

The Blood NH₃ Index and Applications for Training of Track and Field Events

Huang, Lin-Chi & Jang, Jia-Tzer

Institute of Coaching Science, NCPES

Abstract

To have brilliant achievement and proficient performance in the high competed sports field, you need not only a good coach and training schedule but also some good genetic qualities. Different muscle fiber types (Type I, Type-IIC, Type-IIA and Type-IIB) have different physiological characteristics. When during high intense exercise, human body will exert huge amount of Type II fiber which increase blood ammonia (NH₃) content in the short period of time. The purpose of this study was based on the metabolic characteristics of Type-II muscle fiber, in which ammonia was obtained for calculating NH₃ Index and application for training. 21 track and field athletes who were sprinters, mid-distance runners, long-distance runners, jumpers and throwers arranged into four groups joined this study. Blood samples were taken for analyzing and NH₃ Index was obtained for judgment. Results showed the high percentages of athletes in the three groups were not fitted for their NH₃ Index except mid-distance runner group. The obtained NH₃ Index is not only helping athletes for adjusting sport event but also applying coach the basis of specific training and adjustment which progresses achievement of training.

Key words: ammonia (NH₃), muscle fiber (Type I, Type II), application for training

血液 NH₃ Index 與田徑運動訓練應用之研究

黃麟棋 張嘉澤

國立體育學院教練研究所

摘要

在競爭激烈的競技運動領域中，想要獲得好的成績與達到卓越的運動成就，除了要有一位好的教練與完善的訓練計畫之外，另外一個相當重要的條件，就是選手本身所具備的天生條件。不同的肌肉纖維型別(Type I, Type-II C, Type-II A 與 Type-II B)，具有不同影響運動表現之生理特性。人體在短時間高強度的負荷過程中，動員大量的白肌纖維收縮，致使血液中的氨 (ammonia, NH₃) 含量於短時間內大量產生。本研究之目的，以白肌纖維收縮後之代謝特性配合 NH₃ Index 之判斷，以提供教練作為訓練依據與運用。以某田徑隊共 21 名選手，區分為短距離、中距離、長距離與擲跳步共 4 個組別項目，進行血液 NH₃ 檢測與 NH₃ Index 判斷。結果顯示，該隊除中距離選手之外，其餘 3 個項目組別之運動員其符合適當運動員肌肉型態項目之比例並不高。依據所測得之結果，除了可以協助運動員適當的調整所從事的運動項目之外，更重要的是提供教練作為訓練與調整的依據，以期運用最短時間達成最佳的訓練效果。

關鍵字：氨(NH₃)、肌纖維型別(Type I, Type II)、運動訓練應用

壹、緒論：

人體在運動的過程中會伴隨著代謝產物以及疲勞的產生，而造成運動後疲勞一般最常被指出者，即是經由無氧醣酵解路徑後所產生的代謝物—乳酸(lactate)，乳酸可作為疲勞、訓練強度、能量系統判斷、運動能力等運動訓練上判斷之指標(Ryan, Coyle & Quick, 1990; Fukuba, Walsh, Morton, Cameron, Kenny & Banister, 1999)。然而，另一個能量代謝產物—氨(ammonia, NH₃)亦為相當重要。在以往的文獻中最早提出疲勞與NH₃的關係者為1922年的Tashiro，由其質疑NH₃的產生是否與疲勞有關係開始(Mutch & Banister, 1983)。同時又有相當的多的研究皆證實運動後血液中的乳酸與NH₃的產生量具有正相關(Itoh & Ohkuwa , 1990; Itoh & Ohkuwa, 1991; Urhausen & Kindermann, 1992)，故在運動訓練上的運用除了乳酸之外，NH₃亦可作為訓練強度與疲勞的評量指標(Schlicht, Naretz, Witt & Rieckert, 1990)。在一般安靜的情況下，人體內的血液NH₃大多是來自於食物的消化作用，主要是由於腸胃中蛋白質的消化代謝作用以及產生尿液的代謝作用所形成，而安靜時肌肉中動靜脈NH₃ 濃度差異幾乎接近零(Mutch & Banister, 1983)；若在運動負荷的情況下，肌肉可說是產生血液NH₃ 的主要來源(Lowenstein, 1972)，其又會依據運動的型態(Lo & Dudley, 1987; Buono et al., 1984; Eriksson et al., 1985)、強度(Banister et al., 1983; Itoh & Ohkuwa, 1990)與持續的時間(Broberg & Sahlin, 1989)而有不同生成量。在Allen與Conn(1960)的研究中指出，一般人在中低強度的負荷下運動，其體內的NH₃濃度幾乎沒有什麼改變，但是若在非常激烈的負荷下運動，則體內NH₃的濃度可增加至安靜時的400%之多。於Dudley等人(1983)的研究中以活體切片(biopsies)的方式觀察不同肌纖維之間的差異，發現在高強度的運動負荷之下，受試者擁有較多慢縮肌纖維(type-I)比例者，其體內NH₃的生成量是擁有較多快縮肌纖維(type-II)者的一半；而在不同型態的肌纖維(type-I與type-II)中，主要促進催化而產生NH₃的物質—腺甘酸脫氨酶(adenlyate deaminase)的含量也並不相同，在肌肉纖維中粒腺體(mitochondria)的含量越少者，其產生NH₃量則越多(Mutch & Banister, 1983)。由上述可獲知，在短時間高強度的運動中，肌肉纖維中的快縮肌纖維也就是白肌纖維擔任著主要NH₃的生產者，更進一步說明，其主要是人體於短時間內對於ATP(三磷酸腺苷)的需求急劇，致使大量的ADP(二磷酸腺苷)與磷酸根(Pi)結合以供給ATP的來源，則每2分子的ADP與Pi結合就會產生1分子的ATP與1分子的AMP(一磷酸腺苷)，而AMP接著會再進入嘌呤核酸循環(purine nucleotide cycle, PNC)，並在過程中受到腺甘酸脫氨酶的催化作用而產生IMP(肌核苷)與NH₃，這就是短時間高強度運動後血液NH₃產生的由來 (Weicker 1988)。

在競爭激烈的競技運動領域中，若要有優異的成績表現，則必須具備該運動專項所需要的能力(專項體能與一般體能)，這些能力除後天的努力訓練之外，先天的條件(遺傳基因)也是影響達到巔峰運動表現的重要決定因素之一。Hageloch, Schneider與Weicker(1990)在以田徑短距離與中距離為選手的研究中指出，以75公尺與1000公尺之最快速度跑後第3分鐘所測得之血液NH₃量，將75公尺NH₃生成量除以1000公尺的NH₃生成量後所求得之氨指數(NH₃ Index)，結果顯示 Index 低於0.8者為長距離的選手，而相對的Index高於1.0者為短距離選手，其結論指出NH₃ Index可作為預測短距離選手與中距離選手運動能力之依據。Schürmann, Vobejda與Zimmermann(1993)以游泳與田徑項目選手作為研究分析與訓練調整之對象，透過NH₃ Index分析，改變選手之訓練要求後，對於提升個人成績，具有顯著效果。故本研究想藉由短時間高強度負荷的運動過程中，白肌纖維收縮能量代謝所產生在血液NH₃的特性，進一步探討某田徑隊中投擲項目、長距離項目、短距離項目與中距離項目選手血液NH₃ Index之情形，以利於該隊運動訓練上之應用。

貳、方法與步驟：

一、實驗參加者：

本研究以包含不同項目的一般高中田徑選手共 21 人(男生 12 人，女生 9 人，平均年齡為 16.68±0.82 歲，平均身高與體重分別為 168.38±8.48 公分與 58.71±9.35 公斤)為本實驗參加者，所有運動員皆填寫參加同意書，其基本資料與實驗分組表一與表二所示：

表一 實驗參加者—基本資料

性別	人數	年齡	訓練年齡
男	12	16.8(±0.6)	4±0.7
女	9	16.6(±1.1)	3±0.5

表二 各項目人數

短距離(8 人)	中距離(5 人)	長距離(3 人)	擲、跳步(5 人)
男 1 女 7	5 男	3 男	3 男 2 女

二、NH₃ Index：

依據 Schürmann 等人(1993)之研究，NH₃ Index 與其所適合運動負荷之肌纖維型態代表如下所示：

Index < 0.8 耐力性運動員(Type-I)

Index 0.8~1.2 中強度性運動員(Type-IIC, Type-IIA)

Index > 1.2 高強度性運動員(Type-IIB)

三、NH₃ 檢測

所有實驗參加者前一天皆沒有高強度的運動。於檢測熱身前先採集 NH₃ 安靜值，然後進行暖身運動並在獲得適當休息後，分別以個人最大速度完成 75 公尺短距離以及 1000 公尺中長距離等兩項檢測，並於兩測試距離中間間隔至少 20 分鐘的休息(Graham et al., 1990)。依照標準程序分別於結束後第 3 分鐘 (Hageloch, Schneider & Weicker, 1990；Schürmann et al., 1993)於選手耳垂採集 20 μ L 血液，並以通過校正測試之 NH₃ 檢測儀 PA-4130 Blood Ammonia Meter (Arkray Factory Inc.)進行參數化驗，並將所得之值進行處理比較。

四、數據處理

將所測得之數據依據各組之分配以平均數與標準差呈現，並在計算出各選手之 NH₃ Index 之後，以圖形方式進行評估與判斷。

參、結果：

受試者於 75m 與 1000m 測試後之相關數據如表三與表四所示，並將計算後之 NH₃ Index 製成區域分佈圖進行判斷，如圖一所示：

表三 各項目在 75 與 1000 公尺的成績

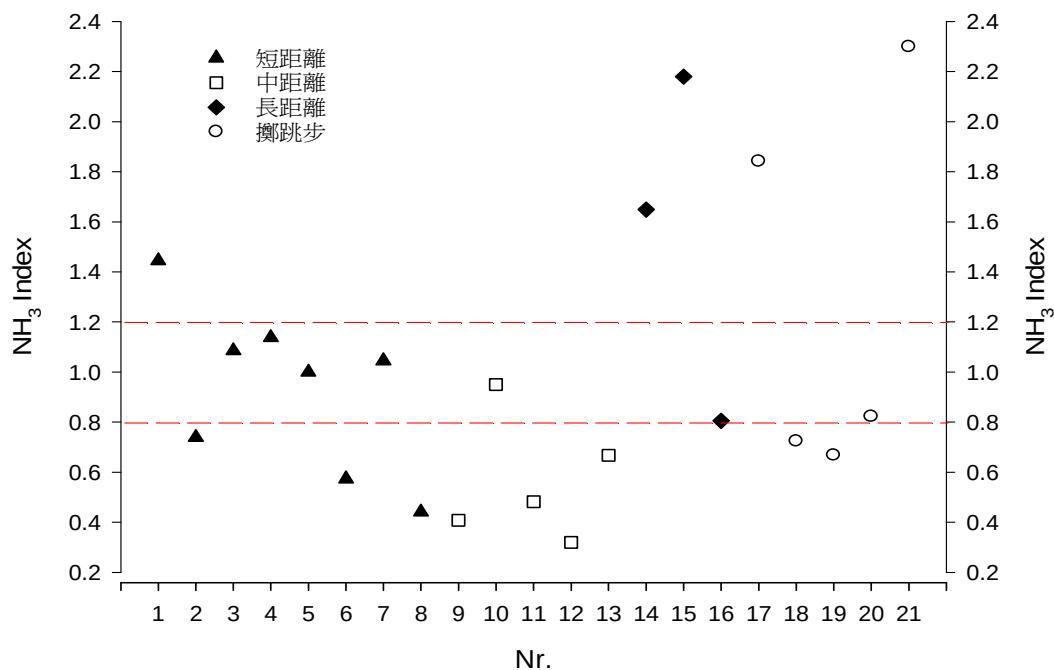
項目	短距離(8 人) 秒	中距離(5 人) 秒	長距離(3 人) 秒	擲、跳步(5 人) 秒
75m	10.51 $\pm$ 0.91	9.43 $\pm$ 0.29	10.27 $\pm$ 0.35	10.03 $\pm$ 1.19
1000m	216.82 $\pm$ 16.50	173.71 $\pm$ 8.79	193.96 $\pm$ 25.18	226.18 $\pm$ 29.78

表中的值代表「平均數 $\pm$ 標準差」

表四 各項目在檢測後第3分鐘血液NH₃含量

項目	短距離(8人) ($\mu\text{mmol/l}$)	中距離(5人) ($\mu\text{mmol/l}$)	長距離(3人) ($\mu\text{mmol/l}$)	擲、跳步(5人) ($\mu\text{mmol/l}$)
安靜	20.25 $\pm$ 8.00	18.00 $\pm$ 6.63	18.67 $\pm$ 10.02	18.00 $\pm$ 7.04
75m	42.75 $\pm$ 21.59	31.60 $\pm$ 12.12	47.67 $\pm$ 16.80	50.00 $\pm$ 22.28
1000m	45.88 $\pm$ 16.81	61.20 $\pm$ 17.40	35.33 $\pm$ 7.77	44.40 $\pm$ 17.11
NH ₃ Index	0.93 $\pm$ 0.33	0.52 $\pm$ 0.23	1.42 $\pm$ 0.63	1.27 $\pm$ 0.75

表中的值代表「平均數 $\pm$ 標準差」



圖一 各組選手 NH₃ Index 之分佈情形

肆、討論

由結果中的圖一顯示，本研究中的所有選手除中距離項目選手之 NH₃ Index 較符合專項需求外，其他項目選手大部分未落在適合之區域內，不過這些中距離選手仍須加強最大肌力與全身動員能力的訓練，如此，再配合常規的訓練才能夠使這些選手發揮應有的速度耐力能力。而依據運動負荷與肌肉型態判斷，短距離選手應具備高 NH₃ Index (Hageloch et. al., 1990)，但是經檢測後發現，本研究中短距離選手之 NH₃ Index 平均值只達 0.93 $\pm$ 0.33，若進一步觀察則發現其中只有 1 人落在高於 Index 1.2 的區域，有 4 人落於 Index 0.8~1.2 之間，而有 3 人落於低於 Index 0.8 的區域內，由此可推估，運動員之肌肉型態多為

Typ-IIA 偏向 Typ-IIC 以及 Type-I 等慢縮肌之肌纖維型態較多，因此對於改善短距離運動員個人成績，應著重最大肌力(1RM)的提升與肌間與肌內協調(inter- and intra- coordination) 之訓練，才能提升其反應力量與肌肉、神經的動員能力。然而一個好的短距離選手，是應當具備較多的白肌纖維百分比，所以其 NH₃ Index 應該落在大於 Index 1.2 以上為佳；本研究中之**長距離選手** NH₃ Index 平均值達到 1.42±0.63，依據理論其肌肉型態中白肌纖維(Typ-IIB)擁有較高的比例，在 Itoh & Ohkuwa (1990) 的研究中指出短距離選手體內白肌纖維百分比要比長距離選手來得高，所以對於耐力性運動項目而言，高 NH₃ Index 並不適合從事長時間運動。故針對本研究中長距離選手肌肉型態特性，則必需著重在有氧耐力的培養，促使其肌肉內之微血管與粒腺體數量增加，以及透過訓練適應以提升肌纖維 Type-IIB 轉化成 Type-IIA 進而強化有氧性的代謝作用(Roger & Thomas, 2004)，如此才能提升其競技能力；而在**擲、跳步項目選手**方面，依據結果顯示有 60%的選手之 NH₃ Index 落在 0.9 以下。而從事擲、跳步項目的運動員，若擁有較高白肌纖維之比例 (NH₃ Index 大於 1.2) 者，則較能夠擁有較佳的成績表現。所以其訓練改善之重點應加強肌間與肌內之協調以及最大肌力發展之訓練。

伍、結論與建議

從上述的結果與討論中獲知在本研究的各分組項目中，只有中距離選手落在適合的 NH₃ Index 範圍之內。故本研究結論為該田徑隊之項目運動員，目前符合適當運動員肌肉型態之項目者比例偏低。建議依據本研究之結果判斷，教練除了可以依據選手之意願做適當的運動項目調整之外，更重要的是依據各選手之肌纖維特性來擬定有效促進以及改善其弱勢肌纖維型態之訓練計畫。故要有效地提升選手的運動成績，除了必需真正掌握運動員之 NH₃ Index 外，更重要的是依據 NH₃ Index 來擬定符合個人化的訓練內容與劑量，才能在短時間內達到有效的訓練成果。目前本研究只針對田徑項目，未來將更進一步對技擊與球類項目運動員分析研究，以提供相關之訓練依據。

參考文獻

1. Allen, S. I., Conn, H. O. (1960). Observations on the effect of exercise on blood ammonia concentration in man. *Yale Journal of Biology & Medicine*, 33, 133-144.
2. Banister, E. W. (1983). The time course of ammonia and lactate accumulation in blood during bicycle exercise. *European Journal of Applied Physiology and Occupational Physiology*, 51, 195-202.
3. Buono, M. J., Clancy, T. R., & Cook, J. R. (1984). Blood lactate and ammonia ion accumulation during graded exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 57, 135-139.
4. Broberg, S., & Sahlin, K. (1989). Adenine nucleotide degradation in human skeletal muscle during prolonged exercise. *Journal of Applied Physiology*, 67, 116-122.
5. Dudley, G. A., Staron, R. S., Murray, T. F., Hagerman, F. C., & Luginbuhl, A. (1983). Muscle fiber composition and blood ammonia levels after intense exercise in humans. *Journal of Applied Physiology*, 54, 582-586.
6. Eriksson, L. S., Broberg, S., Bjorkman, O., & Wahren, J. (1985). Ammonia metabolism during exercise in man. *Clinical Physiology*, 5, 325-336.
7. Fukuba Y, Walsh, M. L., Morton, R. H., Cameron, B. J., Kenny, C.T., & Banister, E. W. (1999). Effect of endurance training on blood lactate clearance after maximal exercise, *Journal of Sports Sciences*, 17(3), 239-248.
8. Graham, T. E., Bangsbo, J., Gollnick, P. D., Juel, C., & Saltin, B. (1990) Ammonia metabolism during intense dynamic exercise and recovery in humans. *American Journal of Physiology Endocrinology and Metabolism*, 259, E170-E176.
9. Hageloch W, Schneider S., & Weicker H. (1990). Blood ammonia determination in a specific field test as a method supporting talent selection in runners. *International Journal of Sports Medicine*, 11(2), 56-S61.
10. Itoh H., & Ohkuwa, T. (1990). Peak blood ammonia and lactate after submaximal, maximal and supramaximal exercise in sprinters and long-distance runners. *European Journal of Applied Physiology*, 60(4),

271-276.

11. Itoh H., & Ohkuwa, T. (1991). Ammonia and lactate in the blood after short-term sprint exercise. *European Journal of Applied Physiology*, 62(1), 22-25.
12. Lo, P., & Dudley, G. A. (1987). Endurance training reduces the magnitude of exercise-induced hyperammonemia in humans. *Journal of Applied Physiology*, 62, 1227-1230.
13. Lowenstein, J. M. (1972). Ammonia production in muscle and other tissues: The purine nucleotide cycle. *Physiology Reviews*, 52, 382-413.
14. Mutch, B. J., & Banister, E. W. (1983). Ammonia metabolism in exercise and fatigue: a review. *Medicine and Science in Sports and Exercise*, 15(1), 41-50.
15. Rojer, W. E., & Thomas, R. B. (2004). *NSCA's essentials of personal training*. Champaign, IL: Human Kinetics.
16. Ryan, R., Coyle, E. F., & Quick, R. W., (1990). Blood lactate profile throughout a training season in elite female swimmers. *Journal of Swimming Research* 6(3), 5-9.
17. Schlicht, W., Naretz, W., Witt, D., & Rieckert, H. (1990). Ammonia and lactate: Differential information on monitoring training load in sprint events. *International Journal of Sports Medicine*, 11(1), 85-90.
18. Urhausen, A., & Kindermann, W. (1992). Blood ammonia and lactate concentrations during endurance exercise of differing intensities. *European Journal of Applied Physiology*, 65(3), 209-214.
19. Wilkerson, J. E., Batterton, D. L., & Horvath, S. M. (1975). Ammonia production following maximal exercise: treadmill vs. bicycle testing. *European Journal of Applied Physiology*, 34, 169-172.
20. Weicker, H. (1988): Purinnukleotidzyklus und muskuläre ammoniakproduktion. *Dtsch Z Sportmed* 39, 172-178.
21. Schürmann, C.; Vobejda, C.; Zimmermann, E.: Modifikation eines für Läufer entwickelten Testverfahrens zur Talentsichtung im Schwimmbereich. In: Liesen et al. : Regulations- und Repairmechanismen. 33. Deutscher sportärztekongress Paderborn 1993, 78-81 (Nr.060).