

體育運動與競技訓練的無氧閾值(A.T.)

國立臺灣體育學院體育學系

翁正哲、楊秀珠

摘要

無氧閾值（以下稱AT）始於wasserman和McIlroy(1964)年的論文中出現。而現今90年代對A. T. 的相關研究及對其應用更拓展在廣泛的範圍，例如：一般的體育運動及競技訓練工作和手術或疾病後的復健工作的有氧能力之界定工作。於此時，針對無氧性作業閾值和有氧性作業閾值的研究歷史和其測驗過程、方法、判定等之論述爭執點做分析探討，再次的理解A. T. 對體育運動及競技訓練和復健工作的貢獻價值，經文獻探討所得的結果如下：

- 1.A. T. ，應掌握在對於體內呈相對性的缺氧之際，而血中乳酸濃度(La)則持續的上昇之起始點的運動強度。
- 2.對A. T. 的判定，希望採用「乳酸非持續性的上昇之起始點的運動強度」。
- 3.以漸增式負荷測試A. T. 時，不是求乳酸閾值，應求換氣閾值才是。
- 4.於第二點所定義的A. T. ，應觀察換氣亢進的起始點之轉機的探求為今後的研究課題。
- 5.實驗設計的侵入性與非侵入性的差異。

關鍵字：A. T L. T. ； V. T. ； EXERCISES ； 運動強度

An Application of at to Physical Education and Training Program of Physical Exercises

Wong, Cheng-che、Yang, Hsiu-chu

National Taiwan College of Physical Education

ABSTRACT

What is AT? AT is the abbreviation of Anaerobic Threshold. K. Wassernam and M.B. McIlroy first used it in 1964 on their thesis. At present, AT is even adopted very commonly as a reliable criterion for measuring exercise intensity. Significantly, a thorough study of AT can further our understanding of one's athletic capacity and its corresponding programs for various physical exercises. It also serves as a guideline for people to set the maximum level of exercise intensity during weight training.

In conclusion, the purpose of this study is to point out the contribution of AT to physical education and exercise. This study attempts to ensure that AT plays a very important role in supporting athlete training and that it can be highly useful in our scientific approaches to exercise training. The results of the study can be summarized as follows.

1. During the process of sports and exercise activities, AT is defined as the crucial point when an anaerobic situation arises. Likewise, Lactate Threshold (LT) is defined as a starting point in which the amount of Lactate continuously increases in the blood.
2. During the process of sports and exercise activities, AT is defined as the crucial point when an anaerobic situation

arises Likewise, Lactate Threshold (LT) is defined as a starting point in which the amount of Lactate continuously increases in the blood.

3. In step-by-step exercise testing, Ventilation Threshold (VT) instead of LT should be used.
4. An examination of the structure and formation of AT will be a focus of our future study in physical education and exercise training.
5. In studies of AT one must take into full consideration invasive and non-invasive factors such as blood sampling.

KEYWORDS: AT; LT; VT; EXERCISES

壹、緒論

體育運動及競技訓練的實施之中，透過生理性的科學化依據，在判定其運動效果和競技目的之達成與否，已被廣泛重視，但在運動的強度設定之依據參考，至今雖有許多方式被使用但其說服力較高者仍為「無氧閾值」之說。而檢測人體內的「無氧閾值」並非一件簡單的工作，而且經過研發，閾值的測驗實施方式與方法，實驗條件的考量等，一直被研究者不斷的提出與改進，此雖是令人欣喜之事，但閾值的判定基準，會隨者不同的因素，而無法一致。導致閾值產生的原因，學者們將其所見提出一些理論，但出入之處也不少，此仍說明人體之內的小小宇宙之奧秘，並無法簡單的證明，某種現象就是由某種情形所致。本研究以文獻探討的方式研究無氧閾值的歷史背景及在應用上的一些問題點，使我們能在認知上更清楚和善用閾值，做為科學化的運動訓練及運動效果的判定之依據。

貳、研究問題

從1986年Wasserman的研究及定義之中並沒有將「無氧性」及「閾值」等字放置於論文中，是否該研究者反對無氧與有氧之間有明顯之界定的問題存在，而且，無氧性作業閾值是依據人體的呼氣之始末 O_2 與 CO_2 的上昇點或者是人體血液中的乳酸的突然上昇起始點為基聖之爭議為問題。換言之，閾值的確定是以實驗的實施，應以侵入性或非侵入性之方法實施才合理。而人體運動之時，上述的兩點均存在於體內。

參、研究目的

在科學實驗的實施之際，最講究的是方法與結果，藉以佐證實驗的假設。無氧閾值的研究迄今已歷四十年，並已由一般的體育運動的有氧能力之認定到競技運動訓練工作的應用以及對疾病患者或手術後的復健醫學均有一定的貢獻，因運動之前應了其運動的能力，而最具科學根據，並以昂貴的儀器作測驗的項目之一，可信度之高不難想像。但在無氧閾值的整個研究過程之中，各家論點、方法、結果又眾說云云。到底其爭執點在哪？不一致的說辭

之原因理由何在，乃為本文的主要研究目的。

肆、研究動機

無氧閾值的科學化依據已在歐美日等國的體育運動研究者之中陸續的被提出，並被廣泛的應用，但其中問題點存在目前尚未作有效性的釐清，如侵入性與非侵入性的實驗之方式，定義與判定的正確性，以及利用上的技術問題，還有許多未解決之處，因此先從文獻的探討著手；整理出問題點，再解決其問題，為主要的動機。

伍、研究方法

本研究乃依據文獻探討之方法，回顧1960年代至今的歐美日等先進國家的重要研究報告，並作整理，及問題討論。

陸、研究範圍

無氧閾值的產生，基本上的概念是在人體運動之際，當吸進的氧與呼出的二氧化碳的比例呈不平衡之點開始肌肉中乳酸有推積的現象，而到一定的程度乳酸值已超過 4mmol/L/min （1分鐘每立方公升血液中的乳酸量）時我們口呼出的二氧化碳超過吸進的氧量。並且有突然上升（乳酸）的轉折時點被定義為A. T。從體內閾值出現的快或慢，亦可判斷此人的有氧運動能力或無氧運動能力在何程度，但如此的實驗過程要配合不斷的抽血，驗血才能得知血中的乳酸成分，若在運動中或競技比賽之中實施有不便之處。而從呼氣的氣體中的氧量來判定AT，則雖有測驗儀器十分昂貴及煩瑣的實驗過程之疑慮，但可全程的實施，故稱為Breath-by-breath法的氣體交換測定法，較容易掌握受測者的生理變化之情況，且據多數的研究報告指出，氣體交換的情況可與心跳數(HR)及主觀性疲勞程度做每分鐘對照比較則獲得正的相關。

然而AT的起始點的運動強度的乳酸出現與氣體交換比的兩者之間尚有很多的爭議點未被解決，例如血中乳酸的抽取只限於身體的局部代表性之意味較高，而肺臟的氣體交換比則屬全身性的氧與二氧化碳經循環後回到肺內再經氣道在口鼻之處做採氣分析，且以每分鐘連續採氣及隨時的經電腦做氣體

分析儀做記錄處理，有可信度較高之說。另者，當運動強度增強時乳酸上昇，乃因氧的不足所致，但氧的不足乃是指何處的氧不足，是全身肌肉呢亦或是只有運動的肌肉（活動肌）部份呢？尚需證實。

柒、名詞解釋

AT：應譯為Anaerobic Threshol，而日語譯為無酸素性作業閾值，而國人將稱之為無氧閾值，或稱為無氧性閾值。

閾值：(threshold)為關卡、轉折點，為突然的變化，如變大或升高等之意。

侵入性：即實驗設計中的抽血及驗血中的成份等。

非侵入性：上述的相反，不侵入人體作抽驗血之工作。

LT：乳酸閾值，運動中血液裡的乳酸量的突然上升時點。

VT：換氣閾值，即運動的每一次呼吸的換氣量及突然增加的上升時點。

捌、文獻探討

無氧作業閾值的定義，在1964年Wasserman 72) 說：「血中乳酸濃度(La)不再持續性的上昇之起始點所從事的運動強度」。此定義中並無出現「無氧性」，「閾值」等之用辭，因此不應把它稱為最大乳酸定常現象(masimal Lactate Steady Stute! Max Lass) 41)？此又構成另一個論點。

A. T. =max Lass，依據文獻記載，AT之研究可概分以下幾個時期。

1.萌芽期的研究：

1930年：運動的強度到達一定的強度或超越此程度時，2, 45) 血中乳酸濃度(La)即開始上昇。此乃有關A. T. 的研究之起始。

1964年：Naimark 44) 氏等，在以漸增式負荷運動實驗中，發現肺細胞裡的氣體交換比(RER)急速上昇。

運動負荷漸增→La的上昇→CO₂排泄→RER的上昇，此順序獲確認。

1964年：Wasserman 73) 氏，將上述現象的變化所出現的運動強度之起始點命名為A. T.。此為A. T用詞的正式出現。

※但是，還是會出現缺點，例如：以意識形態去做「過度換氣」也會出現此種現象。

1967年：Wasserman 69) 氏指出，血中乳酸濃度的上昇之二氧化碳過剩的排泄與單純的過度換氣之相違處乃是在二氧化碳的過剩排泄時呼氣終末期 CO_2 分壓($P_{ET}CO_2$)的低落所至。

1973年：Beaver 3) 氏等於實驗的每分鐘（設定的時間）內，可觀察性的每次呼吸分析記錄(Breathe-by-Breathe)的電腦系統軟體之開發使用，用以觀察每次呼吸的 VE ， VO_2 ， VCO_2 ，呼氣終末期 O_2 分壓($P_{ET}CO_2$)和呼氣終末期 CO_2 分壓($P_{ET}CO_2$)等的變化量。

※Wasserman氏，開始明確地對A. T. 做定義，「代謝氧時隨及伴著氣體交換之際所產生的變化之起始點的運動強度或 VO_2 的量」3)。

1978年：Wasserman 68) 對A. T. 產生後的 CO_2 的過剩排泄及換氣亢進於等碳酸性 ($P_{ET}CO_2$ 一定時) 所進行的情形稱之為「isocapnic buffering」的A. T. 之判定基準，並由以下三點來確立：

※(1) V_E 及 VCO_2 的急速上昇；(2)伴隨著 $P_{ET}CO_2$ 的變化而 $P_{ET}O_2$ 的上昇；(3)伴隨著 VE/VCO_2 的變化 VE/VO_2 的上昇。

1980年：Wasserman 70) 氏等提出，超過A. T. 後的 VE 的變化乃是因介於頸動脈小體隨著 La の上昇所引起的可能性極高。Davis氏們指出由於運動強度內容的不同而A. T. 也會有差異18) ， La 上昇的起點和換氣亢進起始點的相關性19) ，透過test-retest的實驗測試可得良好的相關結果17, 18)。

2. 爭議期的研究

1980年代，有關A. T. 的論文急增，新的用語VT, LT的登場。

1) VT……Ventilatory Threshold (換氣性作業閾值)

Jones和Ehram 34) 將其定義為「漸增運動負荷測試之中，等碳酸性的換氣亢進之起始點時的運動強度」。

2) LT……Lactate Threshold (乳酸性作業閾值)。

其定義為「漸增運動負荷測試之中血中乳酸超越安靜時水準而急激性地上昇之起始點之運動強度」。

(1)支持V. T. 的研究：

1981年Yoshida氏等80) 的研究指出VT和LT呈高相關的有意水準。

Whipp氏等77) 指出，用非階段式負荷（斜率式負荷）也可以測試VT。（注視的焦點在完全放棄定常反應的觀點）。

1982年Davis氏們16) 的研究報告提出，以20~100watt/min的斜率式負荷測定VT，而在50watt/min以下時VT之中的 VO_2 呈一定（定常狀態），但

沒與La的動態作比對檢討。

Wasserman 70) 氏們的實驗方法中，以(Breath-by-breathe)換氣法判定VT，但測試儀器裝置，價高無法普及。

Whipp 77) 氏們的研究指出使用無階段式負荷的運動測試，可測出VT。而且斜率直線式的負荷的實驗，已完全放棄Wasserman的漸增式負荷（階段式負荷的方法做定常反應的觀察，展開另一種新的研究論點）。

CAILLO 8) 氏們指出VT的決定基準：

1. VE, VCO₂的急激性上昇。
2. 隨著P_{ET}CO₂的變化，P_{ET}O₂也上昇。
3. 隨VE/VCO₂的變化，VE/VO₂也上昇。
4. RER的急激上昇。

但在這些指標之中，以何者的指標為最高的判別依據？如3. 指標性太高，而4. 的指標性則太低。

(2)支持L. T. 的研究：

1982年Hagberg氏們 25) 指出從肺換氣動態來實施A. T. 的測試較不妥。Hughson氏們 30) 報告提出，漸增式負荷的傾斜率變化的話，L. T. 隨即變化，而V. T. 則沒變化。Hughes氏們28) 說，在測試開始之前，肝醣水準下降的話，L. T. 也下降，而V. T. 則沒變化。

1983年Green氏們23) 提出，L. T. 和V. T. 之間，V. T. 的值較高。

1984年Powers氏們48) 提出報告，L. T. 和V. T. 的相關性低。

(3)提出反論的研究：

Whipp 76) Hagberg 25) 的研究指出，沒有所謂的「isocapnic buffering」→(CO₂的過剩排泄及等碳酸性的換氣亢進)之說。故L. T. 和V. T. 的不一致，所以A. T. 的判定基準只使用(1)和(2)而已。

Davis 15) 的報告指出，「isocapnic buffering」是應該從呼氣中氣體變量做總合性判斷較為客觀。

1)中立派的研究：

L. T. 和V. T. 應從生理學之立場，以別的東西來表示。6. 49)

2)支持Maxlass的研究：Mader氏們40) Maxlass之La的經驗性基準為4 mmol/l，以此為無氧性機構參與的判斷之基準。

Kinderman氏們36) 的實驗提出，在跑步機（台）上的每3分鐘增加速度的測試之中，L. A.（乳酸）值到達4 mmol/l時的跑速為運動強度maxlass

Sjodin和Jacobs 55) 對上述的運動強度稱之為OBLA(Onset of Blood Lactate Accumulation)。

※可是乳酸濃度的4 mmol/l的基準，缺乏生理學性的根據。

3)否定性的研究：

Yeh氏們78)，Chirtel氏們9)，Stanley氏們60) Hughson氏們的研究，提出反論，並指出在指數函數的增加並無所謂的閾值。

玖、研究結果

體育運動與競技訓練的無氧閾值(A. T)的應用，乃為科學化訓練與運動科學化的手段之一，經本次的文獻探討研究，得知以下幾點的結果：

1.乳酸是運動的最終產物，也是疲勞物質妨礙運動技術與能力的主要因素，優秀的運動員之競技水準的比較至最後乃是比較乳酸的出現點，後移（勿太早出現）與乳酸的消除之能力。故了解乳酸產生的機轉在於乳酸的轉化時所需的氧的量與呼吸循環所提供的氧量之平衡的現象。

2.運動中，很多的乳酸轉化為熱能且供活動肌使用，並再與氧結合經克氏環的循環結果產生水與二氧化碳且釋出體外，但基本上乳酸的轉化需氧的結合，故運動員的無氧能力需經由訓練來增加，而無氧閾值的起始點正是判定無氧能力的一個科學化之依據。但以何種觀點來判定閾值較為合理呢？如：(a. 乳酸上昇的起始點，b. 呼吸循環的氣體交換的氧與二氧化碳比的上昇起始點)。

3.無論是採用何種判定方法，其實驗的過程與方法是非考慮不可，如漸增式負荷的測驗方法或斜率式的增加負荷測試法等求得AT閾值。

4.就實驗法而言以無氧閾值所界定的運動能力或競技能力較其他的方式更有可靠的依據。

拾、討論

A. T從名稱的解釋，是因活動肌的缺氧所產生乳酸所致的現象。但是近年來研究結果指出對「無氧」之概念性的疑問產生，Green氏之研究指出，在漸增負荷測驗中，檢驗受測者的大腿外廣肌的肌肉組織中乳酸濃度，結果

證實全身在低強度運動中乳酸並無上升，而活動肌內卻開始產生乳酸。之後又以放射性顯像乳酸實驗，來追蹤乳酸的現象，在受測的血液中連續的注射入放射性顯性乳酸，檢測其代謝速度，得知血流中的乳酸的出現速度和消失速度兩者與運動強度一樣呈緩慢型態的增加。但是在低運動強度之際，出現與速度之協調，所見的乳酸卻無變化；而在運動強度增強時在超越某個程度水準之後，出現的速度與消失速度亦上昇，乳酸的產生也隨即上昇。由此結果可推想，因乳酸不上昇所以肌肉也不產生乳酸。故A. T並非由活動肌的無氧狀態所致(Connett 10, 11, 12)的實驗以肌中的血中肝醣的凍結分光法，證實肌肉中的氧分壓會使氧飽和度產生變化，如果肌中的無氧部分存在的話，則氧飽和度幾乎等於零；所以「AT」非由活動的無氧狀態所形成的。將這些主張稍加整理得知：LA乃在於乳酸的出現與消失的平衡上所致，在超越AT時則LA上昇，而且此上昇現象與活動肌的無氧並無直接關係(6. 7. 10. 11. 12)。

然而這些主張疑點如下：1.為何活動肌內無所謂的無氧部位卻發現乳酸的產生呢？及2.為何運動強度超越AT起始點的運動強度時乳酸的出現與消失的平衡失調。且還尚未解決？有關於第一點(Satinsby 56)提出，即使活動肌是無氧部位時也有可能產生乳酸激增之現象；並且說明，在開始運動後，依肌肉的收縮而肌細胞釋出鈉離子電價，促使無氧性機構與有氧性機構兩者產生活性化的現象。但是前者與後者到達十分的活性化之所需的時間不同，而無氧性機構的時間較快，而且它們的因反應而產生的生成物之間的不平衡的狀態，故促使乳酸的生成呈加速之象，此假設之說的實驗(57. 58. 59)結果指出，在血液中注入abnafulin物之後使活性化形成時的無氧性機構，促成乳酸的亢進加速現象之應證，對此論說(Wasserman氏74. 75) 提出：如果因反應而生成物產生量之平衡的變化而使乳酸的產生高進加速，那麼反應的驅動物質的濃度也因而上昇，故他們認為當運動強度增大時，乳酸上昇但磷酸卻無上昇；故Wasserman強調：隨著運動強度增加時而乳酸也上昇之因素，乃由於氧的相對性不足所致，更提出毛細管內的氧分壓的不平衡之說，形成有時候毛細血管的氧分壓呈零狀態的肌肉部分，導致無氧肌肉參與之結果(74) 故得知Satinsby之說：因運動使乳酸的產生增大的機轉在 O_2 deficit的存在乳酸上昇；而Wasserman之說是運動強度的增大而乳酸持續性的上昇，較易於了解。

為何運動強度在超越AT的強度時，乳酸的出現與消失會成不平衡的狀態呢？一般而言，在運動中的乳酸形成主要來自於活動肌中，而在活動肌及非

活動肌、心肌、肝臟等器官之消除74)。但在肝臟的乳酸會還原成新生醣，故消除的時間運作會較慢，而其他的活動肌或非活動肌心肌之處的乳酸消除，因會形成氧化之故；所以消除的時間較快20, 32, 35, 40) Brooks 7) 的研究指出，乳酸是運動中代謝的基本物質，而運動的產物的乳酸乃是由無氧機構系統參與的結果，所形成的最終產物。實際上在運動中很多的乳酸轉化為熱量而被使用；且比血糖的熱量還多60)。如果乳酸的產生及因氧化而消失的話，那當時在消失上供給氧是必要現象，而乳酸的上昇實際在於活動肌內所須要的氧量和乳酸的消除所需氧量之兩者和，在比經由呼吸循環所提供的氧量多的時候；然而不管是活動肌的乳酸所產生的乳酸較多，或氧化後消除乳酸的量減少，任何一種均可視為乳酸上昇的一個機轉考量。

AT的出現，即使是在活動肌乳酸產生的高進或因氧化乳酸的清除的抑制等，乳酸的出現比消除還快時才出現，實際上是在活動肌上一部分或全部的無氧狀態所反應的呢？現今尚無法下結論，但至少因缺氧或無氧所形成，此點卻十分肯定。「閾值」的判定，十分主觀，有些學者的研究指出，上昇曲線的點稱為閾值，而此漸增式負荷的運動驗在實驗進行之際，手續複雜且受測者的配合與賣力演出也相重要。其次是呼氣終末值的AT或乳酸出現的AT尚未定論，有待後續的研究去應證。

拾壹、結 論

Naimark氏們44)，Wasserman和Mcilroy 73)，Mader氏們40) 之觀點指出，以實際測試得 $A. T. = \max_{\text{lass}}$ 。但是1973年以後的Wasserman的論文中已無此觀點，而且實驗是以漸增式負荷測試方式測定A. T為方向了。然而V. T.，L. T. OBLA等的指標之中何者形成 \max_{lass} 的呢？而著者們的研究指出，在漸增負荷運動之中所測試出的V. T. 形成 $\max_{\text{lass}} = A. T.$ 。

※但是，若接受 \max_{lass} 是由V. T. 所形成的結果，那麼Wasserman提出的「L. T. 的上升引起換氣亢進」之理論，則有再詳加思考之必要。

1. A. T.，應掌握對於體內呈相對性的缺氧之際，而 L_a 則持續的上昇之起始點的運動強度。
2. 今後對A. T. 的判定，希望採用「 L_a 非持續性的上昇之起始點的運動強度」稱之。
3. 以漸增式負荷測試A. T. 時，不是求LT或OBLA，應求VT才是。

於上述第二點所定義的A. T.，應觀察換氣亢進的起始點之運動強度的機轉，建議作為今後的研究的實驗設計與實驗技術之考量為課題。

拾貳、建議

- 1.A. T的應用不只在運動競技訓練，也可以應用在一般運動復健或病患的復健運動的強度設定之依據。
- 2.A. T檢測所需的儀器均非常昂貴且又程序煩瑣，如能做技術性的克服，及利用於競或訓練的現場利用，而非只限純存於生理學生的單純理論。換言之，實驗測試的經濟性和簡化性的考量。
- 3.實驗的進行對受測者所作的侵入性或非侵入性之採樣，應作通盤性的考量，以為A. T的判定之正確性。
- 4.所得的數據也應多與其他的論文數據做印證比較。

參考文獻

1. Allen. W.K. D.R. Seals, B.F. Hurley, A.A. Ehsani, and J.M. Hagberg: Lactate threshold and distance-running performance in young and older endurance athletes. *J. Appl. Physiol.* 58: 1281-84, 1985.
2. Bang, O.: The lactate content of the blood during and after muscular exercise in man. *Skand. Arch. Physiol.* 74 (Suppl. 10) : 50-82, 1936.
3. Beaver, W.L., K. Wasserman, and B.J. Whipp: On-line computer analysis and breath-by-breath graphical display of exercise function tests. *J. Appl. Physiol.* 34: 128-132, 1973.
4. Beaver. W.L., K. Wasserman, and B.J. Whipp: Improved detection of lactate threshold during exercise using a log-log transformation. *J. Appl. Physiol.* 59:1936-40, 1985.
5. Beaver. W.L., K. Wasserman, and B.J. Whipp: A new method for detection of anaerobic threshold by gas exchange. *J. Appl. Physiol.* 60: 2020-27, 1986.
6. Brooks, G.A.: Anaerobic threshold: review of the concept and direction for future research. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17: 22-31, 1985.
7. Brooks, G.A.: The lactate shuttle during exercise and recovery. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18: 360-8, 1986.
8. Caiozzo, V.J., J.A. Davis, J.F. Ellis, J.L. Azur, R. Vandagriff, C.A. Prietto, and W.C. McMaster: A comparison of gas exchange indices used to detect the anaerobic threshold. *J. Appl. Physiol. Respir. Environ. Exercise Physiol.* 53: 1184-9 1982.
9. Chirtel, S.J., R.W. Barbee, and W.N. Stanby: Net O₂, CO₂, lactate, and acid exchange by muscle; during progressive working contractions. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 56: 161-65, 1984.
10. Connett, R.J., T.E.J. Gayeske, and C.R. Honig: Lactate accumulation in fully aerobic, working dog gracilis muscle. *Am. J. Physiol.*

- 248: H120-H128, 1994.
11. Connett, R. J., T.E.J. Gayeske, and C.R. Honig: Engrey sources in fully aerobic rest-work transitions: a new role for glycolysis. *Am. J. Physiol.* 248: H922-29, 1985.
 12. Connett, R. J., T.E.J. Gayeske, and C.R. Honig: Lactate efflux is unrelated to intracellular PO₂ in a working red muscle in situ. *J. Appl. Physiol.* 61: 402-408, 1996.
 13. Colye, E.F., W.H. Martin, A.A. Ehsani, J.M. Hagberg, S.A. Bloomfield, D.R. Sinacore, and J.O. Holloszy: Blood lactate threshold in some well-trained ischemic heart disease patients. *J. Appl. Physiol. Respirat Environ. Exercise Physiol.* 54: 18-23, 1983.
 14. Cunningham, D.A., D.H. E.A. Nancekievill, D.H. Paterson, A.P. Donner, and P.A. Rechnitzer: Ventilation threshold and aging. *J. Gerontol.* 40: 703-707, 1985.
 15. Davis, J.A.: Anaerobic threshold: review of the concept and directions for future research. *Med. Sci. Sports Exerc.* 17: 6-18, 1985.
 16. Davis, J.A., B.J. Whipp, N. Lamarra, D.J. Hunitsman, M.H. Frank, and K. Wasserman: Effect of ramp slope on determination of aerobic parameters from the ramp exercise test. *Med. Sei. Sports Exerc.* 14: 339-343, 1982.
 17. Davis, J.A., H.M. Frank, B.J. Wipp, and K. Wasserman: Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J. Appl. Physiol: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 46: 1039-1046, 1979.
 18. Davis, J.A., P. Vodak, J.H. Wilmore, J. Vodak and P. Kurtz: Anaerobic threshold and maximal aerobic power for three modes of exercise. *J. Appl. Physiol.* 41: 544-550, 1976.
 19. Davis, J.A., V.J. Caiozzo, N. Lamarra, J.F. Ellis, R. Vandagriff, C.A. Prietto, and W.C. McMaster: Does the gas exchange anaerobic threshold occur at a fixed blood lactate? Donovan, C.M., and G.A. Brooks: Training affects lactate clearance not lactate production. *Am. J. Physiol.* 244: E83-E92, 1983.

21. Farrell, P.A., J.H. Wilmore, E.F. Coyle, J.E. Billing, and D.L. Costill: Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.* 11: 338-344, 1979.
22. Gaesser, G. A., and D.C. Poole: Lactate and ventilatory threshold: disparity in time course of adaptation to training. *J. Appl. Physiol.* 61: 999-1004, 1986.
23. Green, H. J., R.L. Hughson, G.W. Orr, and D.A. Ranney: Anaerobic threshold, blood lactate, and muscle metabolites in progressive exercise. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 54: 1032-1038, 1983.
24. Hagberg, J.M.: Physiological implications of the lactate threshold. *Int. J. Sports Med.* 5 (Suppl.): 106-109, 1984.
25. Hagberg, J.M., E.F. Coyle, J.E. Carroll, J.M. Miller, W.H. Martin, and M.H. Brooke: Exercise hyperventilation in patients with McArdle's disease. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 52: 991-991, 1982.
26. Heck, H., A Mader, G. Hess, S. Mucke, R. Muller, and W. Hollmann: Justification of the 4-mmol. l lactate threshold. *Int. j. Sports Med.* 6: 117-130, 1985.
27. Hill, D.W., K.J. Cureton, S.C. Grisham, and M.A. Collins: Effect of training on the rating of perceived exertion at the ventilatory threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.* 56: 206-211, 1987.
28. Hughes, E.F., S.C. Turner, and B.A. Goods: Effect of glycogen depletion and pedaling speed on "anaerobic threshold". *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 52:1598-1607. 1982.
29. Hughson, R.L.: Methodologies for measurement of the anaerobic threshold. *Physiologist* 27:304-311, 1984.
30. Hughson, R.L. and H.J. Green: Blood acid-base and lactate relationship studied by ramp work tests. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 14:297-302, 1982.
31. Hughson, R. L., H. Weisiger, and G. D. Swanson: Blood lactate concentration increases as a continuous function in progressive

- exercise. *J. Appl. Physiol.* 62:1975-1981, 1987.
32. Issekutz, B., Jr., W.A.S. Shaw, and A.C. Issekutz; Lactate metabolism in resting and exercising dogs. *J. Appl. Physiol.* 40:312-319, 1976.
33. Ivy, J.L., R.T. Withers, P.J. Van Handel, D.H. Elger, and D.L. Costill: Muscle respiratory capacity and fiber type as determinants of the lactate threshold. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 48: 523-527, 1980.
34. Jones, N.L. and R.E. Ehrasm: The anaerobic threshold. *Exerc. Sport Sci. Rev.* 10: 49-83, 1982.
35. Jorheldt, L.: Metabolism of L (+)-lactate in human skeletal muscle during exercise. *Acta Physiol. Scand. Suppl.* 338, 1970.
36. Kinderman, W.G. Simon, and J. Kuel: The significance of the aerobic-anaerobic transition for the determination of work load intensities during endurance training. *Eur. J. Appl. Physiol.* 42: 25-34. 1979.
37. Kumagai, S, K. Tanake, Y. Matsuura, A. matsuzake, K. Asano: Relationships of the anaerobic threshold with the 5km, 10km, and 10mile races. *Eur. J. Appl. Physiol.* 49: 13-23, 1982.
38. LaFontain, T.P., B.R. Londeree, and W.K. Spath: The maxaimal steady state versus selected running events. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 13: 190-192, 1981.
39. Londere, B.R., and S.A. Ames: Maximal steady state versus state of conditioning. *Eur. J. Appl. Physiol.* 34: 269-278, 1975.
40. Mader A., H. Liesen, H. Heck, H. Philippi, P.M. Schurch, and W. Hollmann: Zur Beurteilung der sportart spezifischen ausdauerleistungsfahigkeit. *Sportarzt Sport med.* 27: 80-88, 109-112, 1976.
41. Mader, A., and H. Heck: A theroy of the metabolic origin of anaerobic threshold. *Int. J. Sports Med.* 7: 45-65, 1986.
42. Mazzeop. R.S., G.A. Brooks, T.F. Budinger, and D.A. Schoeller, Pulsed injection. Ctracer studies of lactate metabolism im humans during rest and two levels of exercise. *Biomed Mass Spectrom.* 9: 310-3

- 14, 1982
43. 宮下充正：科學，講談社，東京，1990。
 44. Naimark, A., K Wasserman. And M. B. Mc. Ilroy: Continuous measurement of ventilatory exchange ratio during exercise. *J. Appl. Physiol.* 19: 644-652, 1964.
 45. Owles, W.H.: Alterations in the lactic acid content of the blood as a result of light exercise and associated changes in the CO₂-combining power of the blood and in alveolar CO₂ pressure. *J. Physiol.* 69: 214-237, 1930,
 46. Poole, D.C. and G.A. Gaesser: Response of ventilatory and lactate threshold to continuous and interval training. *J. Appl. Physiol.* 58: 1115-1121, 1985.
 47. Posner, J.D., K.M. Gorman, H.S. Klein, and G.J. Cline: Ventilatory threshold: measurement and variation with age. *J. Appl. Physiol.* 63: 1919-11525, 1987.
 48. Powers. S.K. Dodd, and R. Garner: Precision of ventilatory and gas exchange alterations as a predictor of the anaerobic threshold. *Eur. J. Appl. Physiol.* 62: 173-177, 1984.
 49. Powers S.K. and R.E. Beadle: Onset of hyperventilation during incremental exercise a brief review. *Res Quart. Exerc. Sports* 56:352-360, 1985.
 50. Prud'homme, D., C. Bouchard, C. Leblance, F. Landry Reliability of assessments of ventilatory thresholds. *J. Sports Sci.* 2: 13-24, 1984.
 51. Quirion. A., G.R. Brisson, L. Laurencelle, D. DeCarufel, A. Audet, S. Dulace, M. Ledoux, and P. Vogelare: Lactate threshold and onset of blood lactate accumulation during incremental exercise after dietary modifications. *Eur. J. Appl. Physiol.* 57:192-197, 1988.
 52. Reybrouck, T., J. Ghesquiere, A. Cattaert, R. Fagard, and A. Amery: Ventilatory threshold during short- and long-term exercise. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 55: 1694~1700, 1983.

53. Reybrouck, T., J. Ghesquiere, M. Weymans, and A. Amery: Ventilatory threshold measurement to evaluate maximal endurance performance. *Int. j. Sports Med.* 7: 26-29, 1986.
54. Acheen, A., J. Juchmes, and A. Cession Fossion: Critical analysis of the anaerobic threshold during exercise at constant workloads. *Eur. J. Appl. Physiol.* 46: 367-377, 1981.
55. Sjodin, B., and I. Jacobs: Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int. J. Sports Med.* 2:23-26, 1981.
56. Stainsby, W.N.: Biochemical and physiological bases for lactate production. *Med. Sci. Sports Exerc.* 18: 341-343, 1986.
57. Stinsby, W.N., Summers and G.M. Andrew: Plasma catecholamines and their effect on blood lactate and muscle lactate output. *J. Appl. Physiol.* 57: 321-325, 1984.
58. Stansby, W.N., C. Sumners, and P.D. Eitzman: Effects of catecholamines on lactic acid output during progressive working contractions. *J. Appl. Physiol.* 59: 1809-1815, 1985.
59. Stansby, W.N., C. Sumners, and P.D. Eitzman: Effect of adrenergic agonists and antagonists on muscle O₂ uptake and lactate metabolism. *J. Appl. Physiol.* 62: 1845-1851, 1987.
60. Stanley. W.C., E.W. Gertz, J.A. Wisneski, D.L. Morris, R.A. Neese, and G.A. Brookds Systemic lactate kinetics during graded exercise in man. *Am. J. Physiol.* 249: E595-E602. 1985.
61. Stanley. W.C., E.W. Gertz, J.A. Wisneski, R.A. Neese, and G.A. Brooks: Glucose and lactate turnover in man during rest and exercise studies with simultaneous infusion of ¹⁴C-glucose and ¹³C-lactate. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 16: 136 (Abstract), 1984.
62. Stegmann, H., and W. Kindermann: Comparison of prolonged exercise tests at the individual anaerobic threshold and the fixed anaerobic threshold of 4mmol · l⁻¹. *Int. J. Sports Med.* 3: 105-110, 1982.
63. Stegman, H., W. Kindermann, and A. Schnabel: Lactate Kinetics and individual anaerobic threshold. *Int. J. Sports Med.* 2: 160-165, 1981.

64. Talbot, T.L., W.H. Schuette, H.W. Tipton, L.E. Thibault, F.L. Brown, Jr., and R.M. Winslow: Noninvasive detection of the anaerobic threshold during computercontrolled exercise testing. *Med. Biol. Eng. Comput.* 23: 579-584, 1985.
65. Tanake, K., and Y. Matsuura: Marathon performance, anaerobic threshold, and onset of blood lactate accumulation. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 56: 640-31., 1984.
66. Thomas, S.G., D.A. Cunningham, J. Thompson, and P.A. Rechnitzer: Exercise training and ventilation threshold in elderly. *J. Appl. Physiol.* 59: 1472-1476, 1985.
67. Vage, P., J. Mercier, M. Ramonatxo, and CH. Prefaut: Is ventilatory anaerobic threshold a good index of endurance capacity? *Int. J. Sports Med.* 8: 190-195, 1987.
68. Wasserman, K. Breathing during exercise. *N. Engl. J. Med.* 298: 70-785, 1987.
69. Wasserman, K., A.L. Van Kessel, and G.G. Burton: Interaction of physiological mechanisms during exercise. *J. Appl. Physiol.* 22: 71-85, 1967.
70. Wasserman, K., B.J. Whipp, S.N. Koyal and M.G. Cleary: Effect of carotid body resection on ventilatory and acid-base control during exercise. *J. Appl. Physiol.* 39: 354-358. 1975.
71. Wasserman, K., B.J. Whipp, S.N. Koyal and W.L. Beaver: Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. *J. Appl. Physiol.* 35: 236-243, 1973.
72. Wasserman, K., J.E. Hansen, D.Y. Sue, and B.J. Whipp: Principles of exercise testing and interpretation. Lea & Febiger, Philadelphia, 1986.
73. Wasserman, K., and M.B. McIlroy: Detecting the threshold of anaerobic metabolism in cardiac patients during exercise. *Am J. Cardiol.* 14: 844-852, 1964.
74. Wasserman, K., W.L. Beaver, and B.J. Whipp: Mechanism and patterns of blood lactate increase during exercise in man. *Med. Sci. Sports.*

- Exerc. 18: 344-352, 1986.
75. Wasserman, K., W. Beaver, J.A. Davis, Jpu, D. Heber, and B.J. Whipp: Lactate, pyruvate and lactate/pyruvate ratio during exercise and recovery. *J. Appl. Physiol.* 59:935-940, 1985.
 76. Whipp, B. J.: Exercise hyperventilation in patients with McArdle's disease. *J. Appl. Physiol.: Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 54: 1638-1639, 1983.
 77. Whipp, B. J., J.A. Davis, F. Torres, and K. Wasserman: A test to determine parameters of aerobic function during exercise. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 50: 217-221, 1981.
 78. Yeh, MP., R.M. Grander, T.D. Adams, F.G. Yanowitz, and R.O. Crapo: "Anaerobic threshold Problems of determination and validation. *J. Appl. Physiol. Respirat. Environ. Exercise Physiol.* 55: 1178-1186, 1983.
 79. Yoshida, T.: Effect of dietary modifications on anaerobic threshold. *Sports Med.* 3: 4-9, 1986.
 80. Yoshida, T., A. Nagata, M. Muro, N. Takeuchi, and Y. Suda: The validity of anaerobic threshold determination by a Douglas Bag method compared with arterial blood lactate concentration. *Eur. J. Appl. Physiol.* 46: 423-430, 1981.
 81. Yoshida T., M. Chida, M. Ichioka, and Y. Suda: Blood lactate parameters related to aerobic capacity and endurance performance. *Eur. J. Appl. Physiol.* 7: 7-11, 1987.
 82. 伊東春樹，小池朗，谷口興一，ほか，opc 8212の慢性心不全に対する長期効果，日臨床薬理18:32. 1987.
 83. 兒島俊一，南勝，西島宏隆，橋本文教，松村尚哉，安田壽一：心不全患者の運耐容量を評價するためトレッドミル負荷試験の検討，心臓13: 1239. 1981.
 84. 田中喜代次，渡邊一志，小西洋太郎，中塘二三生，田中真介，前田如矢：運動強度の増大に伴う心機能變化，*Jan. J. Sports Sci.* 4: 880-886, 1985.