

本文章已註冊DOI數位物件識別碼

► 骨骼肌肌肽含量與beta-丙胺酸對運動表現影響之初探

Skeletal Muscle Carnosine Content Correlates to Beta-Alanine and Exercise Performance

doi:10.6127/JEPF.2011.13.02

運動生理暨體能學報, (13), 2011

Journal of Exercise Physiology and Fitness, (13), 2011

作者/Author： 祁崇溥(Chung-Pu Chi);甘乃文(Nai-Wen Kan);張世沛(Shih-Pei Chang)

頁數/Page： 13-22

出版日期/Publication Date：2011/12

引用本篇文獻時，請提供DOI資訊，並透過DOI永久網址取得最正確的書目資訊。

To cite this Article, please include the DOI name in your reference data.

請使用本篇文獻DOI永久網址進行連結:

To link to this Article:

<http://dx.doi.org/10.6127/JEPF.2011.13.02>



DOI Enhanced

DOI是數位物件識別碼（Digital Object Identifier, DOI）的簡稱，是這篇文章在網路上的唯一識別碼，用於永久連結及引用該篇文章。

若想得知更多DOI使用資訊，

請參考 <http://doi.airiti.com>

For more information,

Please see: <http://doi.airiti.com>

請往下捲動至下一頁，開始閱讀本篇文獻

PLEASE SCROLL DOWN FOR ARTICLE



骨骼肌肌肽含量與 beta-丙胺酸對運動表現影響之初探

祁崇溥¹ 甘乃文¹ 張世沛^{2*}

¹台北醫學大學人文暨社會科學院通識教育中心 ²中台科技大學健康體能中心

摘要

高強度運動會造成羧酸解離，體內氫離子濃度提高，造成肌肉疲勞影響運動表現與訓練成效。肌肽已被證實於體內扮演緩衝酸鹼平衡、抑制 pH 值下降，對實施高強度運動表現有正面效果。在未補充 beta-丙胺酸前，type II 肌纖維肌肽含量即高於 type I 達 1.71 倍，然補充後兩種型態肌纖維肌肽含量並無顯著差異；beta-丙胺酸的增補與肌肽含量呈正相關並有劑量依存關係，補充策略以 $10 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ，相當於 800 mg 的 beta-丙胺酸作為單次補充最大容許量，每天最大補充量為 6.4 g，持續 10 週即可提升肌肽濃度達 80.1%。口服 beta-丙胺酸對耐力型、最大肌力或一次最大反覆次數等高強度運動模式並無助益，而肌肽含量多寡與最後 10 秒的爆發力表現呈正相關，並可增進高強度耐力運動最後 30 秒衝刺爆發力表現。

關鍵詞：運動增補劑、高強度運動、爆發力、衝刺、週邊肌肉疲勞

連絡作者：張世沛

聯絡電話：+886-4-22391647#6900

投稿日期：2011 年 7 月

通訊地址：台中市北屯區廬子路 666 號

E-mail：spchang@ctust.edu.tw

接受日期：2011 年 11 月

壹、前言

競技運動商業化使得運動員對自我體能、技術水準或奪牌目標取向有更為積極的刺激效果。而體委會針對運動城市的調查結果，預計在 99 年至 102 年透過 4 年期的中程計畫，全力將台灣打造成「運動島」，有鑑於此，無論是參與競技運動亦或是全民運動，均能帶動一股熱愛運動的風潮(行政院體育委員會，2009)。運動期間針對不同型態運動項目，使用不同的營養增補劑(nutritional ergogenic aids)增進運動表現或縮短恢復期，已成為參與運動者不可或缺的重要學問，例如：增補瓜拿那(Guarana)除對生物體內具抗氧化作用外，亦可增進與脂質代謝相關運動形態的運動表現(林曉汶、許美智，2008)；服用肌酸(creatine)可使肌纖維肥大(muscle fiber hypertrophy)(Volek et al., 1997)、增加不同肌纖維其肌球蛋白重鍊(myosine heavy-chain) mRNA 與蛋白質含量(Willoughby & Rosene, 2001)，有效增進高強度運動的運動表現(Bassit et al., 2010; Rawson, Gunn, & Clarkson, 2001)。

補充 Beta-丙胺酸(β -alanine)已被證實可有效增加骨骼肌肌肽(skeletal muscle carnosine)含量(Baguet, Bourgois, Vanhee, Achten, Derave, 2009; Harris et al., 2006)，而肌肽含量的增加可強化體內緩衝能力(buffer capacity)、提升酸鹼平衡(acid-base homeostasis)和降低酸中毒(acidosis)等現象，其應可抑制高強度運動後體內 pH 值下降，降低疲勞，維持肌肉收縮能力，繼而增進運動表現。因此，本篇的研究旨在針對骨骼肌肌肽的基本結構和生理功效、相關合成與作用機制、補充 beta-丙胺酸與肌肽含量的關聯

以及對運動表現等部分作相關文獻探討，期望藉由本文闡述，對喜愛運動者在營養增補劑的選擇上有所助益。

貳、肌肽的基本結構和生理功效

肌肽(carnosine)是由其前驅物(pre-cursor)，beta-丙胺酸和左旋-組胺酸(L-histidine)利用肌肽合成酶(carnosine synthetase)所合成的肌漿二肽(cytoplasmic dipeptide)，其多數儲存在脊椎和非脊椎動物的肌肉和大腦中，尤其在骨骼肌肌肉佔了 99% 的含量。在乾重肌肉(dry weight muscle)中，肌肽量大約為 $\sim 20 \text{ mmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$ (Harris, Martin, Dunnett, Snow, & Hultman, 1990)，而不同型態肌纖維的肌肽含量亦有所不同。Harris et al. (2006) 的研究指出：人體股外側肌(vastus lateralis)二型肌纖維(type II muscle fiber)的肌肽含量為 $23.2 \text{ mmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ，較一型肌纖維(type I muscle fiber)的肌肽含量 $10.5 \text{ mmol} \cdot \text{Kg}^{-1}$ 高出 2 倍多，由此推論，肌肽含量愈多將有利於快縮肌(fast-twitch muscle)的收縮效率，應對高強度或具爆發力運動型態的表現結果有助益的效果。

另外，肌肽與細胞功能有關連的生理功效，包括：調控鈣離子(Ca^{2+})敏感度(Batrukova & Rubstov, 1997; Lamont & Miller, 1992)、抑制蛋白質糖化作用(protein glycosylation)與蛋白質交叉聯結(protein cross-linking)(Dukta & Lamb, 2004; Hipkiss, Michaelis, & Syrris, 1995)、捕捉過氧化自由基(peroxyl radicals)與超氧化自由基(superoxide radicals)的抗氧化作用(Boldyrev, 2007)及抗老化(anti-aging)

作用 (Gallant, Semyonova, & Yuneva, 2000) 等。然而，最令運動界感到興趣且已被證實的生理功效之一，便是肌肽在生物體內扮演與肌肉收縮能力有重要相關的緩衝酸鹼平衡能力的角色。一般而言，骨骼肌細胞內對抑制 pH 降低的能力和緩衝能力高低具有相同指標意義，緩衝能力愈高代表抑制 pH 降低的效果愈好，高緩衝能力可穩定胞內的 pH 值，降低疲勞和有效增強高強度運動的表現能力 (Suzuki, Ito, Mukai, Takahashi, & Takamatsu, 2002)。緩衝骨骼肌胞內的酸鹼度多數由蛋白質、二元無機磷酸鹽 (dibasic inorganic phosphate)、碳酸氫鹽 (bicarbonate) 和肌肽等物質所完成，其中，肌肽之所以能成為平衡體內酸鹼的重要緩衝物，是由於其咪唑環 (imidazole ring) 的酸度係數 (pKa) 為 6.83，此與生理的正常酸鹼值相近，約佔體內總緩衝能力 (total buffering capacity) 的 7% (Harris et al., 1990)，因此，骨骼肌肌肽含量的高低，應可直接影響肌肉的收縮能力。所以，了解肌肽的合成與作用機制以及提高肌肽含量，為促進高強度運動表現前所必需探討的課題。

參、肌肽合成和代謝機制

肌肽由三種內因性合成 (endogenous synthesis) 途徑獲得，第一條途徑是肝臟代謝合成；第二是攝取肌肽經由肌肽合成酶合成；第三條途徑是攝取 beta-丙氨酸經消化道水解 (hydrolysis)，再經由肌肽合成酶合成。骨骼肌肌細胞內雖能合成肌肽，但卻無法自行製造 beta-丙氨酸與合成左旋-組胺酸，需透過肝

臟尿嘧啶 (uracil) 經還原酶 (reductase) 水解製造 beta-丙氨酸 (Matthews & Traut, 1987) 後，經血液循環進入肌肉組織，利用組織內肌肽合成酶 (carnosine synthase) 催化反應合成肌肽。另外，獲取肌肽的方法亦可直接食用含有肌肽成分的食品，例如：魚肉、豆類等高蛋白食物。再者，內因性合成肌肽的含量，是依照由血液進入肌肉細胞的 beta-丙氨酸和左旋-組胺酸的利用程度而定。Harris et al. (2006) 的研究發現：血漿中左旋-組胺酸的濃度高於血漿中 beta-丙氨酸濃度，而且左旋-組胺酸對肌肽合成酶的親合性 (affinity) 也高於 beta-丙氨酸對肌肽合成酶的親合性。因此，內因性合成肌肽含量的速率限制 (rate-limiting) 與肌肉中 beta-丙氨酸的取得有很重要的關連。此外，肌肽能透過胜肽載體 (peptide transporter 2, PEPT2) 轉運穿越過細胞膜 (plasma membrane) 形成一個完整無缺 (intact) 的二胜肽提供組織利用。Kamal, Jiang, Hu, Keep and Smith (2009) 的研究發現：剔除 PEPT2 基因的小鼠 (genetic knockout PEPT2 mice)，其組織中肌肽含量會低於沒有剔除 PEPT2 基因的小鼠，顯示從肌肉組織釋放的肌肽是因 PEPT2 的缺乏所抑制。

肆、補充 beta-丙氨酸對肌肽含量的影響

上一段說明肌肽含量增加的速率限制與取得 beta-丙氨酸之間有很重要的關連，所以利用 beta-丙氨酸的增補來增加肌肽含量，是一種非常實際的補充方式。Harris et al. (2006) 利用 21 名男性受試者，給予其 10 mg、20 mg

和 $40 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ 的 beta-丙胺酸，每天補充 8 次，連續 4 週，利用血液動力反應 (blood kinetics response) 觀察補充不同劑量 beta-丙胺酸對血漿 beta-丙胺酸的含量變化，結果發現，補充 $40 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ 的 beta-丙胺酸其血漿 beta-丙胺酸的含量最高，並顯示有劑量依存 (dose dependent) 的關係。但是補充超過 $10 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ 的 beta-丙胺酸的受試者，卻於補充後 20 分鐘開始產生刺痛、麻木的皮膚感覺異常 (paresthesia) 症狀。因此，針對 beta-丙胺酸的安全補充劑量之結果：單次補充的最大容許劑量為 $10 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ，相當於 800 mg。而 Harris et al. (2006) 依該單次的最大容許劑量，給予受試者攝取 beta-丙胺酸或直接服用肌肽，利用肌肉穿刺 (muscle biopsy) 方式測量股外側肌 (vastus lateralis) 的肌肽含量。實驗設計共分 4 組，第 1 組為 1 天補充 4 次，每次 800 mg，連續 4 週，每天服用的總劑量為 3.2 g，4 週總劑量為 89.6 g；第 2 組同樣補充 beta-丙胺酸 4 週，每天補充 8 次，但提高每週的補充劑量，每天及每週總劑量分別為，第 1 週，4 g 及 28 g；第 2 週，4.8 g、33.6 g；第 3 週，5.6 g、39.2 g；第 4 週 6.4 g、44.8 g，因此補充 4 週的總劑量為 145.6 g；第 3 組則直接補充肌肽，4 週總劑量為 364 g，相當於 143.3 g 的 beta-丙胺酸；第 4 組為安慰劑組 (placebo group)，研究結果顯示：除了第 4 組安慰劑組平均肌肽含量未達顯著外，第 1、2、3 組分別有效增加 42.1%、64.2% 與 65.8% 的肌肉肌肽含量。

Hill et al. (2007) 延續 Harris et al. (2006) 的實驗方法，以 13 名男性健康受試者，增補 beta-丙胺酸的時間延增至 10 週，評估補充時間的長短對肌肽含量以及對 type I 或 type II

肌纖維肌肽含量差異的影響。結果顯示，補充 4 週或 10 週 beta-丙胺酸後，可顯著提升肌肽濃度百分比分別達 58.8% 及 80.1%，補充 10 週 beta-丙胺酸比補充 4 週 beta-丙胺酸更能有效提升肌肽含量。而 type I 及 type II 肌纖維肌肽含量部分，結果發現未補充 beta-丙胺酸前，type II 肌纖維肌肽含量已明顯高於 type I 肌纖維肌肽含量達 1.71 倍，然而補充 beta-丙胺酸後，type II 及 type I 肌纖維肌肽含量均顯著提升，但兩組間並未達顯著差異。另外，Kendrick et al. (2009) 的實驗設計，則是評估補充 beta-丙胺酸再加上訓練對肌肽含量的提升效果。14 名健康男性受試者，7 名受試者補充 beta-丙胺酸，劑量 $6.4 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ 、連續 4 週；另 7 名受試者為安慰劑組，兩組皆需接受 4 週的等速訓練 (isokinetic training)。等速訓練的肌肉收縮型式為先向心收縮再離心收縮，其操作方式是將施做等速訓練的右腿為對照組，未施做的左腿為控制組。利用等速肌力測試儀 (isokinetic dynamometer)，以每秒 180 度的速度，施做 90 度大腿屈曲和伸直的動作，每組做 10 下，共做 10 組；前兩週，每週完成 3 組訓練課程，最後兩週，每週需成 4 組課程。研究結果發現，beta-丙胺酸組可顯著提升肌肽含量，安慰劑組則否；加入訓練後，兩組均無法增加更多的肌肽含量，亦即補充 beta-丙胺酸再加上訓練，對增加肌肽含量並沒有影響。依此推論 beta-丙胺酸應是調控肌肽合成的主要因子。

綜合上述研究結果，補充 beta-丙胺酸已證實可增加肌肽含量，並有劑量依存關係。Beta-丙胺酸補充量，建議以 $10 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ，相當於 800 mg 的 beta-丙胺酸作為單次補充的最大容許量，超過則可能造成皮膚異常的現象，

每天最多可補充至 6.4 g; 另外增補 10 週 beta-丙胺酸比僅增補 4 週的 beta-丙胺酸, 肌肽含量百分比增加了 21.3%。再者, 未補充 beta-丙胺酸時肌纖維的肌肽含量, type II 比 type I 為高, 增補 beta-丙胺酸後, 兩種肌纖維中肌肽濃度則呈現相似量或甚至 type II 比 type I 為低, 表示接受運動訓練, 對肌肽含量的增加並無效果。然而筆者對此結論則抱持存疑, 因為以單一腿部運動模式界定有運動或未運動的實驗方法, 評估其是否會影響肌肽含量, 實驗架構似乎有些單薄, 建議應以全身性運動, 例如利用跑步機、固定式自行車或重量訓練器材等類型的運動模式, 再配合運動時間、強度以及頻率的整體控制, 說明其對骨骼肌肌肽的含量變化, 應是較為適宜的方式。

總之, beta-丙胺酸應是調控肌肽合成的主要因子, 且補充 beta-丙胺酸已被證實可顯著增加肌肽含量, 下一段文則針對 beta-丙胺酸對不同型態運動表現的影響。

伍、beta-丙胺酸對運動表現的影響

高強度運動會造成羧酸 (carboxylic acids) 的解離作用 (dissociation), 像是乳酸 (lactic acid) 是由不帶電的糖基 (glycol-) 或葡萄糖苷基 (glucosyl units) 所形成, 因而提高體內氫離子濃度, 此結果已被視為是造成週邊肌肉疲勞 (peripheral muscle fatigue) 的原因之一 (Hill et al., 2007)。此外, 收縮肌群 pH 的穩定作用 (homeostasis) 是由理化 (physicochemical) 緩衝所調節, 其主要的調節緩衝劑包括有機 (organic) 和無機 (inorganic)

碳酸鹽 (phosphate)、重碳酸氫離子 (bicarbonate anion)、肌肽中的組胺酸殘餘物 (histidine residues) 和蛋白質; 而緩衝氫離子的次要因素, 是由氫離子主動和被動的運輸進入外圍的間質 (interstitium) 所完成 (Juel, Lundby, Sander, Calbet, & Hall, 2003)。然肌肽其生理功效之一, 已被視為具有與二元無機磷酸鹽或碳酸氫鹽可調控肌細胞內 pH 值與穩定體內酸鹼平衡有著同等的重要性。

蒐集近期與補充 beta-丙胺酸對高強度運動表現的相關研究, 包括最大肌力 (maximum strength)、間歇訓練 (interval training) 等, 結果顯示補充 beta-丙胺酸似乎無法增進最大肌力表現。例如: Kendrick et al. (2009) 的研究發現: 補充 beta-丙胺酸對蹲舉 (box squat)、胸推 (bench press) 及硬舉 (dead lift) 的肌力值並無顯著影響。Hoffman et al. (2008) 研究也同樣發現, beta-丙胺酸增補後亦無法增加一次最大反覆次數 (one-repetition maximum, 1 RM) 的肌力值, Artioli, Gualano, Smith, Stout and Lancha (2010) 對該結果指出, 補充 beta-丙胺酸雖可增加肌細胞的緩衝能力, 但提升最大肌力運動表現的因素, 應是與體內酸血 (acidosis) 的降低有關聯, 但 Derave et al. (2007) 則否定了這個說法, 其研究以 15 名男性運動員, 給予其 $4.8 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ 、連續 4 週的 beta-丙胺酸增補後, 對 400 公尺衝刺成績並無影響, 可見得體內酸血的限制條件並不是影響最大肌力運動表現的因素,

類似的研究 McNaughton (1992) 也曾提出, 必須是持續 60 秒以上的高無氧運動, 補充具緩衝能力的增補劑才能對其表現有正面效果, 對此結果, Suzuki et al. (2002) 則有更新的發現, 以 11 名健康男性在具電子煞車的

固定式腳踏車 (electronic-braked cycle ergometer) 實施 30 秒衝刺, 並劃分成 6 個階段 (0-5 秒、6-10 秒、11-15 秒、16-20 秒、21-25 秒、26-30 秒), 以肌肉穿刺 (muscle biopsy) 取得股外側肌肌肉, 比較前、後測的肌肽濃度是否與運動表現有相關性。研究結果顯示, 肌肽濃度與 30 秒衝刺期間, 每公斤體重的平均爆發力呈正相關 ($r=.785, p<.01$); 另外肌肽濃度與倒數兩階段 (21-25 秒、26-30 秒) 每公斤體重的平均爆發力亦呈正相關 (21-25 秒: $r=.694, p<.05$; 26-30 秒: $r=.660, p<.05$), 此結果證明具有較高濃度肌肽的受試者, 可增進固定式腳踏車最後 30 秒的最大衝刺表現, 而非 60 秒以上的高強度運動才有效果。

Suzuki et al. (2002) 對此結果表示, 先前有研究證實 30 秒衝刺後, 乳酸會迅速升高, 甚至超過 $100 \text{ mmol} \cdot \text{L}^{-1}$, 細胞內的 pH 會降低至 6.63-6.69, 胞內 pH 降低會導致肌肉疲勞, 影響衝刺表現, 然而肌肽具有緩衝酸鹼平衡能力, 可將氫離子緩衝至正常生理 pH 的範圍。因此, 高強度運動後因乳酸堆積, 產生大量氫離子, 肌肉組織內若具有較高的肌肽含量, 便可穩定胞內 pH, 降低肌肉疲勞。由以上研究得知, 肌肉組織中, 肌肽濃度多寡是影響高強度運動表現的重要因素之一, 但無所助益於最大肌力運動類型的表現。

再者, Thienen et al. (2009) 以 17 名中度訓練的自行車手, 服用 8 週 beta-丙胺酸, 劑量逐漸增加, 第 1、2 週 $2 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, 第 3、4 週 $3 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, 最後 4 週 $4 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$, 雙盲、安慰劑組研究設計。實驗設計模擬自行車道路競賽 (simulated road race), 所有受試者先騎 110 分鐘的模擬道路競賽 (運動強度約 50%-90%) 後, 接著再騎 10 分鐘計時賽 (time trial) 經 5

分鐘緩衝 (運動強度約 50%), 最後進行 30 秒的衝刺 (sprint)。結果顯示, 在 10 分鐘計時賽項目, 平均爆發輸出 (mean power output) 部分, 兩組在前、後測比較後的測值均有些微提升, 但無顯著差異; 而在 30 秒衝刺項目, 最高爆發力輸出 (peak power output) 部分, 補充 beta-丙胺酸組增加了 11.4%, 平均爆發輸出則提升了 5.0%。由上述研究數據得知, beta-丙胺酸的增補可顯著提升高強度耐力運動結束前的爆發力表現。Thienen et al. (2009) 認為間歇運動期間, 肌肽可能扮演著可再循環利用 (recyclable), 作為胞內第一線的緩衝劑, 而總緩衝能力在高強度間歇運動的最後階段尚能增加, 因此可有效增進 30 秒內爆發力衝刺的表現。

另外, Baguet, Bourgois, Vanhee, Achten and Derave (2010) 針對單一動作型態的運動項目進行研究, 以 23 名頂尖運動選手, 口服 beta-丙胺酸 $5 \text{ g} \cdot \text{d}^{-1}$ 、7 週後, 利用質子核磁共振光譜 (proton magnetic resonance spectroscopy, $^1\text{H-MRS}$) 檢測比目魚肌和腓腸肌中肌肽含量的變化, 以及測量四種不同距離的速度與 2000 公尺室內固定式划船的運動表現與肌肽含量相關性, 利用橫斷性研究 (cross-sectional study) 和介入研究 (intervention study) 方法評估。研究結果顯示, 補充 beta-丙胺酸後, 比目魚肌、腓腸肌的肌肽含量分別增加了 45.3%、28.2%; 而在 100、500、2000、6000 公尺的速度表現與肌肽含量呈正相關; 再者, 肌肽含量與 2000 公尺划船時間亦呈正相關 ($p=.042, r=.498$), 此結果似乎不同於 Suzuki et al. (2002) 的研究結論, 其中原因應與受試者運動能力有關, Baguet et al. (2010) 研究是找頂尖運動選手

作為受試者，可能與非頂尖運動選手的肌肽含量有根本上的差異，後續有待研究去證實此觀點。

歸納上述研究結果：一、增加肌肽含量雖可增進高強度運動型態的表現結果，但對耐力型、最大肌力型與單次最大反覆的運動表現並無助益。二、肌肽含量多寡與最後 10 秒爆發力表現呈正相關。三、增加肌肽含量可增進高強度耐力運動最後 30 秒的衝刺爆發力表現。四、肌肽含量與頂尖運動員划船運動的速度和時間呈正相關。

陸、結語

補充 beta-丙胺酸已證實可有效增加骨骼肌肌肽含量，並有劑量依存關係，以及提升高強度耐力運動最後 30 秒內的衝刺表現，像是自行車環法賽長距離騎乘最後 100-200 公尺衝刺或百公尺短跑競速等。補充 beta-丙胺酸之所以能增進運動表現的主要機轉，應是透過肌肽含量提升，使提高酸鹼緩衝平衡的

生理功能，降低氫離子濃度所致。而提升肌肽含量的策略上，為避免產生皮膚異常反應，單次攝取的最大容許量為 $10 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$ ，相當於 800 mg 的 beta-丙胺酸，每天最多可攝取 6.4 g。肌肽含量的增加除了利用網路代購 beta-丙胺酸膠囊或錠的製品外，也可購買雞胸肉，再利用熱水萃取出其中的肌肽 (Sato, Karasawa, Shimizu, Morimatsu, & Yamada, 2008)，而市售的雞精飲品也是增加肌肽量的來源物。

最後，攝取 beta-丙胺酸和運動表現的關係，對耐力型、最大肌力或一次最大反覆次數的高強度運動模式並無助益，而肌肽含量多寡與最後 10 秒爆發力表現呈正相關，並可增進最後 30 秒內的衝刺及爆發力表現。未來後續研究可針對以相同研究方法，比較頂尖運動選手和非頂尖選手或是一般人，進行 beta-丙胺酸增補後，對骨骼肌肌肽含量、運動表現以及停止補充後，恢復期中肌肽的殘餘量作相關比較，可更清楚評估 beta-丙胺酸對肌肽含量的重要影響及價值。

引用文獻

- 行政院體育委員會 (2009)。「2009.12.30 日城市調查記者會新聞稿」。取自：
<http://www.sac.gov.tw/News/NewsDetail.aspx?wmid=118&typeid=3&No=1213>。
- 林曉汶、許美智 (2008)。運動營養增補劑：瓜拿那。北體學報，16，309-316。
- Artoli, G. G., Gualano, B., Smith, A., Stout, J., & Lancha, A. H. (2010). Role of β -alanine supplementation on muscle carnosine and exercise performance. *Medicine and science in sports and exercise*, 42(6), 1162-1173.
- Baguet, A., Bourgois, J., Vanhee, L., Achten, E., & Derave, W. (2010). Important role of muscle carnosine in rowing performance. *Journal of applied physiology*, 109(4), 1096-1101.
- Bassit, R. A., Pinheiro, C., Vitzel, K. F., Sproesser, A. J., Silvera, L. R., & Curi, R. (2010). Effect of short-term creatine supplementation on markers of skeletal muscle damage after strenuous contractile activity. *European journal of applied physiology*, 108(5), 945-955.
- Batrukova, M. A., & Rubtsov, A. M. (1997). Histidine-containing dipeptides as endogenous regulators of the activity of sarcoplasmic reticulum Ca-release channels. *Biochimica et biophysica acta*, 1324(1), 142-150.
- Boldyrev, A. (2007). Carnosine and oxidative stress in cells and tissues. *Nova science*, 13, 145-152.
- Derave, W., Ozdemir, M. S., Harris, R. C., Pottier, A., Reyngoudt, H., Koppo, K., et al. (2007). β -alanine supplementation augments muscle carnosine content and attenuates fatigue during repeated isokinetic contraction bouts in trained sprinters. *Journal of applied physiology*, 103(5), 1736-1743.
- Dutka, T. L., & Lamb, G. D. (2004). Effect of carnosine on excitation-contraction coupling in mechanically-skinned rat skeletal muscle. *Journal of muscle research and cell motility*, 25(3), 203-213.
- Gallant, S., Semyonova, M., & Yuneva, M. (2000). Carnosine as a potential anti-senescence drug. *Biochemistry (Mosc)*, 65(7), 866-868.
- Harris, R. C., Martin, D. J., Dunnett, M., Snow, D. H., & Hultman, E. (1990). Muscle buffering capacity and dipeptide content in the thoroughbred horse, greyhound dog and man. *Comparative biochemistry and physiology*, 97(2), 249-251.
- Harris, R. C., Tallon, M. J., Dunnett, M., Boobis, L., Coakley, J., Kim, H. J., Fallowfield, J. L., Hill, C. A., Sale, C., & Wise, J. A. (2006). The absorption of orally supplied β -alanine and its effect on muscle carnosine synthesis in human vastus lateralis. *Amino acids*, 30(3), 279-289.
- Hill, C. A., Harris, R. C., Kim, H. J., Harris, B. D., Sale, C., Boobis, L. H., Kim, C. K., & Wise, J. A. (2007). Influence of β -alanine supplementation on skeletal muscle carnosine concentrations and high intensity cycling capacity. *Amino acid*, 32(2), 225-233.
- Hipkiss, A. R., Michaelis, J., & Syrris, P. (1995). Non-enzymatic glycosylation of the dipeptide L-carnosine, a potential anti-protein-cross-linking agent. *FEBS letters*, 371(1), 81-85.
- Hoffman, J., Ratamess, N. A., Ross, R., Kang, J., Magrelli, J., Neese, K., Faigenbaum, A. D., & Wise, J. A. (2008). Beta-alanine and the hormonal response to exercise. *International journal of sports medicine*, 29(12), 952-958.
- Juel, C., Lundby, C., Sander, M., Calbet, J. A., & Hall, G. (2003). Human skeletal muscle and erythrocyte proteins involved in acid-base homeostasis: adaptations to chronic hypoxia. *Journal of physiology*, 548(Pt2), 639-648.
- Kamal, M. A., Jiang, H., Hu, Y., Keep, R. F., & Smith, D. E. (2009). Influence of genetic knockout of Pept2 on the in vivo disposition of endogenous and exogenous carnosine in wild-type and Pept2 null mice. *American journal of physiology regulatory integrative comparative physiology*, 296(4), 986-991.
- Kendrick, I. P., Kim, H. J., Harris, R. C., Kim, C. K., Dang, V. H., Lam, T. Q., Bui, T. T., & Wise, J. A. (2009). The effects of 4 weeks β -alanine supplementation and isokinetic training on carnosine concentrations in type I and II human skeletal muscle fibers. *European journal of applied physiology*, 106(1), 131-138.
- Lamont, C., & Miller, D. J. (1992). Calcium sensitizing action of carnosine and other endogenous imidazoles in chemistry skinned striated muscle. *The journal of physiology*, 454, 421-434.
- Matthews, M. M., & Traut, T. W. (1987). Regulation of N-carbamoyl- β -alanine amidohydrolase, the terminal enzyme in pyrimidine catabolism, by ligand-induced change in polymerization. *Journal of sports sciences*, 262(15), 7232-7237.
- McNaughton, L. R. (1992). Bicarbonate ingestion: effects of dosage on 60 s cycle ergometry.

- Journal of sports sciences*, 10(5), 415-423.
- Rawson, E. S., Gunn, B., & Clarkson, P. M. (2001). The effects of creatine supplementation on exercise induced-muscle damage. *Journal of strength and conditioning research*, 15(2), 178-184.
- Sato, M., Karasawa, M., Shimizu, M., Morimatsu, F., & Yamada, R. (2008). Safety evaluation of chicken breast extract containing carnosine and anserine. *Food and chemical toxicology*, 46(2), 480-489.
- Suzuki, Y., Ito, O., Mukai, N., Takahashi, H., & Takamatsu, K. (2002). High level of skeletal muscle carnosine contributes to the latter half exercise performance during 30-s maximal cycle ergometer sprinting. *Japanese journal of physiology*, 52(2), 199-205.
- Thienen, R. V., Proeyen, K. V., Eynde, B. V., Puype, J., Lefere, T., & Hespel, P. (2009). β -alanine improves sprint performance in endurance cycling. *Medicine and science in sports and exercise*, 41(4), 898-903.
- Volek, J. S., Kraemer, W. J., Bush, J. A., Boetes, M., Incledon, T., Clark, K. L., & Lymch, J. M. (1997). Creatine supplementation enhances muscular performance during high-intensity resistance exercise. *Journal of the american dietetic association*, 97(7), 765-770.
- Willoughby D. S., & Rosene, J. (2001). Effects of oral creatine and resistance training on myosin heavy chain expression. *Medicine and science in sports and exercise*, 33(10), 1674-1681.

Skeletal Muscle Carnosine Content Correlates to Beta-Alanine and Exercise Performance

Chi, Chung-Pu¹ Kan, Nai-Wen¹ Chang, Shih-Pei^{2*}

¹Center of General Education, Taipei Medical University ²Department of Health Fitness Center, Central Taiwan University of Science and Technology

Abstract

High-intensity exercise will cause carboxylic acid to dissociate, raising the hydrogen ion concentration, which is among the factors of peripheral muscle fatigue that may affect the overall athletic performance and training outcome. Carnosine has been shown to play a role in buffering acid-base levels and inhibit a drop in pH value; its physiological function has a positive effect on the performance of high-intensity exercises. Type II muscle fiber contains 1.71 times greater carnosine before beta-alanine supplementation than type I muscle does; and supplementation of beta-alanine is positively correlated to - and dose dependent on the amount of carnosine. The amount supplemented shall be $10 \text{ mg} \cdot \text{Kg}^{-1}$, which is equivalent to 800 mg of beta-alanine for a single supplement at the maximum permissible level, and a daily maximum amount of 6.4 g, continues for 10 weeks, then promotes the carnosine concentration to reach 80.1%. Oral administration of beta-alanine had little effect on endurance, maximum strength, and one-repetition maximum high-intensity exercise. The amount of carnosine is positively correlated to maximum power in the last 10 seconds of high-intensity exercise, and can enhance the maximum power in high-intensity exercises over the very last 30 seconds.

Key words: ergogenic aids in sports, high-intensity exercise, power, sprint, peripheral muscle fatigue

Corresponding author: Chang, Shih-Pei

Tel: +886-4-22391647#6900

Submitted for publication: 2011.7

Address: No.666, Buzi Rd., Beitun Dist., Taichung City 406, Taiwan (R.O.C.)

E-mail: spchang@ctust.edu.tw

Accepted for publication: 2011.11