

# 本文章已註冊DOI數位物件識別碼

## ► 準備期游泳訓練對微量元素的影響

Trace Minerals Status during General Preparation Phase of Swimming Training

doi:10.6127/JEPF.2007.05.14

運動生理暨體能學報, (5), 2006

Journal of Exercise Physiology and Fitness, (5), 2006

作者/Author：戴堯種(Yao-Chung Tai)

頁數/Page：135-148

出版日期/Publication Date：2006/12

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.2007.05.14>



*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



# 準備期游泳訓練對微量元素的影響

戴堯種

國立澎湖科技大學

## 摘要

微量元素 (trace minerals) 是人體所必須，含量雖少卻調和身體許多重要的功能，其中鐵 (iron, Fe)、銅 (copper, Cu)、鋅 (zinc, Zn) 和硒 (selenium, Se) 的變化更被認為是壓力、運動或許多酵素運作的指標。本研究目的主要在探討準備期游泳訓練及漸速耐力游泳運動，對微量元素鐵、銅、鋅、及硒的影響。受試對象為大專乙組女子游泳選手十四名 (平均年齡  $18.86 \pm 1.56$  歲、平均身高  $161.92 \pm 5.28$  公分、平均體重  $59.00 \pm 10.24$  公斤)，進行七天準備期游泳訓練 (5-7 公里/天)，並在第七天進行  $7 \times 200$  公尺漸速耐力游泳運動，第一、七天訓練前及漸速耐力游泳運動後採血，以原子吸收光譜儀 (atomic absorption spectrophotometer, AAS) 分析血清鐵、銅、鋅及硒含量。相依樣本 t-test 為統計方法，顯著水準  $\alpha$  值定為 .05。結果發現在準備期游泳訓練後，鐵和鋅顯著增加 ( $p < .05$ )；漸速耐力游泳運動後，鐵、銅減少、鋅增加，均達顯著差異 ( $p < .05$ )。由上述結果顯示，準備期游泳訓練後，鐵及鋅狀態提高，顯示血液帶氧能力有所提升。漸速耐力游泳運動後，鐵和銅狀態減少、鋅提高，應為協助抗氧化物清除自由基的短暫現象。而有關鐵、銅及鋅彼此間存在許多交互反應與拮抗作用，則須不同的實驗設計來做進一步探究。

**關鍵詞：**準備期游泳訓練、漸速耐力游泳運動、鐵、銅、鋅、硒

---

連絡作者：戴堯種

聯絡電話：0937685095

投稿日期：95 年 07 月

通訊地址：880 澎湖縣馬公市六合路 300 號

E-mail：tyc719@sparqnet.net

接受日期：95 年 08 月

## 緒論

### 問題背景

微量元素 (trace minerals) 是人體所必須，含量雖少卻調和身體許多重要的功能。在生物系統中，它分別扮演體液的組成份、協同酵素反應、非酵素巨大份子結構及結合、傳遞與釋放氧氣等四大角色。也有越來越多的研究認為，微量元素的確在人類健康與疾病的分際中，具有舉足輕重的地位，其中鐵 (iron, Fe)、銅 (copper, Cu)、鋅 (zinc, Zn) 和硒 (selenium, Se) 的變化更被認為是在壓力或運動時，許多酵素運作的指標 (Cordova & Alvarez-Mon, 1995)，同時也是協助抗氧化酵素活化不可或缺的要素。鐵銅與能量代謝有關，在合成血紅素 (hemoglobin)、肌紅素 (myoglobin) 和細胞色素 (cytochromes)，以及輔助過氧化氫酵素 (Catalase, CAT)，將  $H_2O_2$  分解為  $H_2O$  及  $O_2$  的過程扮演重要角色 (Speich, Pineau, & Ballereau, 2001)；銅鋅則是建構銅鋅超氧化物歧化酵素 (Cu-Zn superoxide dismutase, Cu/Zn SOD) 的重要元素，用來對抗增加的自由基，將超氧化物 (氧自由基) 轉變為  $O_2$  與  $H_2O_2$ ；硒協助麩胱甘肽過氧化物 (glutathione peroxidase, GSH-Px) 保護心血管系統與肌肉，並對抗發炎性疾病。

鐵存在所有細胞中，在維持身體健康的重要性已被公認好幾世紀，史料中也曾記載西元前 4000 年，波斯醫生 Melampus 為戰役中流血士兵補充鐵的記錄。鐵在體內主要作用是參與細胞的呼吸作用，結合氧氣之傳遞，如紅血球中的血紅素、肌紅素，各細胞

內的細胞色素等，都是以鐵為主要成份，並間接與體內能量產生有關。成人體內有 5 公克的鐵，其中 70% 存在紅血球的血紅素內，這也就是缺血會導致貧血的原因。鐵在人體可以維持免疫系統的健康，不足或過量對身體都不好。鐵不足時，免疫系統中的 T 細胞含量會下降，使得免疫系統無法有效運作，辨識癌症初期徵兆的能力受到影響。若是過度的補充鐵質，會有血色素沈積的危險，而且人體會將多餘的鐵儲存在腦、胰、心及肝臟，使人體出現倦怠、關節疼痛、腹痛的現象。鐵與銅也是構成血紅蛋白與呼吸酵素的重要成份之一，缺乏時會有目眩、心悸、氣喘、疲勞的現象，銅不足也會影響鐵質的功能。

鐵與運動的關係上，運動員的鐵需求會因流汗關係而提高，耐力性運動員常有的運動性貧血 (sport anemia) 也被認為與鐵有關，其中又以女性居多 (林正常, 2005)，而非運動性貧血的鐵缺乏症 (iron deficiency) 也廣泛存在男選手中，其中男子體操選手鐵狀態顯著低於游泳、網球及桌球選手 (Constantini, Eliakim, Zigel, Yaaron, & Falk, 2000; Spodaryk, 2002)。

長時間激烈運動及訓練週期對鐵狀態的影響？Rocker 等 (2002) 以 12 名參加鐵人三項的女子選手，發現在比賽後鐵狀態顯著上升，在預測運動表現的成效，也只是其中許多重要因素之一 (Lukaski, Siders, Hoverson, & Gallagher, 1996)。Braun 等 (2000) 以女性游泳選手為對象，研究鐵狀態與免疫系統的關係發現，女性的運動員與非運動員鐵狀態並無差異，且運動訓練會增強

免疫功能，與鐵狀態無關。Tsalis, Nikolaidis, and Mougios (2004) 研究不同游泳訓練期鐵狀態，發現鐵狀態會因訓練量的不同而有差異，與飲食及運動表現無關，當飲食適當時，鐵、銅及鋅的狀態並不會受到運動訓練影響 (Lukaski, Hoverson, Gallagher, & Bolonchuk, 1990)。

銅是動植物的基本微量元素之一，參與許多酵素及蛋白質代謝的過程，在人類的歷史中，早在古埃及及中國就有以銅鹽治療的記載，較詳細的說明當以西元前四百年，希波克拉底描述銅與肺或其它疾病的資料為濫觴。1928 年，銅缺乏症 (copper deficiency) 首度被提出，從此銅在人體的角色也慢慢受到重視，一些較有名的疾病如與銅代謝有關的「威爾森氏症」(Wilson's disease) 及「孟奇病」(Menkes disease) 等。2000 年，實驗醫學及生物進展學刊的研究指出：1.細胞中的能量來源「粒線體」中，銅元素是細胞氧化還原的重要輔因子；2.在細胞核裡，銅是傳遞訊息的轉接角色；3.在細胞質中，銅與鋅是 SOD 的活化因子 (王治元，2003)。

鋅是建構及參與作用 300 多種酵素的重要微量元素，負責核酸與蛋白質的合成、細胞分裂與複製、葡萄糖使用及胰島素分泌，在酵素的代謝中扮演關鍵性角色，包括生產、儲存、分泌、與受器間的作用及胞器末端的反應等。自 1961 年鋅缺乏症 (zinc deficiency) 被定義後，人類始發現適當的鋅含量是必要的，因為它可以整合人體許多的生理功能，如免疫、再生系統、味覺、骨骼、行為發展及腸胃功能 (Lukaski, 2004)。此外，它可強化血球細胞活性，主要與抗氧化

及生育力有關。在體內可促進 SOD 的生成，消除自由基對細胞的破壞，參與組織蛋白的合成，加速細胞修護，促進傷口癒合，對皮膚粗糙乾裂、青春痘預防和治療也有助益。在生育力方面，它是維持性腺功能的重要元素，對男性來說，缺乏時會導致精蟲減少及陽痿，對女性來說則易導致生理不順、經痛及不孕。

銅與鋅的相互關係為何？銅鋅比的意義有其根據嗎？由於鋅在吸收的過程中，是經由小腸細胞吸收進入血液中，與白蛋白或氨基酸結合，造成鋅的重分配。然而銅與鐵也參與吸收競爭的行列，但基於鋅在扮演合成金屬酵素 (metallothionein) 的角色上必須與鐵結合，相對限制了小腸細胞對銅的吸收，降低銅運送至血液中，過量的鋅往往是造成銅缺乏的原因之一。基於上述機轉，以銅鋅比來在判定疾病的成效上，如高的銅/鋅比 (銅增加、鋅下降) 可以預測肝細胞癌的發生，敏感度高達 87.5% (Poo, Rosas-Romero, & Rodriguez, 1995)，但應用運動訓練上，仍未有成果出現。

銅與鋅也是建構 SOD 的重要分子，1969 年 McMord and Fridovich 在分離牛肝的次黃嘌呤時，意外發現 SOD 在催化  $O_2^-$  的神奇功效後，經過幾十年的許多研究証實，SOD 的確是清除人體自由基的最重要酵素 (戴堯種、林正常，2003)。而人體內存在兩種 SOD，分別為 Cu/Zn SOD 與 Mn SOD，由於 Cu/Zn SOD 存在於細胞質，Mn SOD 存在粒線體間質，在研究兩者於腎臟病人與正常人，蛋白質及 mRNA 水平的比較報告中顯示，Cu/Zn SOD 在正常人體的

表現量較高 (Kashem 等, 1996)。

運動訓練會影響銅鋅值嗎? Metin 等 (2003) 針對 25 名足球選手所做的血清 (serum) 調查分析發現, 經過訓練的選手 Cu/Zn 及 SOD 顯著高於控制組, Cu/Zn 及 SOD 也達正相關, 並提出規律運動可提高 SOD, 降低氧化傷害 (林學宜、林培元、徐廣明、徐台閣, 2000; 徐台閣等, 1999; 戴堯種、林正常, 2003), 且長距離高衝擊的鐵人三項運動較短距離低衝擊的游泳運動, 能夠得到更多銅、SOD 等抗氧化物的保護, 這種抗氧化能力的適應是訓練的特殊性所造成, 且適量的鋅對抗氧化的機制是相當重要的 (Koury 等, 2004)。Lukaski 等 (1990) 發現只要飲食中鋅、銅恰當, 運動訓練並不會影響銅鋅值, 卻能夠增加 SOD 活性, 這種現象是銅代謝對有氧訓練的適應所致。Kikukawa and Kobayashi (2002) 以空中救援人員為對象, 發現在劇烈運動後, 尿液中銅鋅量都顯著提高, 原因可能與血液及肌肉重分配有關。Marrella 等 (1993) 觀察馬拉松選手比賽前後銅鋅值發現, 比賽前血漿銅低於控制組, 鋅高於控制組, 賽後發現銅減少, 鋅則些微上升, 增加活動量也得到類似結果 (Diaz Romero, Henriquez Sanchez, Lopez Blanco, Rodriguez Rodriguez, & Serra Majem, 2002)。

不同專項選手銅鋅值是否有差異? Rodriguez Tuyá, Pinilla Gil, Maynar Marino, Garcia-Monco Carra, and Sanchez Misiego (1996) 認為從事以無氧運動為主的選手鋅含量較有氧型態選手高, 無氧運動選手血漿銅含量亦高於從事適度運動者, 有氧型態選

手鋅含量較低的原因可能與汗水流失有關, 且部份長跑選手鋅含量明顯低於正常值 (Dressendorfer & Sockolov, 1980)。Gropper and Sorrels (2003) 調查七十名女大學運動員, 項目含括越野賽跑、網球、壘球、游泳、足球、籃球及體操, 發現所有項目血清的銅含量與正常人並無顯著差異, 年齡、性別及飲食會影響血清中銅、鋅的含量, 且與身體質量指數 (BMI)、身體活動量息息相關 (Ghayour-Mobarhan, Taylor, New, Lamb, & Ferns, 2005)。Nuviala, Lapieza, and Bernal (1999) 比較不同專項選手發現, 空手道選手及中長跑選手血清鋅濃度高於籃球選手。

硒是 1817 年由瑞典的貝捷利亞斯所發現, 並以希臘月亮女神之名 (Selene) 命名之。硒被認定為人體必需的營養素應追溯至 1979 年, 當時中國大陸的研究報告指出, 中國東北、西伯利亞、朝鮮半島所盛行的地方性疾病克山症 (Keshan disease), 是一種由於當地土壤硒含量偏低, 造成攝取量不足而引發的心肌及關節病變, 隨後大陸當局與世界各地科學家對孕婦及幼童施以硒治療, 其重要性才逐漸為人們所重視。

硒具有許多重要的生理功能, 如保護細胞質膜、加強維生素 E 的抗氧化功能、增強免疫力及防止血栓形成等, 缺乏硒最主要會造心肌與骨骼肌功能失調, 其中抗氧化主要為製造抗氧化酵素 GSH-Px 的輔因子, 沒有硒的輔助就無法形成 GSH-Px, 也就無法將 GSH-Px 所分解的  $H_2O_2$  轉變成普通水及氧分子 (林天送, 1999)。

硒與運動的關係上, 大部份文獻都著重在抗氧化的效果。Diaz Romero, Lopez

Blanco, Henriquez Sanchez, Rodriguez, and Serra Majem (2001) 檢視 395 名 (187 名男性、218 名女性) 加那利群島 (Canary Islands, 西班牙自治區, 大西洋一群島) 居民硒含量發現, 硒含量與性別、運動量、教育水準及社經地位無關, 與飲食習慣有關, 尤以提神飲料及酒類為最。Dragan 等(1990) 針對 33 名頂尖游泳選手, 以補充硒對抗氧化傷害的研究中發現, 硒的確可以降低脂質過氧化的現象, 並預測硒可能對耐力運動表現有正面的影響, 補充硒或運動訓練的確皆可增加 GSH-Px 的活動水準, 進而降低氧化傷害 (Tessier, Hida, Favier, & Marconnet, 1995)。但 Margaritis 等 (2005) 卻認為硒的含量與能量消耗息息相關, 運動員消耗大量能量後, 身體會保留硒含量來維繫抗氧化平衡, 且硒與 GSH-Px 並無線性關係, 補充硒對耐力運動表現並無任何效果 (Margaritis, Tessier, Prou, Marconnet, & Marini, 1997), 而且大部份運動員並不會有硒缺乏症狀 (Maughan, 1999)。

從上述對微量元素鐵、銅、鋅及硒的探討中, 發現大多數文獻都支持它們輔助抗氧化酶的角色, 肯定它們對提升抗氧化能力的重要性, 這種論點也說明了觀察鐵、銅、鋅及硒的變化, 以代表運動對個體增強抗氧化能力的效果是有其理論根據的, 而且運動表現與微量元素狀態並無直接關連。此外, 運動訓練及型態對鐵、銅、鋅及硒的影響, 仍無一致性的看法, 不是結果相反就是研究太少, 無法進行比較。因此, 探究運動訓練對微量元素鐵、銅、鋅及硒的影響, 確有其研究之必要性。所以本研究擬以女子游泳選

手為對象, 探討準備期訓練對微量元素鐵、銅、鋅及硒的影響, 以為監控運動員運動訓練之參考。

### 研究目的

(一) 準備期游泳訓練對微量元素鐵、銅、鋅及硒的影響。

(二) 漸速耐力游泳運動對微量元素鐵、銅、鋅及硒的影響。

### 名詞操作性定義

(一) 準備期游泳訓練 (general preparation phase of swimming training): 為期七天, 目的在增進心肺有氧能力、提高氧氣對肌肉的傳遞速率、乳酸排除能力及各項動作的校正與肌力提升等。訓練份量為 5000-7000 公尺/天, 所有選手皆接受相同份量之訓練課程, 其中速度訓練佔 10%、速耐力訓練佔 20%及耐力訓練佔 70%, 運動強度心跳率在 120-150 下/分, 20 級運動自覺量表 (RPE) 在 12-14 間 (Maglischo, 2003)。

(二) 漸速耐力游泳運動 (progress velocity of endurance swimming): 本訓練是以  $7 \times 200$  公尺為訓練課程, 主要在評估選手有氧耐力, 受試者以捷泳完成  $7 \times 200$  公尺的測驗, 200 公尺的時間設定以個人最佳成績為準依序加 5 秒, 例如某選手 200 公尺自由式最佳成績為 2:00 (personal best, pb), 則 7 趟時間分別為: Swim no. 7 = pb + 0:05 = 2:05、Swim no. 6 = 2:05 + 0:05 = 2:10、Swim no. 5 = 2:10 + 0:05 = 2:15、Swim no. 4 = 2:15 + 0:05 = 2:20、Swim no. 3 = 2:20 + 0:05 = 2:25、Swim no. 2 = 2:25 + 0:05 =



2:30、Swim no. 1 = 2:30 + 0:05 = 2:35  
(Goldsmith, 2000)。

## 研究方法

### 研究對象

受試者為大專乙組女子游泳選手十四名，進行研究前先交給受試者每人一份受試者須知、同意書及健康情況調查表，詳細說明本研究動機、目的、流程、血液生化分析及對人體運動訓練的意義，在詳述實驗流程後，請受試者在受試者須知及志願書上簽名，期間並由具執照之合格護士進行抽血及全程監控。受試者在接受研究前一週起，均未服用營養增補劑，訓練期間亦不得服用或改變飲食習慣，且統一訂購早餐及中餐食用，抽血前要求受試者須禁食 12 小時，並不得飲用刺激性飲料，以降低飲食所造成的誤差，未能遵守各項實驗規定及完成整個實驗（含月經來臨暫停訓練者）時，均不納入為樣本。

### 研究步驟

準備期游泳訓練為期七天，每日訓練兩次（每日早上九時及下午三時），第一天為量測受試者基本資料，並抽取空腹安靜值肘靜脈血 5 cc 後一小時，開始進行訓練，為期六天。第七天在抽取空腹安靜值肘靜脈血 5 cc 後一小時，熱身八百公尺後進行 7 × 200 公尺漸速耐力游泳運動，結束後三分鐘，抽取肘靜脈血 5 cc。20 級運動自覺量表 (RPE) 及 10 秒心跳率在運動後立即量測，以監控運動強度。

### 血液生化分析

採血後血液立即進行離心（每分 5000 轉、5 分鐘），採集血清分析鐵、銅、鋅、及硒，其餘冷凍於 -70℃ 冰箱中。

#### （一）器材

使用儀器為原子吸收光譜儀 (Atomic absorption spectrophotometer, AAS) Perkin-Elmer model 5100 pc 型、石墨爐電熱氯化裝置 (Graphite furnace atomizer) Perkin-Elmer HGA 600 型、自動取樣器 Perkin Elmer AS-70 型、轉動混合器 (Shaker) 及離心機 (Centrifuge)。

#### （二）原理與程序

試劑及標準溶液均由德國 E. Merck 公司所製造，分別有硝酸 (Nitric acid)、鐵、銅、鋅及硒標準溶液 (1000 ppm)、Pd (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 溶液、Mg (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 溶液 (1000 ppm)、Ni (NO<sub>3</sub>)<sub>2</sub> 溶液 (1000 ppm)、Triton-X-100 (0.1%) 及去離子之超純水 (18.3 mΩ-cm，於 20 °C)。

鐵、銅、鋅之測定取 0.50 ml serum，加入 0.5 ml ultrapure water。硒之測定取 0.10 ml serum，加入 0.90 ml 0.2% 硝酸混合均勻後，分別以火燄式及石墨爐原子吸收光譜儀，在原子化火焰及原子化器中生成金屬原子，使用各金屬元素之燈管及特定波長，測定其吸光度而定量之。

### 統計分析

以相依樣本 (repeated measure design) t-test 考驗 (1) 準備期游泳訓練前後，鐵、銅、鋅及硒是否有顯著差異；(2) 漸速耐力游泳運動前後，鐵、銅、鋅及硒是否有顯著

差異。顯著水準  $\alpha$  值定為 .05，統計軟體為 SPSS for Window 12.0 版。

## 結果

### 受試者基本資料

本研究 14 名受試者準備期訓練前後受試者基本資料如表一：

表一 準備期訓練前後受試者基本資料

	前	後	t
年齡(yrs)	18.86 $\pm$ 1.56	18.86 $\pm$ 1.56	
身高(cm)	161.92 $\pm$ 5.28	161.92 $\pm$ 5.28	
體重(kg)	59.00 $\pm$ 10.24	58.21 $\pm$ 9.89	3.29**
BMI	22.43 $\pm$ 3.31	22.13 $\pm$ 3.20	3.31**
體脂肪(%)	22.39 $\pm$ 3.81	19.82 $\pm$ 3.02	5.39**

\*  $p < .05$

### 準備期訓練前後各變數

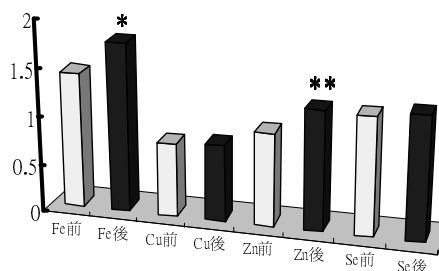
鐵、銅、鋅及硒在準備期訓練前狀態為 1.41  $\pm$  0.27、0.76  $\pm$  0.00、0.96  $\pm$  0.16 mg/L 及 122.38  $\pm$  18.12  $\mu$ g/L，銅/鋅為 0.82  $\pm$  0.19。準備期訓練後狀態為 1.75  $\pm$  0.48、0.79  $\pm$  0.15、1.24  $\pm$  0.32 mg/L 及 128.06  $\pm$  21.34  $\mu$ g/L，銅/鋅為 0.70  $\pm$  0.25。其中鐵和鋅達顯著差異 ( $p < .05$ )，銅/鋅亦達顯著差異 ( $p < .05$ )，如表二及圖一。

$\pm$  0.15、1.24  $\pm$  0.32 mg/L 及 128.06  $\pm$  21.34  $\mu$ g/L，銅/鋅為 0.70  $\pm$  0.25。其中鐵和鋅達顯著差異 ( $p < .05$ )，銅/鋅亦達顯著差異 ( $p < .05$ )，如表二及圖一。

表二 準備期訓練前後各變數分析表

	前	後	t
Fe (mg/L)	1.41 $\pm$ 0.27	1.75 $\pm$ 0.48	-2.19*
Cu (mg/L)	0.76 $\pm$ 0.00	0.79 $\pm$ 0.15	-0.78
Zn (mg/L)	0.96 $\pm$ 0.16	1.24 $\pm$ 0.32	-3.85**
Se ( $\mu$ g/L)	122.38 $\pm$ 18.12	128.06 $\pm$ 21.34	-1.73
Cu/Zn	0.82 $\pm$ 0.19	0.70 $\pm$ 0.25	2.37*

\*  $p < .05$



圖一 準備期訓練前後各變數示意圖

(\*  $p < .05$ , Fe、Cu、Zn 座標單位為 mg/L，Se 座標單位為  $\mu$ g/100L)。



### 漸速耐力游泳運動前後各變數

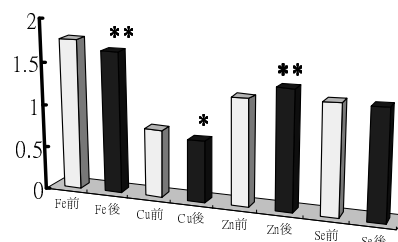
鐵、銅、鋅及硒在漸速耐力游泳運動前狀態為  $1.75 \pm 0.48$ 、 $0.79 \pm 0.15$ 、 $1.24 \pm 0.32$  mg/L 及  $128.06 \pm 21.34$   $\mu$ g/L，銅/鋅為  $0.70 \pm 0.25$ 。漸速耐力游泳運動後狀態

為  $1.64 \pm 0.51$ 、 $0.71 \pm 0.20$ 、 $1.39 \pm 0.30$  mg/L 及  $127.40 \pm 20.21$   $\mu$ g/L，銅/鋅為  $0.53 \pm 0.21$ 。其中鐵、銅和鋅達顯著差異 ( $p < .05$ )，銅/鋅亦達顯著差異 ( $p < .05$ ) 如表三及圖二。

**表三 漸速耐力游泳運動前後各變數分析表**

	前	後	t
Fe (mg/L)	$1.75 \pm 0.48$	$1.64 \pm 0.51$	3.87**
Cu (mg/L)	$0.79 \pm 0.15$	$0.71 \pm 0.20$	2.72*
Zn (mg/L)	$1.24 \pm 0.32$	$1.39 \pm 0.30$	-3.72**
Se ( $\mu$ g/L)	$128.06 \pm 21.34$	$127.40 \pm 20.21$	0.45
Cu/Zn	$0.70 \pm 0.25$	$0.53 \pm 0.21$	3.55**

\*  $p < .05$



**圖二 漸速耐力游泳運動前後各變數示意圖**

(\*  $p < .05$ , • Fe、Cu、Zn 座標單位為 mg/L，Se 座標單位為  $\mu$ g/100L)。

### 討論

鐵、銅、鋅及硒協同許多酵素的作用，進行抗氧化防衛，調控細胞能量及氣體傳遞，及整合許多生理上的系統。準備期游泳訓練著重在選手體能的恢復，訓練課程多以耐力訓練為主，其目的在增加慢縮肌的肌紅素及粒線體 (Maglischo, 2003)。實際上，游泳選手不論專長項目為何，優異的體能是不

可或缺的要素，所以大部份短距離選手，長距離成績也不會太差。在以訓練有氧耐力的前提下，增進肌肉利用氧氣的能力及提高血液的帶氧量，對鐵、銅、鋅及硒的影響有何特殊意義，以下將就準備期訓練及漸速耐力游泳運動後所得結果，進行相關討論。

鐵具有結合、傳遞氧給細胞並帶離二氧化碳的重要功能，缺乏氧氣輸送，許多能量的產生將停滯，導致運動表現的下降。血紅

素較低的運動員，運動衰竭時間較短，經過血紅素注射的運動員，在高強度有氧耐力運動的表現也會提高 ( $r = .74$ ) (Edgerton 等, 1981)。運動員經過準備期訓練後，鐵顯著增加 ( $p < .05$ )，與 Tsalis, Nikolaidis, and Mougios (2004) 認為鐵增加可提升有氧能力的說法一致。而 Deruisseau 等 (2004) 以舉重選手進行 12 週訓練後，鐵狀態並無顯著變化的結果，也間接證實了運動訓練型態對鐵狀態的影響。相較上述，Spodaryk (2002) 認為青少年游泳運動員鐵狀態，在競賽前期、競賽期及減訓期均顯著低於準備期，細較兩研究結果中的差異，主要在於受試者年齡的不同，本研究受試者年齡為 18 歲，該研究對象為 10 歲青少年，正處於成長階段，肌肉組織的發展正需要肌紅素的合成，運動訓練的結果往往會造成血液參數的降低，因此提出在進行高強度訓練時，必須防止缺鐵性貧血狀況的發生。另外，在進行  $7 \times 200$  公尺漸速耐力游泳運動時，大部份受試者 (12) 名皆無法在規定時間內完成第七趟 200 公尺，受試者在 20 級運動自覺量表指數均介於 16-19 間，心跳率介於 160-180 下/分，顯示該運動強度已接近高強度。運動結束後我們發現，鐵顯著減少 ( $p < .05$ )，此結果與 Buchman 等 (1998) 觀察馬拉松選手賽後鐵增加的說法不同，該研究推論當組織受傷時，鐵從細胞釋放出來，造成血清鐵增加。但本研究認為馬拉松比賽大量的汗水流失所產生的脫水現象，才是造成血清鐵狀態提高的主因。由於鐵具有輔助 CAT、過氧化酶 (peroxidase) 和 xanthine oxidase 清除自由基的功能，同時 Clarkson

and Thompson (2000) 及 Ronsen, Sundgot-Borgen, and Maehlum (1999) 也認為有鐵缺乏症者在進行訓練時心跳率較快，目的在增加及補償鐵不足所造成的氧缺乏，造成心臟負擔，且超量的乳酸將產生許多有害自由基，使肌肉失調及喪失專注力，容易在比賽中發生意外。所以高強度運動後鐵減少，應為協助抗氧化物清除自由基的短暫現象。

銅是重要的微量元素，是許多完整金屬酶的構成要素之一，包括 血銅藍蛋白 (ceruloplasmin), SOD, dopamine-hydroxylase, ascorbate oxidase, lysyl oxidase, & tyrosinase 等。準備期訓練後，銅狀態無顯著變化 ( $p > .05$ )，與 Lukaski 等 (1990) 研究結果相同，證實銅對有氧訓練的適應，為維持體內平衡 (homeostasis) 的重要元素。 $7 \times 200$  公尺漸速耐力游泳運動後，銅顯著降低 ( $p < .05$ )，與 Kikukawa and Kobayashi (2002) 認為劇烈運動後尿液銅狀態增加的說法，可解讀為劇烈運動後，銅經由汗及尿液的排出，導致銅的重新分配。此外，多數的血清銅是和具有 ferroxidase 活性的血銅藍蛋白結合，鐵的缺乏亦往往伴隨血清銅的降低，尤其在非貧血性的鐵缺乏大學女性中，進而遭受自由基的傷害 (Gropper, Bader-Crowe, McAnulty, White, & Keith, 2002)。由於鐵銅在狀態上的彼此依存，以鐵銅比來做為監控運動訓練模式的指標，或許是可供研究的方向。

鋅在人體內有 60% 存在肌肉中，30% 存在骨頭中，運動會影響鋅的代謝最早是在 1970 年由 Lichit 等以狗為實驗所提出，他認為 10 分鐘跑步後，血漿鋅呈波動狀

(Rodriguez Tuya 等, 1996) , 隨後 Campbell and Anderson (1987) 也認為有氧運動後, 血漿、尿及汗水中鋅含量均增加。從本研究結果得知, 在準備期訓練後, 鋅顯著增加 ( $p < .05$ ) , 與 Cordova and Navas (1998) 觀察排球選手在不同訓練階段及競賽期所得結果相似, 鋅的狀態與訓練強度、汗水流失有關; 但與 Lukaski 等 (1990) 比較比賽期前後, Zn 狀態無顯著差異結果不同, 推測有兩個原因, 一為由調整期進入比賽期階段, 訓練份量並無增加; 二為飲食攝取正常。此外, 鋅的金屬蛋白碳酸酐酶 (carbonic anhydrase) 是調控二氧化碳從細胞排出不可或缺的要害, 假如鋅受到限制, 呼吸商將會增加, 使乳酸去氫酶 (lactate dehydrogenase) 的活性受到約束 (Lukaski, 2004) 。由訓練後結果顯示, 鋅狀態的提高, 應有助於有氧能力的表現。

劇烈運動時氧攝取量是安靜狀態的 10 至 15 倍, 結果提高了粒線體的氧耗, 造成電子傳遞鏈面對氧壓, 產生過多活性氧及脂質過氧化現象。鋅是重要的抗氧化物, 為 SOD 結構的一環, 當組織受到氧化傷害時, SOD 會迅速防衛, 造成血漿中含量減少 (Micheletti, Rossi, & Rufini, 2001) 。在  $7 \times 200$  公尺漸速耐力游泳運動後, Zn 顯著增加 ( $p < .05$ ) 的現象, 與 Kikukawa and Kobayashi (2002) 及 Cordova and Navas (1998) 研究結果一致, 都是在運動結束後立即採血所得, 推測是由於肌肉受傷後, 鋅從紅血球及骨骼肌釋放至血液中短暫上升的現象, 若持續追蹤, 理論上鋅應該會由於抗氧化機轉啟動而逐漸降低, 但由於本研究並

未持續進行採血, 後續推論仍待進一步驗證。

銅鋅在人體中有拮抗作用, 銅鋅比的意義運用在職工風險調查及疾病預測上相當普遍 (許寵燿, 1993) 。從準備期訓練及  $7 \times 200$  公尺漸速耐力游泳運動後, 銅鋅比皆達顯著差異 ( $p < .05$ ) 中發現, 鋅的變化是造成銅鋅比具差異的重要關鍵, 與 Metin 等 (2003) 以足球員為研究對象所得結果相同, 藉由鋅增加、銅降低可以減少氧化傷害, 由於相關研究運用於訓練上文獻為數不多, 銅鋅比在運動訓練狀態的判讀, 仍須更多的研究來進行分析。

硒在本研究中, 不論準備期訓練或  $7 \times 200$  公尺漸速耐力游泳運動後, 皆未達顯著差異 ( $p > .05$ ) , 可見運動訓練或高強度運動對並未影響硒的變化, 與 Diaz Romero 等 (2001) 與 Margaritis 等 (2005) 的說法一致, 飲食習慣可能才是硒變化的主因, 至於眾多立論支持硒在抗氧化的效果, 則有進一步驗證的必要。此外, 鐵、銅、鋅、硒及銅鋅比, 與身體質量指數 (BMI)、身高、體重及體脂肪, 經統計考驗發現, 皆未達顯著相關 ( $p > .05$ ) , 與 Ghayour-Mobarhan 等 (2005) 說法完全不同, 本研究顯示鐵、銅、鋅、硒與身體基本資料並無直接關係, 至於是否受到飲食或其它因素影響, 仍須進一步研究。

## 結論與建議

### 結論

一、準備期游泳訓練後, 鐵及鋅狀態提

高，顯示血液帶氧能力有所提升。

二、漸速耐力游泳運動後，鐵和銅狀態減少、鋅提高，應為協助抗氧化物清除自由基的短暫現象。

#### 建議

鐵、銅及鋅彼此存在許多交互反應與拮抗作用，運動強度、持續時間、型態、訓練份量、飲食、性別及年齡等都會影響其中的變化，藉由觀察不同訓練期運動員的差異，提供教練在飲食及訓練課程參考，是未來進一步研究的方向。

#### 引用文獻

- 王治元 (2003)：微量元素與老化(8)–銅。《健康世界》，9，59-61。
- 林天送 (1999)：《你的生命活力-從自由基談起》。台北市：健康世界雜誌社。
- 林正常 (2005)：《運動生理學》。台北市：師大書苑。
- 林學宜、林培元、徐廣明、徐台閣 (2000)：不同運動強度對抗氧化酵素及丙二醛的影響。《體育學報》，29，137-148。
- 徐台閣、徐廣明、林明拓、李建明、林孝儀、謝伸裕 (1999)：中等強度運動對脂質過氧化影響。《大專體育學刊》，1，29-37。
- 許寵耀 (1993)：《職業暴露與血清銅鋅比之關係研究》。中國醫藥學院環境醫學研究所碩士論文。
- 戴堯種、林正常 (2003)：低水溫游泳訓練對抗氧化酵素之相關研究。《大專體育學刊》，5 (1)，239-248。
- Braun, W. A., Flynn, M. G., Carl, D. L., Carroll, K. K., Brickman, T., & Lambert, C. P. (2000). Iron status and resting immune function in female collegiate swimmers. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 10(4), 425-33.
- Buchman, A. L., Keen, C., Commisso, J., Killip, D., Ou, C. N., Rognerud, C. L., Dennis, K., & Dunn, J. K. (1998). The effect of a marathon run on plasma and urine mineral and metal concentrations. *Journal of the American College of Nutrition*, 17(2), 124-7.
- Campbell, W. W., & Anderson, R. A. (1987). Effects of aerobic exercise and training on the trace minerals chromium, zinc and copper. *Sports Medicine*, 4(1), 9-18.
- Clarkson, P. M., & Thompson, H. S. (2000). Antioxidants: what role do they play in physical activity and health? *The American Journal of Clinical Nutrition*, 72(2 Suppl), 637S-46S.
- Constantini, N. W., Eliakim, A., Zigel, L., Yaaron, M., & Falk, B. (2000). Iron status of highly active adolescents: evidence of depleted iron stores in gymnasts. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 10(1), 62-70.
- Cordova, A., & Navas, F. J. (1998). Effect of training on zinc metabolism: changes in serum and sweat zinc concentrations in sportsmen. *Annals of Nutrition & Metabolism*, 42(5), 274-82.
- Deruisseau, K. C., Roberts, L. M., Kushnick, M. R., Evans, A. M., Austin, K., & Haymes, E. M. (2004). Iron status of young males and females performing weight-training exercise. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 36(2), 241-8.
- Diaz Romero, C., Lopez Blanco, F., Henriquez Sanchez, P., Rodriguez, E., & Serra Majem, L. (2001). Serum selenium concentration in a representative sample of the Canarian population. *The Science of the Total Environment*, 26, 269(1-3), 65-73.
- Diaz Romero, C., Henriquez Sanchez, P., Lopez Blanco, F., Rodriguez Rodriguez, E., & Serra Majem, L. (2002). Serum copper and zinc concentrations in a representative sample of the Canarian population. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 16(2), 75-81.
- Dragan, I., Dinu, V., Mohora, M., Cristea, E., Ploesteanu, E., & Stroescu, V. (1990). Studies regarding the antioxidant effects of selenium on top swimmers. *Revue Roumaine de physiologie*, 27(1), 15-20.
- Dressendorfer, R. A., & Sockolov, R. (1980). Hypozincemia in runners. *The Physician and Sportsmedicine*, 8, 97-100.
- Edgerton, V. R., Ohira, Y., Hettiarachchi, J., Senewiratne, B., Gardner, G. W., & Barnard, R. J. (1981). Elevation of hemoglobin and work tolerance in iron-deficient subjects. *Journal of*

- Nutritional Science and Vitaminology*, 27(2), 77-86.
- Ghayour-Mobarhan, M., Taylor, A., New, S. A., Lamb, D. J., & Ferns, G. A. (2005). Determinants of serum copper, zinc and selenium in healthy subjects. *Annals of Clinical Biochemistry*, 42(5), 364-375.
- Goldsmith, W. (2000). Aerobic Test (7 x 200 m). *Physiological Test for Elite Athletes* (David Pyne, Wayne Goldsmith and Graeme Maw). Champaign Illinois: Human Kinetics.
- Gropper, S. S., Bader-Crowe, D. M., McAnulty, L. S., White, B. D., & Keith, R. E. (2002). Non-anemic iron depletion, oral iron supplementation and indices of copper status in college-aged females. *Journal of the American College of Nutrition*, 21(6), 545-52.
- Gropper, S. S., & Sorrels, L. M. (2003). Blessing D Copper status of collegiate female athletes involved in different sports. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 13(3), 343-357.
- Kashem, A., Endoh, M., Yamauchi, F., Yano, N., Nomoto, Y., Sakai, H., Pronai, L., Tanaka, M., & Nakazawa, H. (1996). Superoxide dismutase activity in human glomerulonephritis. *American Journal of Kidney Diseases*, 28(1), 14-22.
- Kikukawa, A., & Kobayashi, A. (2002). Changes in urinary zinc and copper with strenuous physical exercise. *Aviation, Space, and Environmental Medicine*, 73(10), 991-995.
- Koury, J. C., de Oliveria, A. V. Jr., Portella, E. S., de Oliveria, C. F., Lopes, G. C., & Donangelo, C. M. (2004). Zinc and copper biochemical indices of antioxidant status in elite athletes of different modalities. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*, 14(3), 358-372.
- Lukaski, H. C., Hoverson, B. S., Gallagher, S. K., & Bolonchuk, W. W. (1990). Physical training and copper, iron, and zinc status of swimmers. *The American Journal of Clinical Nutrition*, 51, 1093-1099.
- Lukaski, H. C., Siders, W. A., Hoverson, B. S., & Gallagher, S. K. (1996). Iron, copper, magnesium and zinc status as predictors of swimming performance. *International Journal of Sports Medicine*, 17(7), 535-40.
- Lukaski, H. C., (2004). Vitamin and mineral status: effects on physical performance. *Nutrition*, 20(7-8), 632-644.
- Maglischo, E. W. (2003). *Swimming fastest*. Champaign Illinois: Human Kinetics.
- Margaritis, I., Tessier, F., Prou, E., Marconnet, P., & Marini, J. F. (1997). Effects of endurance training on skeletal muscle oxidative capacities with and without selenium supplementation. *Journal of Trace Elements in Medicine and Biology*, 11(1), 37-43.
- Margaritis, I., Rousseau, A. S., Hininger, I., Palazzetti, S., Arnaud, J., & Roussel, A. M. (2005). Increase in selenium requirements with physical activity loads in well-trained athletes is not linear. *BioFactors*, 23(1), 45-55.
- Marrella, M., Guerrini, F., Solero, P. L., Tregnaghi, P. L., Schena, F., & Velo, G. P. (1993). Blood copper and zinc changes in runners after a marathon. *Journal of Trace Elements and Electrolytes in Health and Disease*, 7(4), 248-250.
- Maughan, R. J. (1999). Role of micronutrients in sport and physical activity. *British Medical Bulletin*, 55(3), 683-90.
- Metin, G., Atukeren, P., Alturfan, A. A., Gulyasar, T., Kaya, M., & Gumustas, M. K. (2003). Lipid peroxidation, erythrocyte superoxide-dismutase activity and trace metals in young male footballers. *Yonsei Medical Journal*, 44(6), 979-986.
- Micheletti, A., Rossi, R., & Rufini, S. (2001). Zinc status in athletes: relation to diet and exercise. *Sports Medicine*, 31(8), 577-82.
- Nuviala, R. J., Lapieza, M. G., & Bernal, E. (1999). Magnesium, zinc, and copper status in women involved in different sports. *International Journal of Sport Nutrition*, 9(3), 295-309.
- Poo, J. L., Rosas-Romero, R., & Rodriguez, F. (1995). Serum zinc concentrations in two cohorts of 153 healthy subjects and 100 cirrhotic patient from Mexico city. *Digestive Diseases*, 12, 136-42.
- Rocker, L., Hinz, K., Holland, K., Gunga, H. C., Vogelgesang, J., & Kiesewetter H. (2002). Influence of endurance exercise (triathlon) on circulating transferrin receptors and other indicators of iron status in female athletes. *Clinical Laboratory*, 48(5-6), 307-12.
- Rodriguez Tuya, I., Pinilla Gil, E., Maynar Marino, M., Garcia-Monco Carra, R. M., & Sanchez Misiego, A. (1996). Evaluation of the influence of physical activity on the plasma concentrations of several trace metals. *European Journal of*

- Applied Physiology and Occupational Physiology*, 73(3-4), 299-303.
- Ronsen, O., Sundgot-Borgen, J., & Maehlum, S. (1999). Supplement use and nutritional habits in Norwegian elite athletes. *Scandinavian Journal of Medicine & Science in Sports*, 9(1), 28-35.
- Speich, M., Pineau, A., & Ballereau, F. (2001). Minerals, trace elements and related biological variables in athletes and during physical activity. *Clinica Chimica Acta*, 312(1-2), 1-11.
- Spodaryk, K. (2002). Iron metabolism in boys involved in intensive physical training. *Physiology & Behavior*, 75(1-2), 201-6.
- Tessier, F., Hida, H., Favier, A., & Marconnet, P. (1995). Muscle GSH-Px activity after prolonged exercise, training, and selenium supplementation. *Biological Trace Element Research*, 47(1-3), 279-85.
- Tsalis, G., Nikolaidis, M. G., & Mougios, V. (2004). Effects of iron intake through food or supplement on iron status and performance of healthy adolescent swimmers during a training season. *International Journal of Sports Medicine*, 25(4), 306-13.



## Trace Minerals Status during General Preparation Phase of Swimming Training

Tai Yao-Chung

National Penghu University

### ABSTRACT

**Background:** Few data exist on the effect of endurance and intense swimming training on body trace minerals status. Iron (Fe), copper (Cu), zinc (Zn) and selenium (Se) are associated with the balance of anabolic and catabolic processes regulating the renewal of soft and skeletal tissues. The purpose of this study was to investigate the changes of Fe, Cu, Zn, and Se during general preparation phase of swimming training (GP) and progress velocity of endurance swimming (PS). **Methods:** Fourteen college female swimming athletes (mean age  $18.86 \pm 1.56$  yrs; height  $161.92 \pm 5.28$  cm; weight  $59.00 \pm 10.24$  kg) participated in this study. Subjects had blood sample collected 1 hours prior to GP, PS, and immediately following the PS. Fe, Cu, Zn, and Se concentrations in the serum specimens were analyzed by atomic absorption spectrophotometer (AAS), and repeated measure t-test was involved for data analysis. **Results:** After GP, there were no significant change in serum Cu and Se concentrations ( $p > .05$ ), while serum Fe and Zn concentrations increased significantly ( $p < .05$ ). After PS, there was no significant change in serum Se concentration ( $p > .05$ ), serum Fe and Cu concentrations decreased significantly ( $p < .05$ ), Zn increased significantly ( $p < .05$ ). **Conclusions:** Serum Fe and Zn concentrations increased when GP ending. This might result from the improvement of aerobic capacity. Serum Fe and Cu concentrations decreased and Zn increased after PS, possibly related to oxidize stress. But the interaction among Fe, Cu and Zn still need further research to clarify.

**Key words:** GP, PS, Fe, Cu, Zn, Se