛星細胞活化、減少蛋白質降解，顯示 irisin 在肌肉合成生長方面的可能效益 (Huh, Dincer, et al., 2014; Reza et al., 2017; Toth et al., 2011)。

一般而言，當從事不熟悉、高強度，或是離心式的運動，會導致肌纖維受到破壞 (Armstrong, Ogilvie, & Schwane, 1983)，此時，血液肌酸激酶 (creatine kinase,

CK) 濃度常被視為評估肌肉損傷程度的指標之一 (Nosaka, Sakamoto, Newton, & Sacco, 2001)。肌肉受損的狀態使人體開啟後續的肌肉修補與重建，許多激素亦將參與調節此過程 (Proske & Allen, 2005)，在運動造成肌肉受損的狀態下，對於肌肉生長分別有向上及向下調節作用的 IL-6 與 myostatin 其分泌情形亦會受到影響 (Rohde, MacLean, Richter, Kiens, B., & Pedersen, 1997; Sharma, Langley, Bass, & Kambadur, 2001; Toft et al., 2002; Willoughby & Taylor, 2004)。

過去研究指出，進行單次阻力運動會使血液中 irisin 與 CK 濃度同時大幅增加 (Huh, Siopi, Mougios, Park, & Mantzoros, 2015)；此外，在單次振動運動介入後，睪固酮的變化趨勢亦與 irisin 之變化相近，故作者推論運動造成的肌肉損傷可能會刺激 irisin 被釋放至循環中，且 irisin 之分泌或許與肌肉損傷後的合成修補作用有關 (Huh, Mougios, Skraparlis, Kabasakalis, & Mantzoros, 2014)。Tsuchiya、Mizuno 與 Goto (2018) 檢視了下坡跑運動對 irisin 的影響，實驗結果發現，下坡跑組運動後立即至運動後 3 小時之 irisin 曲線下面積顯著高於水平跑組，顯示在運動後 3 小時的期間內，下坡跑此一易誘發肌肉損傷的運動可能對 irisin 之分泌產生較大幅度的刺激，同時，下坡跑組運動後血液 Mb 與 IL-6 濃度亦顯著高於水平跑組，據此，運動刺激所造成之 irisin 分泌可能會受到肌肉損傷與發炎狀態之影響。

支鏈胺基酸 (branched-chain amino acids, BCAA) 是現今被廣為使用的一項增補劑，其為白胺酸 (leucine, Leu)、異白胺酸 (isoleucine, Ile) 及纈胺酸 (valine, Val) 等三種必需胺基酸的總稱，無法由人體自行合成，須透過日常飲食進行攝取。肌肉蛋白質中含有大量的 BCAA，且與多數必需胺基酸通常經肝臟代謝不同，其主要是藉由骨骼肌進行代謝與利用，運動所造成的刺激亦已被證實會增加 BCAA 的分解 (Harper, Miller, & Block, 1984; Shimomura, Murakami, Nakai, Nagasaki, & Harris, 2004)。BCAA 於運動過程中作為能量來源的比例相對較低，但另一方面，透過調控 mTOR 訊號路徑及下游 p70^{S6k} 的磷酸化，BCAA 也具有刺激蛋白質合成及抑制蛋白質降解之作用 (Herningtyas et al., 2008; Holeček, 2018)。外源性 BCAA 增補有助於維持蛋白質代謝平衡 (Blomstrand & Saltin, 2001; Negro, Giardina, Marzani & Marzatico, 2008)，過去研究曾指出，於高強度運動、阻力運動及離心運動前與運動後恢復期進行 BCAA 增補，分別可觀察到運動後延遲性肌肉痠痛程度較低、運動後肌力表現流失幅度減緩、血液中 CK 值與 Mb 值較安慰劑處理低之現象，甚至可能提升阻力運動後的 mTOR 路徑活性 (Howatson et al., 2012; Jackman, Witard, Jeukendrup, & Tipton, 2010; Matsumoto et al., 2009; Shimomura et al., 2006, 2010)，由此可推論，BCAA 增補在運動造成肌肉損傷的狀態下可能具正面效益，能減緩運動後之痠痛與損傷程度，並有助於肌肉的合成與修補作用。Jang 等 (2017) 進行的一項橫斷式研究探討了青少年族群其安靜時體內 irisin 濃度與其他代謝指標的相關性，分析結果首度發現 irisin 與 BCAA 呈顯著正相關，而此關係主要呈現於肥胖亞群中。Abedpoor 等 (2018) 的研究結果則顯示，八週有氧運動訓練搭配 BCAA 增補會使老鼠腓腸肌質量增加，

同時，腓腸肌中 PGC1 α 及 FNDC5 表現增加，血液中 irisin 濃度亦上升。然而，上述兩項研究皆較著眼於探討脂質分解及能量代謝指標等主題，而非肌細胞再生或蛋白質合成方面的作用，故 BCAA 與 irisin 兩者間的相互作用是否與肌肉損傷或修補有關，仍有極大的探索空間。

如前所述，irisin 在運動後的肌肉合成、修補作用中可能扮演某種角色，且在運動誘發肌肉損傷的狀態下會使其分泌增加，然此分泌增加的現象是否繼而會因 BCAA 增補減緩運動後肌肉損傷程度而產生影響，有待進一步瞭解。此外，BCAA 本身亦可能與 irisin 濃度的變化有所關聯，但兩者間的關係目前尚不十分明確，則運動誘發肌肉損傷加之 BCAA 增補兩項因子對 irisin 之分泌會造成何種影響，亦是值得探討的議題。

二、研究計畫目的

根據上述背景說明，本研究計畫旨在探討下坡跑運動前及運動後恢復期進行支鏈胺基酸增補，對肌肉激素—irisin 與肌肉損傷、肌肉合成相關指標之效應。

三、研究方法

(一) 研究對象

本研究招募共 12 名自願參與之健康年輕且無規律運動習慣之男性為受試者；正式加入實驗前，需先進行簡易健康與運動情況調查，以排除不合適或有風險之實驗參與者，此外，所有同意參與本計畫之受試者都將簽署一份受試者知情同意書，並確保其熟悉實驗工具與程序。本研究受試者需符合條件如下：

1. 20 至 35 歲之成年男性。
2. 身體質量指數 (BMI) ≥ 18.5 且 < 27 。
3. 無規律運動習慣(過去 3 個月中,每星期運動未達 2 次且每次未超過 30 分鐘，同時無從事任何運動相關競賽活動達每星期 1 小時)。
4. 無酗酒、抽菸之習慣。
5. 無糖尿病、心血管相關疾病及病史。
6. 無下肢骨骼肌肉相關疾病。
7. 目前無運動傷害或被醫師告知不得進行激烈運動。
8. 目前無服用處方藥、成藥，或其他增補劑。
9. 無苯酮尿症。
10. 無特殊食物過敏。

(二) 實驗方法與步驟

1. 實驗流程

於本研究中，每位受試者將參與共四次的測驗與實驗。第一次為實驗前測，此時會熟悉實驗流程與器材、建立受試者基本資料，接著進行跑步機最

大攝氧量測驗；一週後進行控制處理，受試者僅接受 BCAA 增補而未實施運動；隨後以平衡次序設計進行 BCAA 增補與安慰劑兩種不同的實驗處理，兩次實驗處理間隔四週。研究流程如圖 1 所示。

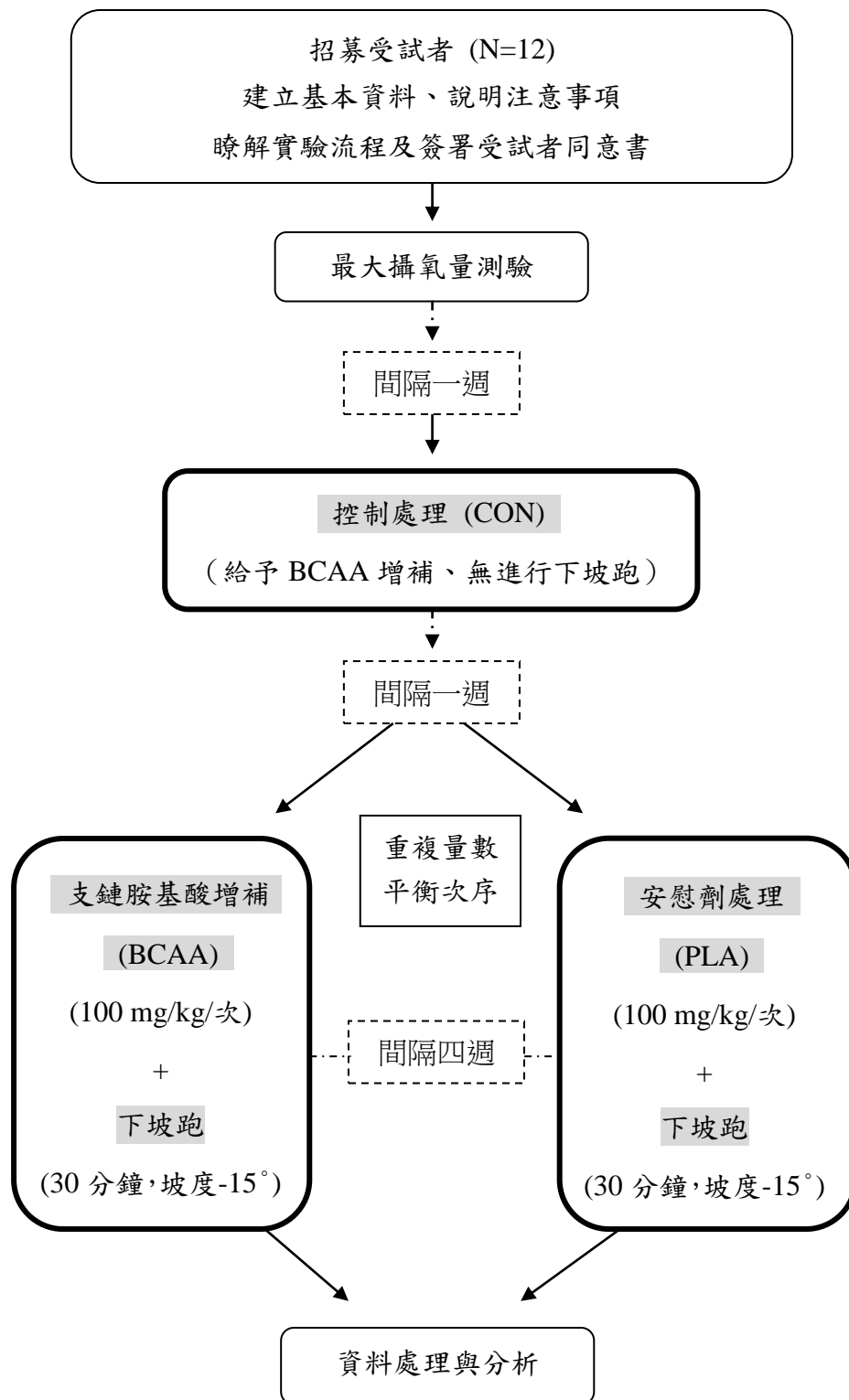


圖 1 研究流程圖

2. 實驗控制

(1) 日夜節律

為排除 irisin 之日夜節律影響 (Anastasilakis et al., 2014)，也避免本實驗流程各血液採集之生化指標受日夜節律干擾，受試者將控制於上午時段進行實驗。

(2) 飲食

受試者於每次實驗處理前 24 小時應避免攝取酒精、咖啡因，及其他刺激性飲食或營養補充品；實驗前一晚需充足睡眠，且禁食至少 8 小時，實驗當天空腹至實驗室報到。採集基準值血液樣本後，發予統一配製之早餐 (約 300 大卡)，於 10 分鐘左右食用完畢。於整個實驗期間，皆應避免服用各式增補劑與營養品。受試者進行控制處理時，需填寫飲食紀錄表，記錄實驗前一日起至實驗結束間的三餐飲食及三餐之外所食用的點心和飲品；於後許兩次實驗處理前，提供受試者先前之飲食紀錄表，以盡量重現飲食內容 (Fouré et al., 2016)。

(3) 身體活動

受試者於實驗開始前一個月至實驗全部結束為止，應維持平時的身體活動量，並避免進行費力活動及體能類競賽。於跑步實驗處理後，應避免進行按摩、冰浴等可能影響肌肉損傷及恢復程度的活動。而控制處理及兩次實驗處理期間，除完成實驗所需之運動與檢測外，其餘時間盡量維持坐姿進行靜態活動或休息。

(4) 環境

以液晶顯示溫濕度計 (JG-TH01, 晶冠, 台灣) 監控實驗過程中之環境溫度是否保持穩定，盡量避免環境溫度過熱或過冷可能對 irisin 及各項數值造成的影響 (Aydin et al., 2013; Lee et al., 2014)。

3. 最大攝氧量

每位受試者皆需進行一次跑步機 (h/p cosmos mercury 4.0; h/p cosmos sports & medical, Germany) 漸增強度最大攝氧量檢測；由於本實驗參與者為體能水準相對較低之坐式生活型態者，故使用修正式 Bruce 程序進行檢測 (Trabulo, Mendes, Mesquita, & Seabra-Gomes, 1994)。全程以 Vmax 29 型電腦能量代謝測量系統 (Sensor Medics the Corp., Yorba Linda, CA, USA) 進行氣體採集，並監控心跳率及運動自覺努力程度。達以下判定標準兩項以上，且經口頭鼓勵亦無法繼續運動時，即達個人最大攝氧量，立即停止測驗。

(1) 攝氧量 ($\dot{V}O_2$) 達高原：繼續增加負荷但攝氧量增加少於 2 ml/kg/min。

(2) 心跳率達到預估最大心跳率的正負十下：

心跳率預估公式： $208 - (0.7 \times \text{年齡})$ (Tanaka, Monahan, & Seals, 2001)

(3) 呼吸交換率 (RER) 超過 1.15。

(4) 運動自覺努力程度 (RPE) 達 19。

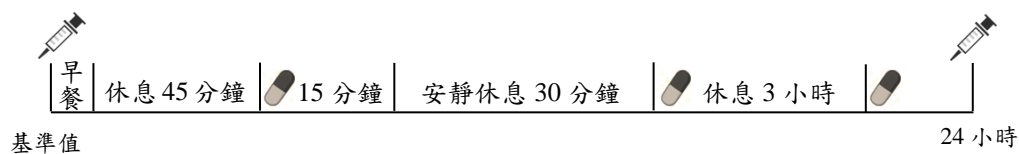
4. 支鏈胺基酸增補

本研究採雙盲、平衡次序設計進行支鏈胺基酸增補與安慰劑處理，兩次實驗處理時的攝取時間點為運動前 15 分鐘、運動後立即與運動後 3 小時，控制處理時亦於相同的三個時間點服用 BCAA。在支鏈胺基酸增補處理及控制處理時，每次增補每公斤體重 100 毫克 BCAA (Leu: Ile: Val = 2:1:1; Ajinomoto Co. Inc., Tokyo, Japan)，安慰劑處理時則為避免因使用碳水化合物為主體的成分導致胰島素上升而對蛋白質代謝產生額外影響，因此給予相同重量之甜味劑作為安慰劑 (Zerose®, Cargill Inc., MN, USA) (Fouré & Bendahan, 2017; Howatson et al., 2012)。為隱蔽 BCAA 特有之味道，BCAA 及安慰劑皆裝入不透明膠囊中進行攝取。

5. 下坡跑

本研究所設定之下坡跑坡度為-15 度，強度為 70% 最大攝氧量。受試者於第一次實驗處理時，以事先利用轉換公式推估之預設速度開始進行跑步，再依實際氣體分析數據調整跑步機速度直到受試者之攝氧量落於 70% 最大攝氧量維持達一分鐘，即不再變動速度，並將該速度定為第二次實驗處理時的固定跑步速度 (Féasson et al., 2002; Glass, Dwyer, & ACSM, 2007)。進行控制處理時則請受試者於相同期間維持坐姿安靜休息。每次實驗處理流程如圖 2 所示。

控制處理



實驗處理

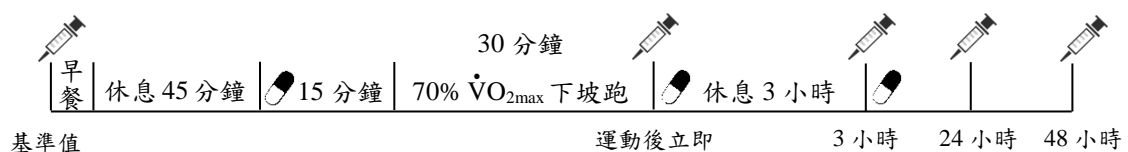
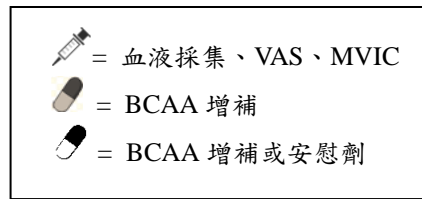


圖 2 控制處理及實驗處理流程圖



6. 資料蒐集

(1) 心跳率

本研究將以無線遙測心率儀 (Polar RS810, Kempele, Finland) 監控受試者於下坡跑過程中的心跳率。

(2) 痠痛自覺量表

於控制處理的基準值、24 小時，以及實驗處理的基準值、運動後立即、運動後 3 小時、運動後 24 小時、運動後 48 小時等時間點，分別於血液採集完畢後進行痠痛自覺量表評估。操作時，受試者雙腳站於 30 公分高之階梯上，伸出右腳單腳下階至地面，此時依自覺大腿痠痛程度畫記於長度共 100mm、刻度為 0-10 之視覺自覺量表 (visual analog scale, VAS) 上，0 為完全不痛，10 為非常非常痛。完成後再以左腳下階評估痠痛程度，取兩者之平均值 (Chen, Nosaka, Lin, Chen, & Wu, 2009)。

(3) 最大自主等長收縮肌力 (maximal voluntary isometric contractions, MVIC)

於基準值、運動後立即、運動後 3 小時、運動後 24 小時及運動後 48 小時完成痠痛自覺量表評估之後，進行下肢慣用腳最大自主等長收縮肌力測試 (Biodex System 4 Pro, Biodex Medical Systems, NY, USA)。受試者於正式測試前以 120°秒^{-1} 及 30°秒^{-1} 等兩組不同角速度進行每組 10 次的等速膝伸肌收縮 (動作範圍: 0~90 度) 作為熱身活動，熱身後休息恢復 3 分鐘，隨後開始進行三次 MVIC 測試。MVIC 測試方法為膝關節彎曲固定在 70 度，每次持續最大用力 5 秒，次與次之間休息 1 分鐘，並取三次中之最大值為 MVIC (Chen, Lin, Chen, Lin, & Nosaka, 2011)。

(4) 血液樣本

本研究將由合格之護理人員於各血液採集時間點 (基準值、運動後立即、運動後 3 小時、運動後 24 小時、運動後 48 小時) 進行肘前靜脈血採集，所得之血液以 3000g 離心 10 分鐘，分裝血漿及血清後冷凍於 -80°C 冰箱，以備進行各項血液生化指標之分析。

進行耐力運動後可能會有脫水現象發生，故需進行血漿量校正，以避免錯誤判讀實驗結果。本研究採用 Dill 與 Costill (1974) 的公式進行脫水校正，其公式如下：

$$\begin{aligned} \text{運動後血液量} &= \text{運動前血液量} \left(\frac{\text{運動前血紅素}}{\text{運動後血紅素}} \right) \\ \text{血漿量 (\%)} &= 100 \left(\frac{\text{運動後血漿量} - \text{運動前血漿量}}{\text{運動前血漿量}} \right) \end{aligned}$$

A. irisin

將血漿檢體使用 irisin ELISA 商業套裝試劑 (#EK-067-29 irisin, Phoenix Pharmaceuticals, USA) 依操作手冊之步驟進行酵素免疫分析。過去已有文獻 (Huh et al., 2015) 針對此試劑的使用進行驗證。血液樣本依第二代試劑建議以 1:1 的倍數進行稀釋。

B. 肌肉生長抑制素

將血漿檢體以 GDF-8/Myostatin Quantikine ELISA Kit (#DGDF80, R&D System, USA) 進行酵素免疫分析。

C. 介白素-6

將血清檢體使用 IL-6 ELISA kit (#HS600C, R&D System, USA) 進行酵素免疫分析。

D. 肌酸激酶

將血清檢體使用 Creatine Kinase Activity Assay kit (#ab155901, Abcam, UK) 以生化比色法進行分析。

(三) 資料處理

本研究所得結果以 SPSS 20.0 統計軟體進行分析處理。顯著水準定為 $\alpha = .05$ 。

1. 所有測得數據皆以平均數 (M) \pm 標準差 (SD) 呈現描述性統計結果。
2. 以重複量數二因子變異數分析比較不同處理 (重複因子：支鏈胺基酸增補、安慰劑) 在不同時間 (重複因子：基準值、運動後立即、運動後3小時、運動後24小時、運動後48小時) 所測得之依變項差異，事後比較採用 LSD 法。
3. 以皮爾遜積差相關求得 irisin 與肌肉生長抑制素、介白素-6 及肌酸激酶等血液指標在各時間點之相關性。

四、結果與討論

(一) 受試者基本資料

本研究之受試者特徵如表1所示。30分鐘下坡跑期間之能量消耗無處理間顯著差異 (BCAA: 302.33 ± 5.35 , PLA: 305.06 ± 3.68 kal; $p > .05$)，兩次實驗處理運動過程中之心跳率為每5分鐘皆持續顯著上升 (BCAA: 自145上升至176 bpm, PLA: 自140上升至177 bpm)，運動過程中各時間點心跳率於處理間無顯著差異 ($p > .05$)。

表1 受試者基本資料

	N=12
年齡 (yr)	22.81 ± 3.64
身體質量指數	19.83 ~ 24.97
最大攝氧量 (ml/kg/min)	43.27 ± 5.13
70% 最大攝氧量跑步速度 (km/h)	6.75 ± 1.07
支鏈胺基酸每次增補量 (g)	6.53 ± 0.56
支鏈胺基酸合計增補量 (g)	19.60 ± 1.69

註：Mean ± SD

(二) 肌酸激酶、最大自主等長收縮肌力、痠痛自覺程度

BCAA增補與安慰劑兩次實驗處理之血液肌酸激酶的處理與時間因子無交互作用，處理主效果亦未達顯著 ($p > .05$)。時間主效果顯示運動後24小時CK值為高峰，顯著高於其他各時間點，運動後各時間點CK值皆顯著高於運動前基準值，且運動後3小時與運動後48小時又顯著高於運動後立即 ($p < .05$)。運動後24小時，BCAA處理之CK值顯著高於控制處理 ($p < .05$) (圖3)。

兩次實驗處理之最大自主等長收縮肌力的處理與時間因子無交互作用，處理主效果亦未達顯著 ($p > .05$)。時間主效果顯示運動後各時間點之肌力表現皆顯著低於運動前基準值，而運動後48小時高於運動後立即與運動後3小時 ($p < .05$)。於運動後24小時，BCAA處理之肌力表現顯著低於控制處理 ($p < .05$)。

痠痛自覺程度在兩次實驗處理的處理與時間因子達交互作用 ($p < .05$)。進一步分析單純主要效果顯示，於運動後3小時及運動後24小時，BCAA增補處理的痠痛自覺程度顯著低於安慰劑處理 ($p < .05$)。

(三) irisin、肌肉生長抑制素、介白素-6

BCAA增補與安慰劑兩次實驗處理之血液irisin的處理與時間因子無交互作用，處理主效果亦未達顯著 ($p > .05$)。運動後24小時及運動後48小時之時間主效果顯示血液irisin濃度有高於運動前基準值的趨勢，但未達顯著差異 (運動後24小時： $p = .082$ ，運動後48小時， $p = .056$)。於運動後24小時，BCAA處理之irisin濃度有高於控制處理的趨勢 ($p = .053$)。

兩次實驗處理之肌肉生長抑制素的處理與時間因子無交互作用，處理主效果未達顯著 ($p > .05$)。時間主效果顯示運動後立即、運動後3小時血液myostatin濃度顯著高於基準值 ($p < .05$)。於運動後24小時，BCAA處理之血液myostatin濃度與控制處理間無顯著差異 ($p > .05$)。

血液IL-6濃度在兩次實驗處理的處理與時間因子交互作用未達顯著，處理主

效果亦未達顯著 ($p > .05$)。時間主效果顯示運動後3小時之血液IL-6濃度顯著高於其他所有時間點，且運動後立即IL-6濃度顯著高於基準值 ($p < .05$)。於運動後24小時，BCAA處理之血液IL-6濃度與控制處理間無顯著差異 ($p > .05$)。

(四) irisin與其他血液指標於運動後各時間點之相關

將兩次實驗處理之數據合併後進行irisin與各血液指標之相關分析，結果顯示irisin與myostatin、IL-6及CK等指標於各時間點數值間無顯著相關 ($p > .05$)。表2呈現irisin與其他血液指標於運動後各時間點變化率之相關性，分析結果顯示irisin與myostatin之運動後3小時變化率呈顯著負相關 ($r = -.436, p < .05$)，另觀察到irisin與CK之運動後24小時變化率有正相關的趨勢但未達顯著差異 ($r = .386, p = .051$)。

此外，myostatin與IL-6之運動後立即、運動後3小時變化率呈顯著正相關 (運動後立即： $r = .573$ ，運動後3小時： $r = .515$)，而myostatin與CK之運動後立即、運動後3小時變化率呈顯著正相關 (運動後立即： $r = .556$ ，運動後3小時： $r = .414$) ($p < .05$)，myostatin與CK之運動後24小時變化率則有正相關的趨勢但未達顯著差異 ($r = .396, p = .055$)。

表 2 irisin 與其他血液指標於運動後各時間點變化率之相關

$\Delta\%$ irisin	r	p
$\Delta\%$ myostatin		
運動後立即	-.192	.327
運動後 3 小時	-.436*	.020
運動後 24 小時	-.326	.090
運動後 48 小時	-.164	.405
$\Delta\%$ IL-6		
運動後立即	.245	.248
運動後 3 小時	-.206	.335
運動後 24 小時	-.030	.889
運動後 48 小時	-.046	.831
$\Delta\%$ CK		
運動後立即	.321	.110
運動後 3 小時	-.150	.465
運動後 24 小時	.386	.051
運動後 48 小時	.097	.638

註： $\Delta\%$ ，變化率=(該時間點-基準值)/基準值*100；* $p < .05$ ，達顯著相關

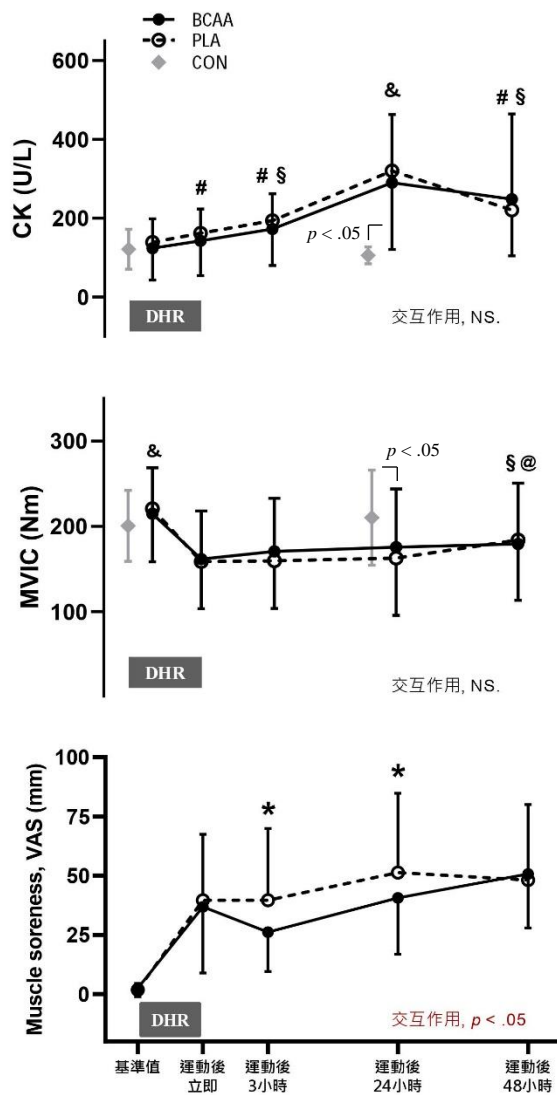


圖3 肌酸激酶濃度、最大自主等長收縮肌力、痠痛自覺程度

註：* $p < .05$ ，該時間點於處理間達顯著差異；# $p < .05$ ，與基準值達顯著差異；§ $p < .05$ ，與運動後立即達顯著差異；@ $p < .05$ ，與運動後3小時達顯著差異；& $p < .05$ ，與其餘所有時間點達顯著差異；DHR，downhill running，下坡跑；NS，未達顯著。

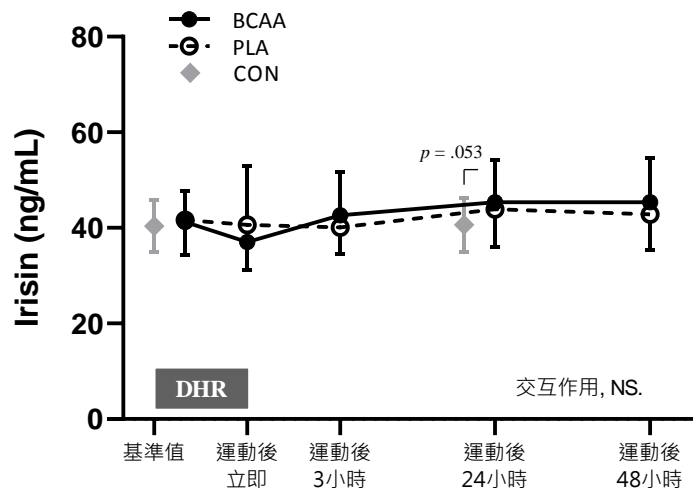


圖4 血液 irisin 濃度

註：DHR，downhill running，下坡跑；NS，未達顯著。

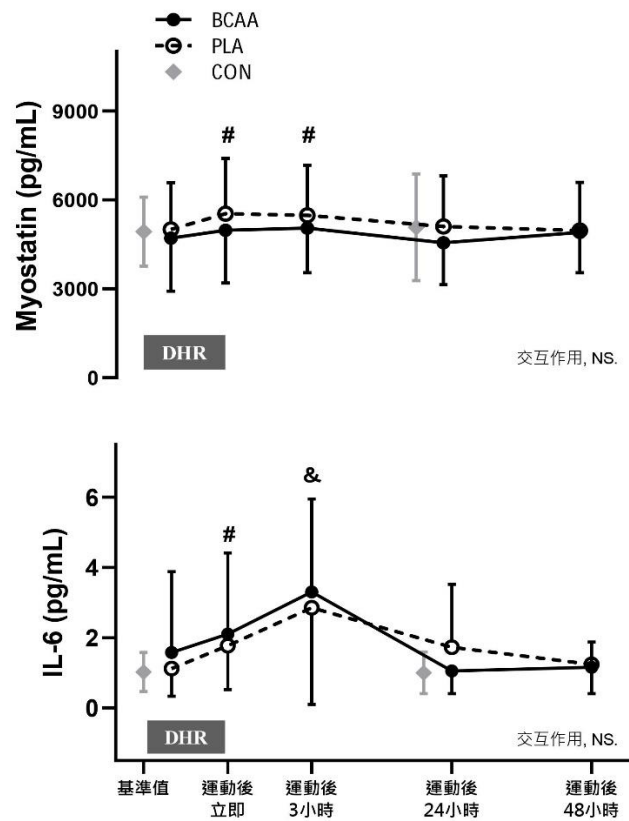


圖5 血液 myostatin、IL-6 濃度

註：# $p < .05$ ，與基準值達顯著差異；& $p < .05$ ，與其餘所有時間點達顯著差異；DHR，downhill running，下坡跑；NS，未達顯著。

本研究旨在探討於下坡跑運動前及運動後恢復期增補支鏈胺基酸，是否會對肌肉激素irisin的分泌有所影響，且其變化是否和運動誘發之肌肉損傷或其他與肌肉合成相關之血液指標有所關聯。

根據本研究之結果，下坡跑運動後血液中的CK濃度顯著上升，並於運動後24小時達到峰值，而運動後48小時雖較為下降但仍高於基準值，同時，最大自主等長收縮肌力的表現在下坡跑後立即顯著下降，運動後48小時有所恢復但仍低於運動前的基準值，痠痛自覺指數則是於運動後顯著上升，且運動後24、48小時高於基準值。上述肌肉損傷、肌肉痠痛指標之變化與過去進行下坡跑的研究結果相似 (Bontemps, Vercruyssen, Gruet, & Louis, 2020; Malm et al., 2004)，此外，肌力表現與CK值於運動後24小時與控制處理達顯著差異，亦顯示下坡跑運動確實造成運動後肌力表現和肌肉損傷指標的改變。然於本研究中，支鏈胺基酸增補僅於運動後3、24小時改善了主觀性的痠痛自覺程度，對於離心運動後肌力表現的下降幅度及血液中CK濃度的上升程度則沒有造成影響。雖然支鏈胺基酸被認為在運動造成肌肉損傷的狀態下能減緩運動後之痠痛與損傷程度，並有助於肌肉的合成與修補作用 (da Luz, Nicastro, Zanchi, Chaves, & Lancha, 2011)，但過去同樣有研究結果顯示一天增補四次每次7.3克支鏈胺基酸，或連續28天增補支鏈胺基酸複合物，對下坡跑後的肌力表現或各項肌肉損傷指標皆無影響 (Jackman et al., 2010; Ormsbee et al., 2015)，本研究受試者所攝取之支鏈胺基酸總量約為19.6克，過去有研究在包含上坡及下坡的長距離高強度跑步訓練期間攝取20克支鏈胺基酸，發現能降低痠痛程度 (Matsumoto et al., 2009)，進行阻力運動的研究指出連續12日增補每日20克支鏈胺基酸能達到減緩痠痛的作用，但僅於運動前攝取一次5克或每公斤體重100毫克的支鏈胺基酸亦能改善運動後的痠痛情形 (Howatson et al., 2012; Shimomura et al., 2006; 2010)。由上述文獻看來，支鏈胺基酸增補劑量及造成肌肉損傷之運動型態的不同，皆可能影響增補對於肌肉損傷或肌力表現的影響，但就本研究及過去研究結果仍未能得出針對減緩痠痛、促進肌力表現恢復或改善肌肉損傷程度等方面較適宜之支鏈胺基酸增補策略。

本研究於下坡跑運動前及運動後增補共每公斤體重300毫克支鏈胺基酸，除未能改變肌力表現及肌肉損傷程度外，亦未影響irisin、myostatin及IL-6之分泌。亦有其他研究指出單次阻力運動或數週的阻力運動訓練搭配支鏈胺基酸增補或其他形態之蛋白質增補，無法於單次運動或運動訓練本身之效果外進一步影響與肌肉合成調控有關之myostatin或IL-6之濃度變化 (Bagheri, Forbes, Candow, & Wong, 2021; Hulmi et al., 2009; Jackman et al., 2010)，故支鏈胺基酸雖已被證實對於蛋白質合成或分解的路徑有所影響 (Herningtyas et al., 2008)，但於運動造成肌肉損傷的情況下增補外源性支鏈胺基酸，則不一定能對肌肉合成或修補產生影響。

Tsuchiya等 (2018) 的研究曾發現相對於水平跑運動，下坡跑運動更能刺激irisin於運動後的分泌，另有動物實驗指出老鼠在進行一次合計共90分鐘的下坡跑

後，運動後48小時血液irisin濃度顯著高於未進行特定運動的控制組 (Muraio, Imano, Akiyama, Kawakami, & Nakajima, 2019)。先前曾有研究證實，較高的跑步速度會刺激較大幅度的irisin分泌 (Tsuchiya et al., 2014)，在本研究中，下坡跑運動後irisin濃度未顯著高於運動前，而於運動後24小時BCAA增補處理的irisin濃度雖有高於控制處理的趨勢但未達顯著差異，可能因本研究之受試者為無規律運動族群，故雖下坡跑的相對強度與持續時間皆與前述Tsuchiya等 (2018) 相同，但實際跑步速度較低而未明顯刺激irisin分泌。Myostatin濃度於下坡跑運動後立即、運動後3小時顯著上升，雖抑制myostatin會促進肌肉合成 (Sharma et al., 2001)，但過去亦有研究指出，進行極費力運動或是在對人體造成過大負擔的情況下，myostatin濃度可能反而上升 (Kerschman-Schindl et al., 2015, Willoughby, D. S. & Taylor, 2004)。由於本研究受試者為平時極少經驗一定程度之肌肉損傷的族群，故30分鐘下坡跑對其來說可能已屬於極大負擔的運動，因而使得myostatin於運動後有顯著上升的現象。

本研究觀察到血液irisin濃度於運動後3小時之變化情形與myostatin變化呈負相關，與過去Huh等 (2014) 以外源性irisin進行骨骼肌細胞培養後發現myostatin的基因表現顯著下降，且其變化與irisin之處理呈現劑量反應關係相符。同時，另一細胞研究結果亦指出，當阻斷myostatin基因時，會使得irisin的前驅物FNDC5向上調節 (Shan, Liang, Bi, & Kuang, 2013)。而有關實際人體運動訓練的研究結果則指出，有氧運動訓練或阻力運動訓練後，irisin與myostatin呈顯著正相關，但另一研究則指出，12週的同步訓練後，irisin顯著上升而myostatin則顯著下降 (Motahari Rad, Bijeh, Attarzadeh Hosseini, & Raouf Saeb, 2020; Shabani, & Izaddoust, 2018)。故有關單次運動或運動訓練情況下，irisin與myostatin兩者間的變化關係及其代表意義仍有待進一步釐清。此外，本研究亦發現下坡跑運動後myostatin與IL-6及CK的變化呈顯著正相關，顯示myostatin在運動誘發肌肉損傷的情況下，其濃度變化與肌肉損傷或是發炎程度亦有一定的相關性 (Śliwicka, Cisoń, Kasprzak, Nowak, & Pilaczyńska-Szcześniak, 2017)。

綜上所述，於下坡跑運動前、後增補共每公斤體重300毫克之支鏈胺基酸，雖能改善運動後3、24小時的主觀痠痛程度，但無法減緩於離心運動後造成的肌肉損傷及肌力表現下降。下坡跑誘發肌肉損傷後irisin濃度無顯著變化，myostatin則於運動後立即、3小時顯著上升，並與irisin之變化呈顯著負相關，然兩者間的關係仍有待未來更多的研究進行確認。

五、參考文獻

- Abedpoor, N., Taghian, F., & Ghaedi, K. (2018). PPARgamma/Pgc-1alpha-Fndc5 pathway up-regulation in gastrocnemius and heart muscle of exercised, branched chain amino acid diet fed mice. *Nutrition and Metabolism*, *15*, 59.
- Anastasilakis, A. D., Polyzos, S. A., Saridakis, Z. G., Kynigopoulos, G., Skouvaklidou, E. C., Molyvas, D., . . . Mantzoros, C. S. (2014). Circulating irisin in healthy, young individuals: day-night rhythm, effects of food intake and exercise, and associations with gender, physical activity, diet, and body composition. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, *99*(9), 3247-3255.
- Armstrong, R. B., Ogilvie, R. W., & Schwane, J. A. (1983). Eccentric exercise-induced injury to rat skeletal muscle. *Journal of Applied Physiology: Respiratory, Environmental and Exercise Physiology*, *54*(1), 80-93.
- Aydin, S., Aydin, S., Kuloglu, T., Yilmaz, M., Kalayci, M., Sahin, I., & Cicek, D. (2013). Alterations of irisin concentrations in saliva and serum of obese and normal-weight subjects, before and after 45min of a Turkish bath or running. *Peptides*, *50C*, 13-18.
- Bagheri, R., Forbes, S. C., Candow, D. G., & Wong, A. (2021). Effects of branched-chain amino acid supplementation and resistance training in postmenopausal women. *Experimental Gerontology*, *144*, 111185.
- Blomstrand, E., & Saltin, B. (2001). BCAA intake affects protein metabolism in muscle after but not during exercise in humans. *American Journal of Physiology. Endocrinology and Metabolism*, *281*(2), E365-374.
- Bontemps, B., Vercruyssen, F., Gruet, M., & Louis, J. (2020). Downhill Running: What are the effects and how can we adapt? a narrative review. *Sports Medicine*, *50*, 2083-2110.
- Boström, P., Wu, J., Jedrychowski, M., Korde, A., Ye, L., Lo, J., . . . Long, J. (2012). A PGC1-alpha-dependent myokine that drives brown-fat-like development of white fat and thermogenesis. *Nature*, *481*, 463 - 468.
- Carroll, S., & Dudfield, M. (2004). What is the relationship between exercise and metabolic abnormalities? A review of the metabolic syndrome. *Sports Medicine*, *34*(6), 371-418.
- Chen, T. C., Nosaka, K., Lin, M. J., Chen, H. L., & Wu, C. J. (2009). Changes in running economy at different intensities following downhill running. *Journal of Sports Science*, *27*(11), 1137-1144.
- Chen, T. C., Lin, K.Y., Chen, H. L., Lin, M. J., & Nosaka, K. (2011). Comparison in eccentric exercise-induced muscle damage among four limb muscles. *European Journal of Applied Physiology*, *111*(2), 211-223.

- Chen, Y. T., Fredericson, M., Matheson, G., & Phillips, E. (2013). Exercise is medicine. *Current Physical Medicine and Rehabilitation Reports*, 1(1), 48-56.
- Colberg, S. R., Sigal, R. J., Fernhall, B., Regensteiner, J. G., Blissmer, B. J., Rubin, R. R., . . . Braun, B. (2010). Exercise and type 2 Diabetes: the American College of Sports Medicine and the American Diabetes Association: joint position statement. *Diabetes Care*, 33(12), e147-e167.
- Correia, J. C., Ferreira, D. M. S., & Ruas, J. L. (2015). Intercellular: local and systemic actions of skeletal muscle PGC-1 α s. *Trends in Endocrinology and Metabolism*, 26(6), 305-314.
- da Luz, C. R., Nicasastro, H., Zanchi, N. E., Chaves, D. F., & Lancha, A. H., Jr. (2011). Potential therapeutic effects of branched-chain amino acids supplementation on resistance exercise-based muscle damage in humans. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 8, 23.
- Dill, D. B., & Costill, D. L. (1974). Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *Journal of Applied Physiology*, 37(2), 247-248.
- Durand, R. J., Castracane, V. D., Hollander, D. B., Tryniecki, J. L., Bamman, M. M., O'Neal, S., . . . Kraemer, R. R. (2003). Hormonal responses from concentric and eccentric muscle contractions. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 35(6), 937-943.
- Féasson, L., Stockholm, D., Freyssenet, D., Richard, I., Duguez, S., Beckmann, J. S., & Denis, C. (2002). Molecular adaptations of neuromuscular disease-associated proteins in response to eccentric exercise in human skeletal muscle. *Journal of Physiology*, 543(Pt 1), 297-306.
- Fouré, A., Nosaka, K., Gastaldi, M., Mattei, J. P., Boudinet, H., Guye, M., . . . Gondin, J. (2016). Effects of branched-chain amino acids supplementation on both plasma amino acids concentration and muscle energetics changes resulting from muscle damage: A randomized placebo controlled trial. *Clinical Nutrition*, 35(1), 83-94.
- Fouré, A., & Bendahan, D. (2017). Is branched-chain amino acids supplementation an efficient nutritional strategy to alleviate skeletal muscle damage? a systematic review. *Nutrients*, 9(10).
- Glass, S., Dwyer, G. B., & American College of Sports Medicine (Eds.). (2007). *ACSM'S metabolic calculations handbook*. Philadelphia, PA: Lippincott Williams & Wilkins.
- Greer, B. K., Woodard, J. L., White, J. P., Arguello, E. M., & Haymes, E. M. (2007). Branched-chain amino acid supplementation and indicators of muscle damage after endurance exercise. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise*

Metabolism, 17(6), 595-607.

- Harper, A. E., Miller, R. H., & Block, K. P. (1984). Branched-chain amino acid metabolism. *Annual Review of Nutrition*, 4, 409-454.
- Herningtyas, E. H., Okimura, Y., Handayaningsih, A. E., Yamamoto, D., Maki, T., Iida, K., . . . Chihara, K. (2008). Branched-chain amino acids and arginine suppress MaFbx/atrogen-1 mRNA expression via mTOR pathway in C2C12 cell line. *Biochimica et Biophysica Acta*, 1780(10), 1115-1120.
- Holecek, M. (2018). Branched-chain amino acids in health and disease: metabolism, alterations in blood plasma, and as supplements. *Nutrition and Metabolism*, 15, 33.
- Howatson, G., Hoad, M., Goodall, S., Tallent, J., Bell, P. G., & French, D. N. (2012). Exercise-induced muscle damage is reduced in resistance-trained males by branched chain amino acids: a randomized, double-blind, placebo controlled study. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, 9(1), 20.
- Huh, J. Y., Dincer, F., Mesfum, E., & Mantzoros, C. S. (2014). Irisin stimulates muscle growth-related genes and regulates adipocyte differentiation and metabolism in humans. *International Journal of Obesity*, 38(12), 1538-1544.
- Huh, J. Y., Mougios, V., Kabasakalis, A., Fatouros, I., Siopi, A., Douroudos, I. I., . . . Mantzoros, C. S. (2014). Exercise-induced irisin secretion is independent of age or fitness level and increased irisin may directly modulate muscle metabolism through AMPK activation. *Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 99(11), E2154-2161.
- Huh, J. Y., Mougios, V., Skraparlis, A., Kabasakalis, A., & Mantzoros, C. S. (2014). Irisin in response to acute and chronic whole-body vibration exercise in humans. *Metabolism*, 63(7), 918-921.
- Huh, J. Y., Panagiotou, G., Mougios, V., Brinkoetter, M., Vamvini, M. T., Schneider, B. E., & Mantzoros, C. S. (2012). FNDC5 and irisin in humans: I. Predictors of circulating concentrations in serum and plasma and II. mRNA expression and circulating concentrations in response to weight loss and exercise. *Metabolism*, 61(12), 1725-1738.
- Huh, J. Y., Siopi, A., Mougios, V., Park, K. H., & Mantzoros, C. S. (2015). Irisin in response to exercise in humans with and without metabolic syndrome. *The Journal of Clinical Endocrinology and Metabolism*, 100(3), E453-457.
- Hulmi, J. J., Tannerstedt, J., Selanne, H., Kainulainen, H., Kovanen, V., & Mero, A. A. (2009). Resistance exercise with whey protein ingestion affects mTOR signaling pathway and myostatin in men. *Journal of Applied Physiology*, 106(5), 1720-1729.
- Jackman, S. R., Witard, O. C., Jeukendrup, A. E., & Tipton, K. D. (2010).

- Branched-chain amino acid ingestion can ameliorate soreness from eccentric exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 42(5), 962-970.
- Jang, H. B., Kim, H. J., Kang, J. H., Park, S. I., Park, K. H., & Lee, H. J. (2017). Association of circulating irisin levels with metabolic and metabolite profiles of Korean adolescents. *Metabolism*, 73, 100-108.
- Kerschman-Schindl, K., Thalmann, M. M., Weiss, E., Tsironi, M., Föger-Samwald, U., Meinhart, J., ... & Pietschmann, P. (2015). Changes in serum levels of myokines and Wnt-antagonists after an ultramarathon race. *PLoS One*, 10(7), e0132478.
- Kraemer, W. J., & Ratamess, N. A. (2005). Hormonal responses and adaptations to resistance exercise and training. *Sports Medicine*, 35(4), 339-361.
- Lee, H. J., Lee, J. O., Kim, N., Kim, J. K., Kim, H. I., Lee, Y. W., . . . Kim, H. S. (2015). Irisin, a novel myokine, regulates glucose uptake in skeletal muscle cells via AMPK. *Molecular Endocrinology*, 29(6), 873-881.
- Lee, P., Linderman, Joyce D., Smith, S., Brychta, Robert J., Wang, J., Idelson, C., . . . Celi, Francesco S. (2014). Irisin and FGF21 are cold-Induced endocrine activators of brown fat function in humans. *Cell Metabolism*, 19(2), 302-309.
- Malm, C., Sjödin, B., Sjöberg, B., Lenkei, R., Renström, P., Lundberg, I. E., & Ekblom, B. (2004). Leukocytes, cytokines, growth factors and hormones in human skeletal muscle and blood after uphill or downhill running. *Journal of Physiology*, 556(3), 983-1000.
- Matsumoto, K., Koba, T., Hamada, K., Sakurai, M., Higuchi, T., & Miyata, H. (2009). Branched-chain amino acid supplementation attenuates muscle soreness, muscle damage and inflammation during an intensive training program. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 49(4), 424-431.
- Motahari Rad, M., Bijeh, N., Attarzadeh Hosseini, S. R., & Raouf Saeb, A. (2020). The effect of two concurrent exercise modalities on serum concentrations of FGF21, irisin, follistatin, and myostatin in men with type 2 diabetes mellitus. *Archives of Physiology and Biochemistry*, 1-10.
- Murao, M., Imano, T., Akiyama, J., Kawakami, T., & Nakajima, M. (2019). Effect of single bout downhill running on the serum irisin concentrations in rats. *Growth Factors*, 37(5-6), 257-262.
- Negro, M., Giardina, S., Marzani, B., & Marzatico, F. (2008). Branched-chain amino acid supplementation does not enhance athletic performance but affects muscle recovery and the immune system. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 48(3), 347-351.
- Nosaka, K., Sakamoto, K., Newton, M., & Sacco, P. (2001). The repeated bout effect of reduced-load eccentric exercise on elbow flexor muscle damage. *European Journal of Applied Physiology*, 85(1-2), 34-40.

- Ormsbee, M. J., Ward, E. G., Bach, C. W., Arciero, P. J., McKune, A. J., & Panton, L. B. (2015). The impact of a pre-loaded multi-ingredient performance supplement on muscle soreness and performance following downhill running. *Journal of the International Society of Sports Nutrition*, *12*(1), 1-9.
- Pedersen, B. K., & Febbraio, M. A. (2012). Muscles, exercise and obesity: skeletal muscle as a secretory organ. *Nature Reviews Endocrinology*, *8*(8), 457-465.
- Proske, U., & Allen, T. J. (2005). Damage to skeletal muscle from eccentric exercise. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *33*(2), 98-104.
- Reza, M. M., Subramaniam, N., Sim, C. M., Ge, X., Sathiakumar, D., & McFarlane, C. (2017). Irisin is a pro-myogenic factor that induces skeletal muscle hypertrophy and rescues denervation-induced atrophy. *Nature Communications*, *8*(1), 1104.
- Rodrigues, A. C., Ferreira, E. F., Carneiro-Júnior, M. A., Natali, A. J., & Bressan, J. (2016). Effects of exercise on the circulating concentrations of irisin in healthy adult individuals: A review. *Science and Sports*, *31*(5), 251-260.
- Rohde, T., MacLean, D. A., Richter, E. A., Kiens, B., & Pedersen, B. K. (1997). Prolonged submaximal eccentric exercise is associated with increased levels of plasma IL-6. *American Journal of Physiology-Endocrinology And Metabolism*, *273*(1), E85-E91.
- Ruas, J. L., White, J. P., Rao, R. R., Kleiner, S., Brannan, K. T., Harrison, B. C., . . . Spiegelman, B. M. (2012). A PGC-1 α isoform induced by resistance training regulates skeletal muscle hypertrophy. *Cell*, *151*(6), 1319-1331.
- Shabani, R., & Izaddoust, F. (2018). Effects of aerobic training, resistance training, or both on circulating irisin and myostatin in untrained women. *Acta Gymnica*, *48*(2), 47-55.
- Shan, T., Liang, X., Bi, P., & Kuang, S. (2013). Myostatin knockout drives browning of white adipose tissue through activating the AMPK-PGC1 α -Fndc5 pathway in muscle. *The FASEB Journal*, *27*(5), 1981-1989.
- Sharma, M., Langley, B., Bass, J., & Kambadur, R. (2001). Myostatin in muscle growth and repair. *Exercise and Sport Sciences Reviews*, *29*(4), 155-158.
- Shimomura, Y., Murakami, T., Nakai, N., Nagasaki, M., & Harris, R. A. (2004). Exercise promotes BCAA catabolism: effects of BCAA supplementation on skeletal muscle during exercise. *The Journal of Nutrition*, *134*(6 Suppl), 1583s-1587s.
- Shimomura, Y., Yamamoto, Y., Bajotto, G., Sato, J., Murakami, T., Shimomura, N., . . . Mawatari, K. (2006). Nutraceutical effects of branched-chain amino acids on skeletal muscle. *The Journal of Nutrition*, *136*(2), 529s-532s.
- Shimomura, Y., Inaguma, A., Watanabe, S., Yamamoto, Y., Muramatsu, Y., Bajotto,

- G., . . . Mawatari, K. (2010). Branched-chain amino acid supplementation before squat exercise and delayed-onset muscle soreness. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 20(3), 236-244.
- Śliwicka, E., Cisoń, T., Kasprzak, Z., Nowak, A., & Pilaczyńska-Szcześniak, Ł. (2017). Serum irisin and myostatin levels after 2 weeks of high-altitude climbing. *PloS one*, 12(7), e0181259.
- Tanaka, H., Monahan, K. D., & Seals, D. R. (2001). Age-predicted maximal heart rate revisited. *Journal of the American College of Cardiology*, 37(1), 153-156.
- Toft, A. D., Jensen, L. B., Bruunsgaard, H., Ibfelt, T., Halkjær-Kristensen, J., Febbraio, M., & Pedersen, B. K. (2002). Cytokine response to eccentric exercise in young and elderly humans. *American Journal of Physiology-Cell Physiology*, 283(1), C289-C295.
- Toth, K. G., McKay, B. R., De Lisio, M., Little, J. P., Tarnopolsky, M. A., & Parise, G. (2011). IL-6 induced STAT3 signalling is associated with the proliferation of human muscle satellite cells following acute muscle damage. *PLoS One*, 6(3), e17392.
- Trabulo, M., Mendes, M., Mesquita, A., & Seabra-Gomes, R. (1994). Does the modified Bruce protocol induce physiological stress equal to that of the Bruce protocol? *Revista Portuguesa de Cardiologia*, 13(10), 753-760.
- Tsuchiya, Y., Ando, D., Goto, K., Kiuchi, M., Yamakita, M., & Koyama, K. (2014). High-intensity exercise causes greater irisin response compared with low-intensity exercise under similar energy consumption. *Tohoku Journal of Experimental Medicine*, 233(2), 135-140.
- Tsuchiya, Y., Mizuno, S., & Goto, K. (2018). Irisin response to downhill running exercise in humans. *Journal of Exercise Nutrition and Biochemistry*, 22(2), 12-17.
- Vaughan, R. A., Gannon, N. P., Barberena, M. A., Garcia-Smith, R., Bisoffi, M., Mermier, C. M., . . . Trujillo, K. A. (2014). Characterization of the metabolic effects of irisin on skeletal muscle in vitro. *Diabetes, Obesity and Metabolism*, 16(8), 711-718.
- White, J. P., Wrann, C. D., Rao, R. R., Nair, S. K., Jedrychowski, M. P., You, J. S., . . . Spiegelman, B. M. (2014). G protein-coupled receptor 56 regulates mechanical overload-induced muscle hypertrophy. *Proceedings of the National Academy of Sciences*, 111(44), 15756-15761.
- Willoughby, D. S., & Taylor, L. (2004). Effects of concentric and eccentric muscle actions on serum myostatin and follistatin-like related gene levels. *Journal of Sports Science and Medicine*, 3(4), 226.

108年度專題研究計畫成果彙整表

計畫主持人：王鶴森		計畫編號：108-2410-H-003-119-		
計畫名稱：支鏈胺基酸增補對下坡跑後肌肉激素－irisin及肌肉損傷與合成指標之效應				
成果項目		量化	單位	質化 (說明：各成果項目請附佐證資料或細項說明，如期刊名稱、年份、卷期、起訖頁數、證號...等)
國內	學術性論文	期刊論文	0	篇
		研討會論文	0	
		專書	0	本
		專書論文	0	章
		技術報告	0	篇
		其他	0	篇
國外	學術性論文	期刊論文	0	篇
		研討會論文	0	
		專書	0	本
		專書論文	0	章
		技術報告	0	篇
		其他	0	篇
參與計畫人力	本國籍	大專生	0	人次
		碩士生	0	
		博士生	0	
		博士級研究人員	0	
		專任人員	0	
	非本國籍	大專生	0	
		碩士生	0	
		博士生	0	
		博士級研究人員	0	
		專任人員	0	
其他成果 (無法以量化表達之成果如辦理學術活動、獲得獎項、重要國際合作、研究成果國際影響力及其他協助產業技術發展之具體效益事項等，請以文字敘述填列。)				