

合併補充支鏈胺基酸與瓜胺酸對高強度 阻力訓練後發力率無顯著影響

詹庭傑¹、張振崗²

¹ 國立臺灣體育運動大學運動健康科學學系

² 國立臺灣體育運動大學競技運動學系

摘要

目的：阻力運動會誘發中樞疲勞，可能原因之一是大腦血清素濃度增加。色胺酸是合成血清素的前驅物，補充支鏈胺基酸可能減少色胺酸進入大腦，減少血清素合成，進而減緩中樞疲勞；補充瓜胺酸可能可以協助移除運動中所產生的氨。本研究探討合併補充支鏈胺基酸和瓜胺酸對下肢高強度阻力訓練誘發之疲勞的影響，以等長下肢中段拉(isometric mid-thigh pull)發力率做為肌肉疲勞的指標，並探討可能的生化機轉。方法：以 10 名有阻力訓練經驗的健康男性大學生為對象，採隨機單盲交叉設計，每位受試者皆接受 2 次測試，以 85% 一次反覆最大重量(1 repetition maximum)進行深蹲訓練，每組 5 次，共 5 組，於阻力訓練前、訓練後立即、訓練後 24 小時，分別進行等長下肢中段拉測試。AA 測試於訓練前補充支鏈胺基酸 0.1 g/kg 及瓜胺酸 0.025 g/kg，PLA 測試則補充安慰劑。結果：PLA 測試訓練後等長下肢中段拉最大力量發力率較訓練前有降低的趨勢($p=0.083$)，而在 50, 90, 150, 200 毫秒之發力率及最大力量在二次測試間均無顯著差異。二次測試訓練前後血漿氨濃度均無顯著差異；PLA 測試血漿尿素濃度在訓練後顯著低於基準值，AA 測試血漿尿素濃度則在各時間點則無顯著差異。結論：在本研究的阻力訓練期間，氨合成並未顯著增加，而補充瓜胺酸可能增加訓練期間的尿素循環，移除了在阻力訓練期間代謝支鏈胺基酸所產生的氨，使得 AA 測試訓練後的血漿氨濃度維持與訓練前相同；但即使有此效果，補充支鏈胺基酸與瓜胺酸仍對阻力訓練後之疲勞無顯著影響。

關鍵詞：中樞疲勞、支鏈胺基酸、瓜胺酸、色胺酸、阻力訓練、等長下肢中段拉

通訊作者：張振崗

E-mail: wspahn@ntus.edu.tw

DOI: 10.3966/2226535X2020060902003

壹、緒論

阻力運動造成的疲勞可分為兩大部分：周邊疲勞和中樞疲勞，周邊疲勞主要來自肌肉和周邊神經系統，中樞疲勞則主要來自中樞神經系統，尤其是大腦。大多數的研究著重於周邊疲勞，但隨著研究儀器和方法的進步，近年中樞疲勞的相關研究也逐漸增加。神經訊號的自主活化(voluntary activation)下降是常用的中樞疲勞指標，以 95% 1 repetition maximum (RM) 進行 8 組，每組 2 次的蹲舉和硬舉，會造成最大等長收縮時的自主活化逐漸下降(Barnes, Miller, Reeve, & Stewart, 2019)；以 50% 強度進行膝關節等長收縮至衰竭，也會導致自主活化下降 (Rio-Rodriguez, Iglesias-Soler, & Fernandez Del Olmo, 2016)，表示這些阻力運動會誘發中樞疲勞。另一個以有阻力訓練經驗的運動員為對象的研究指出，慣用手進行二頭肌彎舉直到衰竭後，再以非慣用手進行二頭肌彎舉直到衰竭，發現非慣用手運動持續時間較事先沒有進行慣用手運動時為少，顯示之前的慣用手運動可能誘發中樞疲勞，而影響了後續非慣用手的運動表現(Triscott et al., 2008)。

造成中樞疲勞有許多可能的因素，其中之一是大腦血清素濃度增加(Blomstrand, 2001)。色胺酸是大腦合成血清素的前驅物，血液中的游離色胺酸 (free tryptophan) 可經由 L-系統轉運蛋白(L-system transporter)通過血腦障壁，進入大腦(Pardridge, 1998)。將色胺酸注射入大鼠大腦，在運動期間會增加下視丘視前區(hypothalamic preoptic area)血清素濃度，且此濃度與耐力運動持續至衰竭時間呈反比(Soares, Coimbra, & Marubayashi, 2007)，顯示色胺酸在大腦中透過合成血清素，誘發中樞疲勞。支鏈胺基酸(branched-chain amino acids, BCAA)是白胺酸 (leucine)、異白胺酸 (isoleucine)、纈胺酸(valine)的統稱，可與色胺酸競爭 L-系統轉運蛋白(Fernstrom, 2005)，可能可以減少色胺酸進入大腦，減少大腦血清素合成，進而減緩中樞疲勞。動物實驗顯示，補充 BCAA 可以減少大腦色胺酸及血清素濃度，並延長耐力運動至衰竭的時間(Calders, Pannier, Matthys, & Lacroix, 1997; Yamamoto & Newsholme, 2000)。在人體實驗方面，少數研究顯示補充 BCAA 可以降低耐力運動期間的疲勞感覺(Blomstrand, Hassmen, Ek, Ekblom, & Newsholme, 1997)，並改善認知功能(Hassmen, Blomstrand, Ekblom, & Newsholme, 1994)，但大多數研究顯示對運動表現沒有顯著影響(Cheuvront et al., 2004; Greer, White, Arguello, & Haymes,

2011; Nelson et al., 2012)。

補充 BCAA 對人體運動表現沒有顯著影響的原因可能來自於運動期間增加的 BCAA 代謝(Katz, Broberg, Sahlin, & Wahren, 1986)，造成血氨濃度增加 (Davis, Welsh, De Volve, & Alderson, 1999)，氨可進入大腦並誘發中樞疲勞(Nybo, Dalsgaard, Steensberg, Moller, & Secher, 2005; Wilkinson, Smeeton, & Watt, 2010)，而抵銷 BCAA 的效果。為了避免氨過度堆積，近年有研究採用合併補充 BCAA、精胺酸(arginine)、瓜胺酸(citrulline)，精胺酸是尿素循環中間產物，補充精胺酸可能可以提高尿素循環，進而減少氨堆積(Tsuei et al., 2003)；精胺酸同時為一氧化氮(nitric oxide)前驅物，可促進一氧化氮合成，刺激血管擴張及增加血流量，協助移除氨和乳酸等代謝產物(Schaefer et al., 2002)。但人體對精胺酸吸收率較低，反而以補充瓜胺酸的方式，可更有效提升血液中精胺酸濃度，並促進一氧化氮合成(Schwedhelm et al., 2008; Moïnard & Cynober, 2007)，瓜胺酸同時也是尿素循環的中間產物，可能可以協助移除運動中所產生的氨(Sureda et al., 2010)。以各種項目運動員為對象的研究顯示，合併補充 BCAA、精胺酸、瓜胺酸可以提升連續二天間歇性高強度運動(Chang et al., 2015)、連續二天耐力運動(Cheng et al., 2016)、8 x 50 公尺間歇游泳等體能表現(Hsueh, Wu, Tsai, Wu, & Chang, 2018)，並減緩疲勞所造成的網球技術表現的衰退(Yang, Wu, Chen, & Chang, 2017)，及跆拳道踢擊的前動作反應時間(pre-motor reaction time)的衰退(Chen, Wu, Chen, Chou, & Chang, 2016)，顯示這種補充的方式可能可以透過降低血漿游離色胺酸/BCAA 比率，減緩中樞疲勞，並提升體能和技术表現。

許多研究和體能測試都著重於最大肌力，肌肉產生最大力量所需的時間約需 300 毫秒，但是許多運動的動作時間卻少於這個時間，例如衝刺跑、跳高、跳遠時腳與地面接觸的時間，投擲標槍、鉛球、棒球時手部施力時間等，僅約 80-200 毫秒，因此，在這段時間內的發力率(rate of development, RFD)，與許多爆發力型運動表現有密切的關係(Taber, Bellon, Abbott, & Bingham, 2016)。等長下肢中段拉(isometric mid-thigh pull, IMTP)測驗與常見運動中之許多動作有相似之關節角度，此測試所得之發力率與衝刺(Brady, Harrison, Flanagan, Haff, & Comyns, 2019)、抓舉、挺舉(Haff et al., 2005; Beckham et al., 2013)、投擲(Stone et al., 2003)等運動表現皆呈現高度相關。針對舉重選手進行為期 20 周之訓練狀態監控，發現當訓練量增

加時，IMTP 發力率下降的幅度大於最大等長肌力，顯示發力率可能更適合做為檢測疲勞的指標(Hornsby et al., 2017)。

阻力訓練可能會提升 BCAA 代謝速率，造成血液 BCAA 濃度下降，導致血漿游離色胺酸/BCAA 比率上升，進而使更多的色胺酸進入大腦中，合成更多血清素，而誘發中樞疲勞(Shimomura et al., 2009)，影響後續訓練的強度。IMTP 所測得的發力率，與許多種動作形式的表現相關，可以做為肌肉疲勞的指標。因此，本研究探討合併補充 BCAA 和瓜胺酸對下肢高強度阻力訓練誘發之肌肉疲勞的影響，以 IMTP 的發力率做肌肉疲勞的指標，並探討此補充品對阻力訓練期間氨代謝的影響。

貳、研究方法

一、受試者

本研究受試者為 10 名健康男性大學生，從事規律阻力訓練 6 個月以上，無已知心血管疾病或其他慢性疾病，實驗期間未服用藥物、抽菸、喝酒及補充高蛋白營養品等。本實驗通過中國醫藥大學暨附設醫院研究倫理委員會審核 (CRREC-106-032)，於實驗前充分告知受試者實驗目的、流程及風險，並由受試者簽署研究同意書。

二、實驗設計

本研究採隨機單盲交叉設計，每位受試者皆接受 2 次測試，每次測試連續 2 日，兩次測試間隔 7 日排空期。每位受試者在兩次測試期間皆攝取相同份量的食物，運動測試前 3 天，禁止進行運動訓練或激烈身體活動，以避免肌肉損傷或影響體能狀況。實驗流程如圖 1，受試者於受測日早晨空腹至實驗室，由合格醫檢師自手肘靜脈採集血液樣本，採血點包含早餐前、阻力訓練前、阻力訓練後；受測隔日早晨空腹至實驗室，先進行訓練後 24 小時之 IMTP 測試，再自手肘靜脈採集阻力訓練後 24 小時之血液樣本。

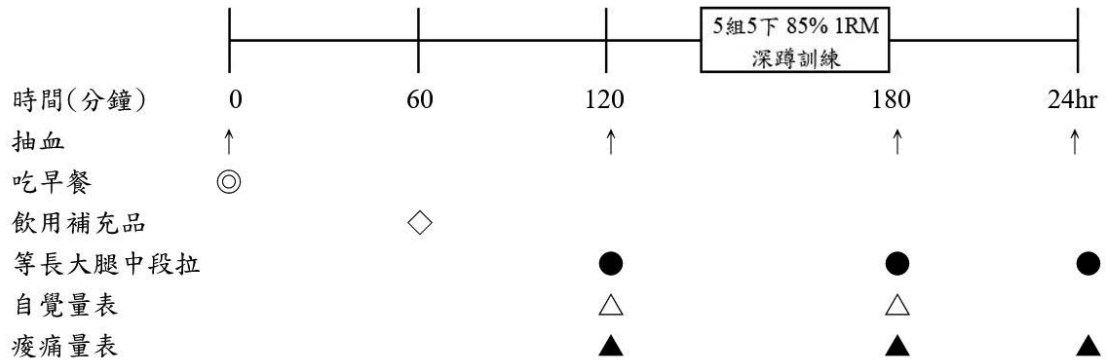


圖 1 實驗流程

三、阻力訓練

實驗前約 7 天先進行深蹲 1 RM 測試，測試前先進行標準熱身流程，內容依序為：於固定式腳踏車運動以 50 W 持續 2 分鐘，弓箭步蹲向前、弓箭步蹲向後、橫向移動弓箭步蹲、踢腿摸趾及股四頭伸展各 6 次、自體體重深蹲 5 次、自體體重快速深蹲 5 次(Beckham et al., 2018)；接著依序以 20 kg 負荷進行深蹲 3 次，預估 50% 1 RM 深蹲 2 次，預估 70% 1 RM、預估 85% 1 RM、預估 95% 1 RM 各深蹲 1 次，若無法完成，則以該次之重量為 1 RM；若可以完成，則再以預估 100% 1 RM 深蹲 1 次，若仍順利完成，則以 2 公斤或 5 公斤為單位增加重量，進行下一次深蹲，直到無法完成，以該次之重量為 1 RM。

測試當天，先進行標準熱身流程，接著以 85% 1RM 進行深蹲訓練，每組 5 次，共 5 組，組間休息時間為 2.5 分鐘，訓練過程中配戴訓練用腰帶，確保受試者軀幹穩定及安全。若受試者無法舉起所規定之重量，則略減少槓鈴重量後再進行訓練，直到完成 25 次深蹲。訓練結束後立即以 20 點量表詢問自覺運動負荷 (ratings of perceived exertion, RPE) (Borg, 1982)。

四、IMTP

於阻力訓練前、訓練後立即、訓練後 24 小時，分別進行 IMTP 測試。阻力訓練前和訓練後 24 小時，進行 IMTP 測驗前使用阻力訓練後立即進行之 IMTP 測試，則不再進行熱身。

IMTP 測試前，由同一研究人員使用量角器，將受試者調整姿勢為髖

關節角度 $145^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ，膝關節角度 $130^{\circ} \pm 5^{\circ}$ ，雙腳站立於測力板(Kistler, Winterthur, Switzerland)(圖 2)，此姿勢可達到最大的力量及發力率(Beckham et al., 2018)，槓鈴加重至 300 kg，讓受試者無法移動槓鈴，使用助握帶及白貼(Johnson and Johnson, USA) 將手部固定於槓，將握力對測驗影響降至最低。測試時受試者以最快速度及最大努力嘗試將槓鈴上拉，持續約 5 秒鐘，每次測試皆進行 2 次 IMTP，中間休息 2 分鐘。發力率數據採用 2 次測試之最高值。

測力板以 1000 Hz 採集力量輸出資料，將垂直方向(z 軸)資料獨立取出，計算 50 毫秒、90 毫秒、150 毫秒及 200 毫秒發力率，計算公式如下：

$$\text{發力率 (N}\cdot\text{s)} = \text{力量 (N)} / \text{時間 (s)}$$



圖 2 等長大腿中段拉標準姿勢

五、飲食控制

測試前 2 日與測試期間進行皆由本研究提供飲食(表 1)，以確保肌肉肝醣和體內各種胺基酸含量等因素的穩定，並口頭告知受試者，避免攝入額外食物與補充品。飲食皆購買於實驗室附近之便利商店。

測驗當天提供標準化早餐，包含白吐司 (楓康超市，台中) 1.2 g/kg，草莓果醬 (聯合利華股份有限公司，台北) 0.1 g/kg，乳瑪琳人造奶油 (遠東油脂股份有限公司，桃園) 0.1 g/kg 及豆漿 (統一企業股份有限公司，台南) 5 ml/kg，總熱量 16.2 kcal/kg，包含 1.55 g/kg 碳水化合物，0.29 g/kg 蛋白質，0.98 g/kg 脂肪。

六、營養補充品

於吃完早餐 60 分鐘後，AA 測試補充 BCAA 0.1 g/kg (白胺酸：異白胺酸：纈胺酸=2:1:1; Optimum Nutrition, Inc. Aurora, IL, USA)及瓜胺酸 0.025 g/kg (Doctor's Best, Inc. Irvine, CA, USA)；PLA 測試則補充錠劑，主要成分為麥芽糊精(忠永生技公司，台灣)。補充品皆加入 250 ml 葡萄汁(BIOES, 宏常有限公司，高雄)後飲用。

七、血液採集與分析

每次測試共 4 次抽血，分別為食用早餐前(基準值)、阻力訓練前、阻力訓練後立即與阻力訓練 24 小時後。由合格醫檢師自肘靜脈採集 10 ml 血液，分裝至含 EDTA 與全血採血管中。全血以自動血球分析儀 (Sysmex KX-21N, Kobe, Japan) 檢測血紅素濃度及血容比，以校正運動期間之血漿改變量(Costill & Fink, 1974)。EDTA 採血管於 4°C 以 2000 rpm 離心 20 分鐘，將血漿與血球分離，取出血漿分裝後存放至 -80°C 冰箱中，之後採用商業試劑組(Randox, Antrim, UK)，以自動分析儀(Hitachi 7020, Tokyo, Japan)分析血漿氨、尿素、尿酸、肌酸激酶、乳酸、葡萄糖濃度。

八、肌肉痠痛程度

自覺肌肉痠痛程度採用 6 點量表，改編自 High, Howley, and Franks (1989)，從(1)完全無痠痛、活動輕鬆，到(6)極度痠痛、幾乎無法活動。於

阻力訓練前及訓練後 24 小時，進行 IMTP 測試之前詢問。

九、統計分析

各項變數以二因子(組別、時間)重複量數變異數分析，若組別或時間效應達顯著水準，則以 Bonferroni 法進行事後比較，統計顯著水準定為 $p < 0.05$ ，所有數值以平均值 \pm 標準差表示，以 SPSS 23.0 進行分析。

表 1 每次測試前二天之控制飲食內容

	醣類(%)	蛋白質(%)	脂肪(%)	熱量(kcal)	品名
早餐	72	15	13	380	黑胡椒雞排握便當
午餐	63	28	9	507	水煮嫩雞胸便當
	67	13	20	395	奮起湖握便當
晚餐	63	28	9	507	水煮嫩雞胸便當
	72	15	13	380	黑胡椒雞排握便當
總計	67	20	13	2169	

參、結果

一、受試者基本資料

本研究 10 名受試者，年齡為 21.5 ± 0.8 歲，身高 171.2 ± 6.7 公分，體重 71.0 ± 8.3 公斤，BMI 24.2 ± 2.5 ，蹲舉 1RM 109.0 ± 11.7 (最小值 100，最大值 130) kg。

二、IMTP 發力率

AA 測試與 PLA 測試阻力訓練前後之 50 毫秒、90 毫秒、150 毫秒及 200 毫秒發力率、最大力量、最大力量發力率如表 2。最大力量發力率有顯著時間效應 ($p=0.006$)，事後比較發現 PLA 測試訓練後最大力量發力率較訓練前有降低的趨勢($p=0.083$)，AA 測試各時間點則無顯著差異；其餘各時間點之發力率及最大力量均無顯著差異。

三、血液分析

AA 測試與 PLA 測試阻力訓練前後之各項血漿生化濃度如表 3，PLA 測試血漿氨濃度在訓練前、訓練後及訓練後 24 小時均顯著低於基準值，但若與訓練前比較，訓練後血漿氨濃度與訓練前並無顯著差異；AA 測試各時間點血漿氨濃度則無顯著差異。PLA 測試血漿尿素濃度在訓練後顯著低於基準值及訓練後 24 小時，AA 測試血漿尿素濃度在各時間點無顯著差異。血漿尿酸濃度在二個測試的訓練後均較基準值顯著下降，AA 測試在訓練後更顯著低於訓練前及訓練後 24 小時。

AA 測試運動後血漿肌酸激酶濃度較基準值顯著上升，但 PLA 測試運動後僅略為增加($p=0.086$)，二個測試訓練後 24 小時血漿肌酸激酶濃度平均值均高於基準值，但由於個體差異較大，與基準值並無顯著差異。血漿乳酸濃度在訓練後顯著上升，二個測試間無顯著差異。血漿葡萄糖濃度在二個測試的訓練後亦較基準值顯著下降，但仍然在正常濃度範圍。

四、自覺運動強度及肌肉痠痛程度

二次測試 RPE 在訓練後及訓練後 24 小時均顯著高於訓練前，但二次測試間無顯著差異(PL 測試訓練前 1.7 ± 0.7 ，訓練後 7.0 ± 2.3 ；AA 測試訓練前 2.0 ± 0.8 ，訓練後 7.2 ± 0.8 ；時間效應 $p < 0.001$)。二次測試測試阻力訓練後 24 小時，肌肉痠痛程度皆顯著高於訓練前(PL 測試訓練前 0.4 ± 0.7 ，訓練後 1.7 ± 1.3 ；AA 測試訓練前 0.2 ± 0.4 ，訓練後 1.8 ± 1.1 ；時間效應 $p = 0.001$)，二次測試間亦無顯著差異。

表 2 阻力訓練前後等長大腿中段拉各時間點發力率及最大力量

	AA 測試			PLA 測試		
	訓練前	訓練後	訓練後 24 小時	訓練前	訓練後	訓練後 24 小時
最大力量 (N)	1977.5±341.7	1773.1±391.6	1977.1±330.5	2103.3±240.3	1921.8±363.2	1933.7±302.1
發力率						
50 ms (N/s)	2641.6±1480.7	2064.5±1662.0	2596.4±1061.2	2115.6±884.9	2064.5±665.2	2596.4±1377.0
90 ms (N/s)	3626.6±1863.5	3450.8±1523.2	3180.9±1080.0	3216.5±1148.7	2948.3±821.7	3350.9±1259.7
150 ms (N/s)	4240.0±1563.2	3704.9±1063.3	4037.4±1025.1	4076.0±1552.6	3496.9±1017.1	3784.9±1040.7
200 ms (N/s)	4645.4±1494.9	3974.3±1130.0	4528.2±1103.8	4407.0±1555.2	3752.8±999.3	4003.1±1050.5
最大力量 (N/s) ¹	997.5±520.7	792.9±312.8	800.2±464.8	1062.0±582.5	605.5±208.4	628.4±233.4

¹ 時間效應, p=0.006

表 3 阻力訓練前後血漿生化值

	AA 測試			PLA 測試		
	基準值	訓練前	訓練後	訓練後 24 小時	訓練前	訓練後
氨 (Ammonia) (μM) ¹	127.9±29.4	116.6±38.0	123.8±38.9	111.7±24.7	112.3±29.4	116.9±32.6
尿素 (urea) (mM) ²	2.74±0.33	2.81±0.31	2.64±0.25	3.05±0.68	2.72±0.30	2.53±0.14
尿酸 (uric acid) (mM) ³	0.26±0.05	0.25±0.05	0.23±0.04	0.27±0.05	0.25±0.04	0.23±0.03
肌酸激酶 (creatinase) (U/L) ⁴	305.6±183.6	301.2±177.1	326.8±178.7	397.6±208.1	331.8±316.6	358.1±320.5
乳酸 (lactate) (mM) ⁵	1.06±0.18	1.49±0.38	6.89±2.26	1.38±0.55	1.51±0.11	6.82±2.14
葡萄糖 (glucose) (mM) ⁶	6.07±0.65	5.56±0.99	5.03±0.51	5.66±0.86	5.45±0.82	4.93±0.33

¹ 時間效應, p=0.002; 交互效應, p=0.017; ² 時間效應, p=0.001; ³ 時間效應, p<0.001; ⁴ 時間效應, p=0.001; ⁵ 時間效應, p=0.004; ⁶ 時間效應, p=0.008

肆、討論

本研究結果指出，補充支鏈胺基酸及瓜胺酸，對進行高強度阻力訓練後之各時間點發力率無顯著影響，對訓練後之 RPE 及肌肉痠痛程度亦無顯著影響，顯示對阻力訓練誘發之中樞疲勞並無顯著效益。

部分研究曾獲得與本研究類似的結果，以 70% 1 RM 進行 10 組，每組 8 次的蹲舉，補充 0.22 g/kg 支鏈胺基酸後對後續 1-72 小時之垂直跳與股四頭肌最大自主等長收縮表現之恢復無顯著影響 (VanDusseldorp et al., 2018)。但也有研究指出，補充 BCAA 0.087 g/kg 可加速阻力訓練後 24 至 48 小時的等長收縮和反動作跳高度的恢復 (Waldron et al., 2017)；補充 20 g BCAA 也可減緩全身性高強度阻力訓練後 24 小時上肢及下肢爆發力的衰退程度 (Gee & Deniel, 2016)。

雖然很多研究顯示補充 BCAA 可以降低運動後延遲性肌肉痠痛 (Fedewa, Spencer, Williams, Becker, & Fuqua, 2019)，但本研究在 24 小時候的肌肉痠痛程度在二次測試間並無顯著差異。可能是因為本研究並未誘發過於嚴重的肌肉損傷，訓練後 24 小時的平均自覺肌肉痠痛程度僅為 1.7-1.8。

之前研究顯示，補充 16 g BCAA 及 12 g 瓜胺酸-天門冬氨酸，以 60%VO₂max 強度進行耐力運動 90 分鐘，然後逐漸增加強度至衰竭，運動後血氨恢復較快，同時在運動期間也有較佳的認知表現 (Mikulski, Dabrowski, Hilgier, Ziemba, & Krzeminski, 2015)，顯示耐力運動前補充 BCAA 及尿素循環中間產物可能可以加速移除血氨，同時減緩中樞疲勞。但本研究採用高強度阻力運動，PLA 測試血漿氨濃度在訓練後與訓練前比較，並無顯著改變，顯示在這種運動方式期間，氨合成並未顯著增加，而 PLA 測試血漿尿素濃度在訓練後顯著降低，可能是尿素循環減慢。在 AA 測試中，血漿尿素濃度在阻力訓練後仍然維持不變，顯示與 PLA 測試相比，訓練期間的尿素循環可能因為補充瓜胺酸而增加，移除了一部分在阻力訓練期間代謝 BCAA 所產生的氨，使得 AA 測試訓練後的血漿氨濃度也維持與訓練前相同。即使有此效果，補充 BCAA 與瓜胺酸仍對訓練後之發力率無顯著影響。

本研究團隊過去曾進行數個合併補充 BCAA、精胺酸與瓜胺酸的研究，最初使用的劑量為 BCAA 0.17 g/kg、精胺酸 0.05 g/kg、瓜胺酸 0.05 g/kg，可以顯著降低中樞疲勞 (Chen, Wu, Chen, Chou, & Chang, 2016)，並提高耐

力(Cheng, Wang, Chen, Hsu, Hsueh, & Chang, 2016)及高強度間歇(Chang, Chang Chien, Chang, Huang, Lang, & Lin, 2015)運動表現。之後將劑量降低為 BCAA 0.085 g/kg、精胺酸 0.05 g/kg、瓜胺酸 0.05 g/kg，也可顯著增加高強度間歇游泳之運動表現(Hsueh, Wu, Tsai, Wu, & Chang, 2018)。有鑑於阻力運動可能增加 BCAA 氧化，因此將 BCAA 劑量酌增至 0.1 g/kg。由於口服精胺酸吸收率不佳，反而是口服瓜胺酸有較高的吸收率，且在體內轉換為精胺酸，反而比直接口服精胺酸更可提高血液精胺酸濃度(Schwedhelm et al, 2008)，因此本研究僅補充瓜胺酸，並嘗試較低之劑量 0.025 g/kg，本研究結果也顯示此較低劑量的瓜胺酸可能也可降低運動期間增加的氨。過去的研究顯示，口服 BCAA 約 60 分鐘後達到血液濃度最高值(Marchesini, Bianchi, Vilstru, Checchia, Patrono, & Zoli, 1987)，因此本研究在口服 BCAA 及瓜胺酸 60 分鐘後開始進行運動訓練。

IMTP 是監控運動員爆發力的常用測試，所測得之最大功率輸出與最大發力率之組內相關係數(*intraclass correlation coefficient*) 達 0.97 及 0.96，顯示良好的再現性 (Kawamori et al., 2006)。而 IMTP 的 250 毫秒發力率與舉重選手抓舉及挺舉成績呈顯著正相關(*r* 值分別為 0.781 與 0.722) (Beckham et al., 2013)；IMTP 發力率也與短跑選手衝刺時間具有高度負相關，而且在 0 至 5 公尺區間此趨勢更加明顯 (Brady et al., 2019)，顯示良好的效度。

本研究的高強度阻力訓練後，二個測試的血漿葡萄糖濃度都顯著降低，但仍然處在正常的範圍；血漿乳酸濃度達到約 6.8 mmol/L，與之前研究類似(Marston et al., 2017)。本研究使用的阻力訓練並未造成嚴重的肌肉損傷，AA 測試血漿肌酸激酶活性在訓練後較訓練前顯著上升 8.5%，PLA 測試訓練後較訓練前上升 7.2%，但未達顯著差異；訓練後 24 小時部分受試者上升更多，造成較大的組內差異，使得雖然平均值高於訓練前，但並無顯著差異。

本研究此次訓練強度偏高，但訓練總量偏低，可能是造成中樞疲勞並不顯著的原因，進而使此補充模式無顯著效果。未來可針對全身性的阻力訓練，並增加訓練量，探討中樞疲勞的角色，以及補充 BCAA 與瓜胺酸的效果。

致謝

本研究感謝科技部補助經費(計畫編號 MOST 106-2410-H-028-005)。

參考文獻

- Barnes, M. J., Miller, A., Reeve, D., & Stewart, R. J. C. (2019). Acute neuromuscular and endocrine responses to two different compound exercises: squat vs. deadlift. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 33(9), 2381-2387.
- Beckham, G., Mizuguchi, S., Carter, C., Sato, K., Ramsey, M., Lamont, H., . . . Stone, M. (2013). Relationships of isometric mid-thigh pull variables to weightlifting performance. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 53(5), 573-581.
- Beckham, G. K., Sato, K., Santana, H. A. P., Mizuguchi, S., Haff, G. G., & Stone, M. H. (2018). Effect of body position on force production during the isometric midhigh pull. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 32(1), 48-56.
- Blomstrand, E. (2001). Amino acids and central fatigue. *Amino Acids*, 20(1), 25-34.
- Blomstrand, E., Hassmen, P., Ek, S., Ekblom, B., & Newsholme, E. A. (1997). Influence of ingesting a solution of branched-chain amino acids on perceived exertion during exercise. *Acta Physiologica Scandinavica*, 159(1), 41-49.
- Borg, G. A. (1982). Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 14(5), 377-381.
- Brady, C. J., Harrison, A. J., Flanagan, E. P., Haff, G. G., & Comyns, T. M. (2020). The relationship between isometric strength and sprint acceleration in sprinters. *International Journal of Sports Physiology and Performance*, 15(1), 38-45.
- Calders, P., Pannier, J. L., Matthys, D. M., & Lacroix, E. M. (1997). Pre-exercise branched-chain amino acid administration increases endurance performance in rats. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 29(9), 1182-1186.
- Chang, C. K., Chang Chien, K. M., Chang, J. H., Huang, M. H., Liang, Y. C.,

- & Liu, T. H. (2015). Branched-chain amino acids and arginine improve performance in two consecutive days of simulated handball games in male and female athletes: a randomized trial. *PLoS One*, *10*(3), e0121866.
- Chen, I. F., Wu, H. J., Chen, C. Y., Chou, K. M., & Chang, C. K. (2016). Branched-chain amino acids, arginine, citrulline alleviate central fatigue after 3 simulated matches in taekwondo athletes: a randomized controlled trial. *Journal of International Society of Sports Nutrition*, *13*, 28.
- Cheng, I. S., Wang, Y. W., Chen, I. F., Hsu, G. S., Hsueh, C. F., & Chang, C. K. (2016). The supplementation of branched-chain amino acids, arginine, and citrulline improves endurance exercise performance in two consecutive days. *Journal of Sports Science and Medicine*, *15*(3), 509-515.
- Cheuvront, S. N., Carter, R., 3rd, Kolka, M. A., Lieberman, H. R., Kellogg, M. D., & Sawka, M. N. (2004). Branched-chain amino acid supplementation and human performance when hypohydrated in the heat. *Journal of Applied Physiology*, *97*(4), 1275-1282.
- Costill, D. L., & Fink, W. J. (1974). Plasma volume changes following exercise and thermal dehydration. *Journal of Applied Physiology*, *37*(4), 521-525.
- Davis, J. M., Welsh, R. S., De Volve, K. L., & Alderson, N. A. (1999). Effects of branched-chain amino acids and carbohydrate on fatigue during intermittent, high-intensity running. *International Journal of Sports Medicine*, *20*(5), 309-314.
- Fedewa, M. V., Spencer, S. O., Williams, T. D., Becker, Z. E., & Fuqua, C. A. (2019). Effect of branched-chain amino acid supplementation on muscle soreness following exercise: a meta-analysis. *International Journal for Vitamin and Nutrition Research*, *89*(5-6), 348-356.
- Fernstrom, J. D. (2005). Branched-chain amino acids and brain function. *Journal of Nutrition*, *135*(6 Suppl), 1539S-1546S.
- Gee, T. I., & Deniel, S. (2016). Branched-chain amino acid supplementation

- attenuates a decrease in power-producing ability following acute strength training. *Journal of Sports Medicine and Physical Fitness*, 56(12), 1511-1517.
- Greer, B. K., White, J. P., Arguello, E. M., & Haymes, E. M. (2011). Branched-chain amino acid supplementation lowers perceived exertion but does not affect performance in untrained males. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 25(2), 539-544.
- Haff, G. G., Carlock, J. M., Hartman, M. J., Kilgore, J. L., Kawamori, N., Jackson, J. R., . . . Stone, M. H. (2005). Force-time curve characteristics of dynamic and isometric muscle actions of elite women olympic weightlifters. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 19(4), 741-748.
- Hassmen, P., Blomstrand, E., Ekblom, B., & Newsholme, E. A. (1994). Branched-chain amino acid supplementation during 30-km competitive run: mood and cognitive performance. *Nutrition*, 10(5), 405-410.
- High, D. M., Howley, E. T., & Franks, B. D. (1989). The effects of static stretching and warm-up on prevention of delayed-onset muscle soreness. *Research Quarterly for Exercise and Sport*, 60(4), 357-361.
- Hornsby, W. G., Gentles, J. A., MacDonald, C. J., Mizuguchi, S., Ramsey, M. W., & Stone, M. H. (2017). Maximum strength, rate of force development, jump height, and peak power alterations in weightlifters across five months of training. *Sports (Basel)*, 5(4), 78.
- Hsueh, C. F., Wu, H. J., Tsai, T. S., Wu, C. L., & Chang, C. K. (2018). The effect of branched-chain amino acids, citrulline, and arginine on high-intensity interval performance in young swimmers. *Nutrients*, 10(12).
- Katz, A., Broberg, S., Sahlin, K., & Wahren, J. (1986). Muscle ammonia and amino acid metabolism during dynamic exercise in man. *Clinical Physiology*, 6(4), 365-379.
- Kawamori, N., Rossi, S. J., Justice, B. D., Haff, E. E., Pistilli, E. E., O'Bryant, H. S., . . . Haff, G. G. (2006). Peak force and rate of force development during isometric and dynamic mid-thigh clean pulls performed at various

- intensities. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 20(3), 483-491.
- Marchesini, G., Bianchi, G. P., Vilstrup, H., Checchia, G. A., Patrono, D., & Zoli, M. (1987). Plasma clearances of branched-chain amino acids in control subjects and in patients with cirrhosis. *Journal of Hepatology*, 4(1), 108-117
- Marston, K. J., Newton, M. J., Brown, B. M., Rainey-Smith, S. R., Bird, S., Martins, R. N., & Peiffer, J. J. (2017). Intense resistance exercise increases peripheral brain-derived neurotrophic factor. *Journal of Science & Medicine in Sport*, 20(10), 899-903.
- Mikulski, T., Dabrowski, J., Hilgier, W., Ziemba, A., & Krzeminski, K. (2015). Effects of supplementation with branched chain amino acids and ornithine aspartate on plasma ammonia and central fatigue during exercise in healthy men. *Folia Neuropathologica*, 53(4), 377-386.
- Moinard, C., & Cynober, L. (2007). Citrulline: a new player in the control of nitrogen homeostasis. *The Journal of Nutrition*, 137(6), 1621S-1625S.
- Nelson, A. R., Phillips, S. M., Stellingwerff, T., Rezzi, S., Bruce, S. J., Breton, I., . . . Rowlands, D. S. (2012). A protein-leucine supplement increases branched-chain amino acid and nitrogen turnover but not performance. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 44(1), 57-68.
- Nybo, L., Dalsgaard, M. K., Steensberg, A., Moller, K., & Secher, N. H. (2005). Cerebral ammonia uptake and accumulation during prolonged exercise in humans. *Journal of Physiology*, 563(Pt 1), 285-290.
- Pardridge, W. M. (1998). Blood-brain barrier carrier-mediated transport and brain metabolism of amino acids. *Neurochemical Research*, 23(5), 635-644.
- Rio-Rodriguez, D., Iglesias-Soler, E., & Fernandez Del Olmo, M. (2016). Set configuration in resistance exercise: muscle fatigue and cardiovascular effects. *PLoS One*, 11(3), e0151163.
- Schaefer, A., Piquard, F., Geny, B., Doutreleau, S., Lampert, E., Mettauer, B., & Lonsdorfer, J. (2002). L-arginine reduces exercise-induced increase in

- plasma lactate and ammonia. *International Journal of Sports Medicine*, 23(06), 403-407.
- Schwedhelm, E., Maas, R., Freese, R., Jung, D., Lukacs, Z., Jambrecina, A., . . . Boger, R. H. (2008). Pharmacokinetic and pharmacodynamic properties of oral L-citrulline and L-arginine: impact on nitric oxide metabolism. *British Journal of Clinical Pharmacology*, 65(1), 51-59.
- Shimomura, Y., Kobayashi, H., Mawatari, K., Akita, K., Inaguma, A., Watanabe, S., . . . Sato, J. (2009). Effects of squat exercise and branched-chain amino acid supplementation on plasma free amino acid concentrations in young women. *Journal of Nutritional Science and Vitaminology*, 55(3), 288-291.
- Soares, D. D., Coimbra, C. C., & Marubayashi, U. (2007). Tryptophan-induced central fatigue in exercising rats is related to serotonin content in preoptic area. *Neuroscience Letters*, 415(3), 274-278.
- Stone, M. H., Sanborn, K., O'Bryant, H. S., Hartman, M., Stone, M. E., Proulx, C., . . . Hruby, J. (2003). Maximum strength-power-performance relationships in collegiate throwers. *Journal of Strength and Conditioning Research*, 17(4), 739-745.
- Sureda, A., Cordova, A., Ferrer, M. D., Perez, G., Tur, J. A., & Pons, A. (2010). L-citrulline-malate influence over branched chain amino acid utilization during exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 110(2), 341-351.
- Taber, C., Bellon, C., Abbott, H., & Bingham, G. E. (2016). Roles of maximal strength and rate of force development in maximizing muscular power. *Strength & Conditioning Journal*, 38(1), 71-78.
- Triscott, S., Gordon, J., Kuppaswamy, A., King, N., Davey, N., & Ellaway, P. (2008). Differential effects of endurance and resistance training on central fatigue. *Journal of Sports Science*, 26(9), 941-951.
- Tsuei, B. J., Bernard, A. C., Barksdale, A. R., Rockich, A. K., Meier, C. F., & Kearney, P. A. (2015). Supplemental enteral arginine is metabolized to ornithine in injured patients. *Journal of Surgical Research*, 123(1):

- 17-24.
- VanDusseldorp, T. A., Escobar, K. A., Johnson, K. E., Stratton, M. T., Moriarty, T., Cole, N., . . . Mermier, C. M. (2018). Effect of branched-chain amino acid supplementation on recovery following acute eccentric exercise. *Nutrients, 10*(10), 1389.
- Waldron, M., Whelan, K., Jeffries, O., Burt, D., Howe, L., & Patterson, S. D. (2017). The effects of acute branched-chain amino acid supplementation on recovery from a single bout of hypertrophy exercise in resistance-trained athletes. *Applied Physiology Nutrition and Metabolism, 42*(6), 630-636.
- Wilkinson, D. J., Smeeton, N. J., & Watt, P. W. (2010). Ammonia metabolism, the brain and fatigue; revisiting the link. *Progress in Neurobiology, 91*(3), 200-219.
- Yamamoto, T., & Newsholme, E. A. (2000). Diminished central fatigue by inhibition of the L-system transporter for the uptake of tryptophan. *Brain Research Bulletin, 52*(1), 35-38.
- Yang, C. C., Wu, C. L., Chen, I. F., & Chang, C. K. (2017). Prevention of perceptual-motor decline by branched-chain amino acids, arginine, citrulline after tennis match. *Scandinavian Journal of Medicine and Science in Sports, 29*(9), 935-944.

No Effect of Branched-Chain Amino Acids and Citrulline Supplementation on Rate of Force Development after High-Intensity Resistance Training

Ting-Chieh Chan¹, Chen-Kang Chang²

¹Department of Exercise Health Science, National Taiwan University of Sport

²Department of Sport Performance, National Taiwan University of Sport

Abstract

Purpose: Resistance exercise can induce central fatigue. One of the mechanisms of central fatigue is the increase in cerebral serotonin. Tryptophan is the precursor for serotonin synthesis. Supplementation of branched-chain amino acids may reduce the cerebral uptake of free tryptophan, which may prevent central fatigue. Citrulline may remove the ammonia synthesized during exercise. The aim of this study was to investigate the effect of supplementation of branched-chain amino acids and citrulline on fatigue induced by high-intensity resistance training in the lower limbs. The rate of force development in isometric mid-thigh pull (IMTP) was used as the indicator for muscular fatigue. The potential biochemical mechanisms of the supplementation were also examined. **Design and Methods:** The subjects were 10 healthy male college students with experience in strength training. The study used the single-blind cross-over design with each subject participating in 2 trials. The resistance training contained 5 sets of 5 repetitions of squat at the intensity of 85% 1 RM. IMTP was performed before, immediately after, and 24 hr after the resistance training. In the AA trial, the subjects consumed 0.1 g/kg branched-chain amino acids and 0.025 g/kg citrulline before the training. In the PLA trial, the subjects consumed placebo. **Results:** The rate

of force development at the maximal force in IMTP showed a trend of decrease after the training in the PLA trial ($p=0.083$). There was no significant difference in the rate of force development at 50, 90, 150, and 200 ms in the AA and PLA trials. Plasma ammonia concentrations were similar before and after the training in both trials. Plasma urea concentration was significantly decreased after the training in the PLA trial, while they remained unchanged in the AA trial. Conclusions: The resistance training did not result in excess ammonia production. However, supplementation of citrulline may increase urea cycle during the training, which could remove the excess ammonia production from oxidation of branched-chain amino acids. Despite this potential effect, the supplementation of branched-chain amino acids did not affect the fatigue induced by resistance training.

Keywords: central fatigue, branched-chain amino acids, citrulline, tryptophan, resistance exercise, isometric mid-thigh pull