

## 血中乳酸, CPK 活性, LDH 活性からみた 無酸素的作業能力に関する研究

大 桑 哲 男・宇津野年一

保健体育教室

(1983年8月22日)

### Blood Lactate, CPK and LDH Activity after Anaerobic Exercise

Tetsuo OHKUWA and Toshikazu UTSUNO

*Department of Health and Physical Education*

(Received August 22, 1983)

The purpose of this study was to compare the peak blood lactate concentration after supramaximal and maximal treadmill running and to examine the relationships between the total amount of work either lactate concentration or anaerobic enzyme (CPK and LDH) activity on female handball players.

The results obtained are as follows.

1. The peak value of blood lactate during recovery was observed at the 5th min for maximal and at the 7th min for the supramaximal exercise, respectively.
2. The peak blood lactate concentration after supramaximal exercise was significantly higher (average 1.52 mmol/l) than that of maximal exercise.
3. In supramaximal exercise a significant correlation was demonstrated between total amount of work and peak blood lactate concentration ( $r=0.676$ ,  $p<0.05$ ).
4. There was close correlation between total amount of work and net CPK activity ( $r=0.694$ ,  $p<0.05$ ) or net LDH activity ( $r=0.731$ ,  $p<0.05$ ) in supramaximal exercise, though no significant correlation was found between total amount of work and peak CPK activity or peak LDH activity.

From these results, it was suggested that blood lactate concentration, net CPK and LDH activity after supramaximal treadmill running may well serve as useful index of anaerobic work capacity in female handball players.

### はじめに

短時間の激しい運動における performance は、エネルギー源であるアデノシン三リン酸 (Adenosine triphosphate; ATP) クレアチンリン酸 (Creatine phosphate) 及びグリコーゲン (Glycogen) の量と、それらの利用効率に依存するものと思われるが、中でも最大運動後の最高血中乳酸濃度は、酸素負債量と共にヒトの無酸素的作業能力の指標として広く用いられてきた (猪飼<sup>9)</sup> Margaria ら<sup>16)</sup>)。しかし、異った運動持続時間での全力疾走後の最高血中乳酸に関する報告は、かならずしも一致していない。すなわち、黒田ら<sup>13)</sup>は男子陸上競技選手を対象とし、1,500m, 5,000m, 10,000m の全力疾走、疾走時間にする約4分、16分、30分の走行後の血中乳酸濃度を比較し、走行距離が長くなるにつれて、運動後血中乳酸濃度が低くなる傾向が認められた

と報告している。Karlsson と Saltin<sup>11)</sup>は、3名の一般大学生について異なる3種 (約2分、6分、16分) の疲労困憊時の血中乳酸を測定し、運動後の血中乳酸濃度が最も高かったのは exhaustion 時間で約6分の時であったと述べている。さらに Hermansen<sup>6)</sup>によれば、1名の被検者に対し、10分以内の異なる時間で exhaustion に達した時の最高血中乳酸濃度を比較したところ、ほぼ同じであったと報告している。これらの結果の違いについては、被検者数があまりにも少なかったことによるものかもしれない。そして上記の結果はすべて男子を対象にしておき、女子についての報告はほとんど見当たらないように思われる。

一方、Saito ら<sup>20)</sup>は、400m スプリントランニングにおける走行スピードと最大血中乳酸濃度との間には、有意な相関関係が認められなかったと報告している。しかし、乳酸脱水素酵素 (Lactate dehydrogenase; LDH) 活性は、中・長距離ランナーに比べスプリントランナーの方が高く<sup>3)</sup> また、持久性トレーニングにより安静時及

び最大運動時における LDH 活性と CPK 活性が増大する<sup>22)</sup>ことが明らかにされていることから、ヒトの無酸素的作業能力は、血中乳酸ばかりでなく LDH や CPK 活性といった酵素活性の面からも検討する必要があると思われる。

そこで本研究は、二つのことを目的として行った。一つはハンドボール女子選手7名を対象に、約10分で exhaustion に至る最大運動と、約70秒で exhaustion に至る超最大運動後の最大血中乳酸濃度を比較することであり、他の一つは、同女子14名を対象に超最大運動後の血中乳酸濃度、乳酸脱水素酵素(LDH)、クレアチンリン酸キナーゼ(CPK)活性と総仕事量の関係から、無酸素的作業能力を検討することである。

## 方 法

被検者は、某会社に所属する女子ハンドボール選手14名である。表1には、被検者の年齢、身長、体重、体重

Table 1 Physical characteristics and aerobic work capacity of subjects.

Age (yrs.)	Height (cm)	Weight (kg)	$\dot{V}O_2$ max/Wt (ml/kg·min)	12 min test (m)
19.4	163.3	61.2	51.8	2812
$\pm 1.8$	$\pm 5.3$	$\pm 5.2$	$\pm 5.2$	$\pm 139$

Values are mean and SD.

N = 14

$\dot{V}O_2$  max/Wt; Maximal oxygen uptake per kilogram of body weight.

当りの最大酸素摂取量、12分間走行距離を平均値と標準偏差で示した。実験に際して、その数日前に全員トレッドミル走行に慣れさせ、実験手順を覚えさせる目的であらかじめ予備実験を行った。その際各被検者が、約60秒で exhaustion に至るように、トレッドミルの走行スピードと傾斜を決定した。実験当日被検者は、食後3時間以上経過した後、実験室に入室し、椅座位の姿勢で30分間安静を保った後、採血を行い、これを安静時の値とした。その後2～3分間の warming-up を行い、約5分間休息した後、あらかじめ決定した運動条件にて、exhaustion までトレッドミル上を走行させた。exhaustion 後再び被検者を椅座位で安静にさせ、5分、7分、10分目に肘静脈から採血を行った。採血に要した時間は、20秒以内で、1回につき約5mlの血液を採取した。採取した血液5mlのうち2mlは、乳酸濃度測定のためすばやく除蛋白し、残りの3mlは酵素活性測定のため遠心分離し(3,000 rpm × 10分間)、血漿と血球に分離した。

本実験では、トレッドミル走行時間、総仕事量、さら

に、血液成分は血中乳酸(Lactic acid; LA)、乳酸脱水素酵素(LDH)、クレアチンリン酸キナーゼ(CPK)を測定した。血中乳酸濃度測定は校正用として概知濃度の乳酸標準液(90 mg/dl, 180 mg/dl)を用いHohorst法<sup>8)</sup>にて行った。LDH活性は、Wróblewski法<sup>26)</sup>(乳酸基質・ジアホラーゼ法)によって、CPK活性は、Rosalki<sup>19)</sup>の変法によって測定した。酵素測定に際して、4種類の概知の標準液にて検量線を作製し、各濃度を算出した。なお、各測定項目において、運動後の最大値から安静時の値を差し引いた値を各々 net lactate, net LDH, net CPKとした。最大酸素摂取量の測定はトレッドミルを使用し、斜度5度、速度は110m/min～120m/minから開始し、1分ごとに、10m/minずつ速度を漸増させ、約10分で exhaustion に至るように設定した。最大酸素摂取量測定後の採血は14名中7名についてのみ行い、採血方法及び測定方法は、前に述べた超最大運動と同様であった。最大酸素摂取量測定の際、換気量はフクダ社製のRC-50換気量計、酸素濃度はMogan社製の瞬時O<sub>2</sub>分析器、炭酸ガス濃度はGodalt社製の赤外線CO<sub>2</sub>分析器を使用し、連続的に測定を行った。なお、これらの酸素及び炭酸ガス分析器は、ショランダー微量ガス分析器にて測定した概知濃度のガスにて校正した。有意差検定はt-testにて行った。

## 結 果

図1は、7名の被検者で得られた超最大運動(51秒～

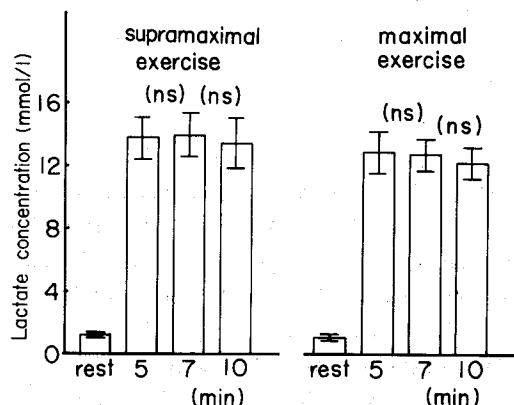


Fig. 1 Blood lactate concentration after supramaximal and maximal treadmill running.

97秒で exhaustion に達した)と、最大運動(約10分間で exhaustion に達した)での安静時及び回復期5分、7分、10分の血中乳酸濃度を比較したものである。超最大運動後の回復期5分、7分、10分目の血中乳酸濃度の

平均値と標準偏差は、 $13.83 \pm 1.33$ ,  $13.99 \pm 1.42$ ,  $13.55 \pm 1.59 \text{ mmol/l}$ であり、最大運動後では、 $12.60 \pm 1.18$ ,  $12.52 \pm 1.02$ ,  $12.16 \pm 0.95 \text{ mmol/l}$ であった。両運動形式において、5分、7分、10分の値に有意な差は認められなかった。超最大運動では回復期7分目、最大運動では5分目に各々 peak が出現したが、各個人の peak 値の平均値についてみると、超最大運動では  $14.14 \pm 1.13 \text{ mmol/l}$ 、最大運動では  $12.62 \pm 1.39 \text{ mmol/l}$  と超最大運動後の方が  $1.52 \text{ mmol/l}$  高い値であった (図2)。同様に net lactate についても、最大運動と比べ、超最大運動の方が  $1.14 \text{ mmol/l}$  高く、有意な差が認められた ( $P < 0.05$ )。

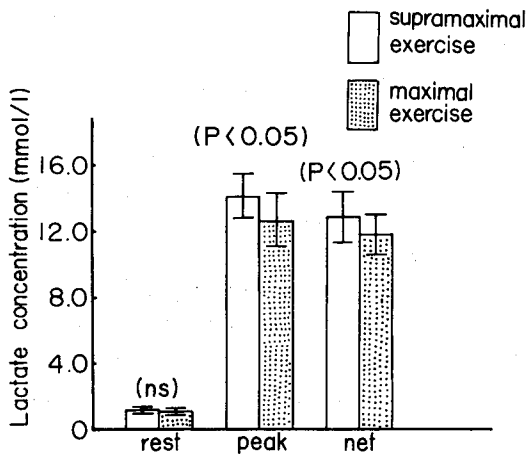


Fig. 2 Comparison of blood lactate concentration after supramaximal and maximal exercise.

超最大運動における被検者14名の走行時間は、51秒～97秒の範囲内にあり、平均値及び標準偏差は  $69.7 \pm 14.3$  秒であった。さらに、Margaria<sup>16)</sup>のノモグラムから求めた総仕事量は、最高34.99kcal、最低19.13kcalの範囲内にあり、その平均値及び標準偏差は  $25.50 \pm 5.27 \text{ kcal}$  であった。

図3は、超最大運動における総仕事量と乳酸濃度の関係をみたものであるが、総仕事量と peak lactate 及び net lactate との間には、各々  $r = 0.676$  ( $P < 0.05$ ),  $r = 0.704$  ( $P < 0.05$ ) といずれも有意な相関関係が認められた。

超最大運動における総仕事量とCPK活性の peak 値との間には、有意な相関関係 ( $r = 0.177$ ) は認められなかったものの、図4で示したように、総仕事量と net CPK 活性との間には、統計的に有意な関係が認められた ( $P < 0.05$ )。

図5は、超最大運動における総仕事量と net LDH 活

性の関係を示したものである。CPK 活性と同様有意な関係は認められなかった ( $r = 0.459$ ) が、net LDH 活性と総仕事量との間に、 $r = 0.731$  と統計的に5%水準で有意な関係が認められた。

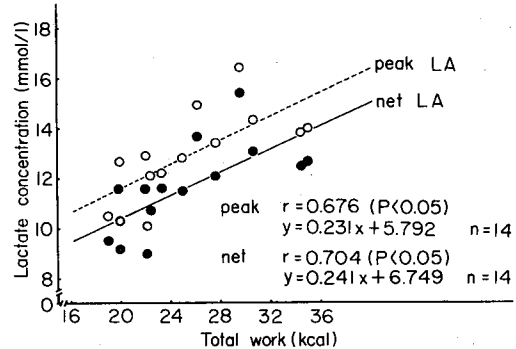


Fig. 3 Relationship between total amount of work and peak or net lactate concentration.

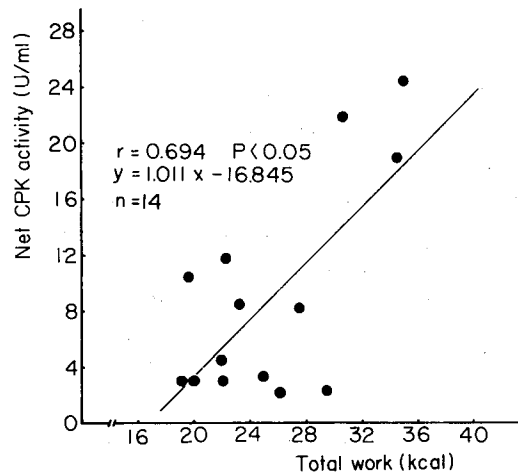


Fig. 4 Relationship between net CPK activity and total amount of work.

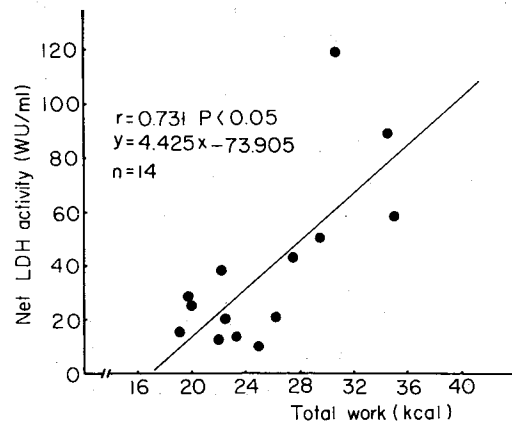


Fig. 5 Relationship between net LDH activity and total amount of work.

## 考 察

本実験における被検者の体重当りの最大酸素摂取量と12分間走行距離の平均値と標準偏差は、 $51.8 \pm 5.2 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$  と  $2,812 \pm 139 \text{ m}$  であった(表1)。特に、体重当りの最大酸素摂取量は、日本人の一般成人女子よりもかなり高く、<sup>10)</sup> また小林ら<sup>14)</sup> によって測定された全日本女子ハンドボール選手のそれ ( $53.1 \pm 5.7 \text{ ml/kg} \cdot \text{min}$ ) とほぼ同じ値であることから、本実験の被検者の有酸素的作業能力は、全日本女子選手のそれにほぼ等しいと思われる。

図1で示したように、各被検者が約70秒で exhaustion に達する超最大運動では、回復期7分目に、約10分で exhaustion に達する最大運動では、回復期5分目に各々血中乳酸濃度は最大値 (peak blood lactate) に達した。そして超最大運動後の最大血中乳酸濃度は、最大運動後のそれと比べ平均  $1.52 \text{ mmol/l}$  高い値であった ( $P < 0.05$ )。これらの結果は、1名であるが男子の被検者 (100m ランナー) を自転車エルゴメーターを用いて10秒、40秒、60秒で exhaustion にさせた時、最大血中乳酸濃度は7分で出現したという猪飼<sup>9)</sup> の報告と一致するものであり、女子における超最大運動及び最大運動の回復期における血中乳酸の動態は、男子とほぼ同じ傾向であることを示唆するものである。

次に、超最大運動後における仕事量と最高血中乳酸濃度あるいは最大値から安静時値を差し引いた net lactate との間には、 $r = 0.676$  ( $P < 0.05$ ) と  $r = 0.704$  ( $P < 0.05$ ) と各々両者の間には密接な関係が認められた。これらの結果から、超最大運動後の peak 及び net lactate は、各自の無酸素的作業能力の指標となりうるものと思われる。なお、先に述べたように Saito ら<sup>20)</sup> は、一般学生と陸上競技選手を対象に、400m 全力疾走後の最高血中乳酸濃度と走行スピードとの間には、有意な関係が認められなかったと報告している。本実験と Saito ら<sup>20)</sup> の結果の違いについては、一つは仕事量と走行スピードといった performance の指標の違いと、他の一つは走行形態の差によるものかもしれない。特に後者に関しては、両実験とも走行時間はほぼ同じであるにもかかわらず、本実験ではトレッドミルを用い一定スピードで被検者を約70秒で exhaustion に至らしめたのに対し、Saito ら<sup>20)</sup> の場合、400m トラックで各被検者にスタートの時点から400m を全力疾走するように指示した。言い換れば、400m 全力疾走後の最高血中乳酸濃度は、トレッドミル運動と比べやや高い傾向があることから、同じ exhaustion time でも、走行形態の違いによって最高血中乳酸濃度に違いが生ずる可能性があるように思われる。しか

しながら、乳酸の生成と償却は、ホルモンによって制御されたり、<sup>15)</sup> 筋組成によって差異があること、<sup>24)</sup> 酸素や炭酸ガスによっても影響される<sup>1), 4)</sup> ことが明らかにされていることから、上記の点についてさらに検討する必要があると思われる。

先に述べたように、短時間の激運動における主なエネルギー源は、アデノシン三リン酸 (Adenosine triphosphate; ATP)、クレアチンリン酸 (Creatine phosphate; CP) 及びグリコーゲン (Glycogen) である。Keul ら<sup>12)</sup> によれば、運動開始後数秒で ATP のほとんどが使い果され、同時に多くの CP も消費されるが、筋中に貯蔵された CP で運動に必要なエネルギーを補うことができなくなる時点から、解糖 (Glycolysis) によるエネルギー供給が開始されるという。これらエネルギー供給の過程において、多くの酵素が重要な役割を果たすが、クレアチンリン酸キナーゼ (Creatine phosphokinase; CPK) は、Lohman 反応を触媒する酵素であり、ATP と CP の生合成に関係する。さらに、乳酸脱水素酵素 (Lactate dehydrogenase; LDH) はピルビン酸を還元し、乳酸を生成する反応及び乳酸を脱水素し、ピルビン酸を生成する反応を触媒する酵素である。Spieckermann ら<sup>21)</sup> によって心筋の LDH や CPK の減少速度は、心筋内の ATP の減少と比例し、Thomson ら<sup>25)</sup> も筋中の ATP 貯蔵量と CPK の流出とは反比例することを観察している。本実験では、筋中の ATP や CP の量と深いかかわりのある筋中の CPK 活性や LDH 活性を測定しなかったが、超最大運動後の血中 CPK 活性と LDH 活性は、安静のそれと比べ有意に増大した ( $P < 0.05$ )。この運動後における血中 CPK 活性及び LDH 活性の増大は、先の研究<sup>2), 5)</sup> と一致するものであり、カテコールアミンの上昇<sup>18)</sup> や筋組織の酸素不足<sup>7)</sup> による細胞膜の透過性が変化したことによるものかもしれない。ところで、運動後の血中 CPK 及び LDH 活性の増大は、運動時の乳酸生成や CP の消費と密接に関係すると考えられるが、組織から逸脱したこれらの酵素は、組織中の酵素活性状態を反映するものではないと言われている<sup>23)</sup> しかしながら、たとえば血中 CPK 活性あるいは LDH 活性が、必ずしも真の組織の酵素活性状態を反映していないとしても、Berg ら<sup>2)</sup> が net CPK 活性と運動持続時間との間に有意な関係が認められたと報告し、さらに、ボブスレーの競技後、ボブスレー選手の LDH、CPK 活性は、一般人の値よりも高い活性値を示したと Haralambie<sup>5)</sup> が報告していること及び本実験においても超最大運動で成し得た仕事量と net CPK ( $r = 0.694$ ) あるいは net LDH ( $r = 0.731$ ) 活性との間に有意な関係 ( $P < 0.05$ ) が認められた (図4、図5) ことから、最高血中乳酸ばかりでなく、net CPK や net LDH 活性も、女子選手の無酸素的

作業能力の指標となりうるものと考えられる。

## 要約及び結論

女子ハンドボール選手を対象に、トレッドミルで被検者が各々約1分と10分で疲労困憊に達する超最大運動と最大運動後の血中乳酸濃度を測定した。さらに、超最大運動における総仕事量と運動後の血中乳酸濃度、LDH活性、CPK活性との関係について検討した。

1. 最大運動後の血中乳酸の最高値は5分目、超最大運動では7分目に出現した。各被検者の乳酸濃度の最高値は、超最大運動後の方が最大運動後のそれと比べ1.52mmol/l高かった ( $P<0.05$ )。

2. 超最大運動における総仕事量と最大乳酸濃度及び最大値から、安静時の値を差し引いた値(net lactate)との間に、各々  $r=0.676$  ( $P<0.05$ ),  $r=0.704$  ( $P<0.05$ ) といずれも有意な相関関係が認められた。

3. 超最大運動における総仕事量と peak CPK 活性との間に、有意な関係が認められなかったが、総仕事量と net CPK 活性との間に、統計的に有意な相関関係が認められた ( $r=0.694$ ,  $P<0.05$ )。

4. 超最大運動における総仕事量と LDH 活性 (peak 値) との相関関係は、 $r=0.459$  ( $P<0.05$ ) であったが、net LDH 活性との間には、 $r=0.731$  ( $P<0.05$ ) と密接な関係が認められた。

これらの結果から、最高血中乳酸濃度ばかりでなく、net CPK, net LDH 活性も、女子選手の無酸素的作業能力の指標になりうるものと考えられる。

## References

- 1) Adams, R.P., and H.G. Welch, "Oxygen uptake, acid-base status, and performances with varied inspired oxygen fractions," *J. Appl. Physiol.*, 49-5:863-868, 1980.
- 2) Berg, A., and G. Haralambie, "Changes in serum creatine kinase and hexose phosphate isomerase activity with exercise duration," *Europ. J. Appl. Physiol.*, 39:191-201, 1978.
- 3) Costill, D.L., J. Daniels, W. Evans, W. Fink, G. Krahenbuhl, and B. Saltin, "Skeletal muscle enzyme and fiber composition in male and female track athletes," *J. Appl. Physiol.*, 40-2:149-154, 1976.
- 4) Graham, T., B.A. Wilson, M. Sample, J.V. Dijk, and A. Bohnen, "The effects of hypercapnia on metabolic responses to progressive exhaustive work," *Med. Sci. Sports*, 12-4:278-284, 1980.
- 5) Haralambie, G., F.J. Cerny, and G. Huber, "Serum enzyme levels after bobsled racing," *J. Sports Med.*, 16:54-56, 1976.
- 6) Hermansen, L., "Lactate production during exercise," In: *Muscle metabolism during exercise*. Edit. by Pernow, B. and B. Saltin, Plenum Press, New York-London, 1971. pp.401-407.
- 7) Highman, B. and P.D. Altland, "Serum enzyme rise after hypoxia and effect of autonomic blockade," *Am. J. Physiol.*, 199-6:981-986, 1960.
- 8) Hohorst, H.J., "L-Lactat Bestimmung mit Lactat-Dehydrogenase und DPN," In: *Method of enzymatic analysis*, Weinheim, West Germany; Verlag Chemie, 1962. pp.226-270.
- 9) 猪飼道夫, "No3. 血液乳酸からみた無酸素的パワーの研究," 昭和44年度日本体育協会スポーツ科学報告書, :1-12, 1969.
- 10) Ikai, M. and K. Kitagawa, "Maximum oxygen uptake of Japanese related to sex and age," *Med. Sci. Sports*, 4:127-131, 1972.
- 11) Karlsson, J., and B. Saltin, "Lactate, ATP, and CP in working muscles during exhaustive exercise in man" *J. Appl. Physiol.*, 29-5:598-602, 1970.
- 12) Keul, J., E. Doll and D. Keppler, "Energy metabolism of human muscle," In: *Medicine and Sport*, vol.7, Edit. by E. Jokl, s. Karger, 1972. pp.19-51.
- 13) 黒田善雄, 塚越克巳, 両宮輝也, 鈴木洋児, "長距離走の実態調査報告" —第2次研究—日本体育協会スポーツ科学報告書, :1-12, 1974.
- 14) 小林寛道, 北村潔和, 豊島進太郎, 水野義雄, 長沢弘, 松井秀治, "健康成人女子およびスポーツ選手の Aerobic power," *体育学研究*, 24-3 :237-246, 1979.
- 15) Lehmann, M., J. Keul, P. Schmid, W. Kindermann, and G. Huber, "Plasmakatecholamine, Glucose, Lactat sowie aerobe und anaerobe Kapazität bei Jugendlichen," *Dtsch. Z. Sportmed.*, 10:287-295, 1980.
- 16) Margaria, R., H.T. Edwards, and D.B. Dill, "The possible mechanisms of contracting and paying the oxygen debt and the role of lactic acid in muscular contraction," *Am. J. Physiol.*, 106:689-715, 1933.
- 17) Margaria, R., P. Cerretelli, P. Aghemo, and G. Sassi, "Energy cost of running," *J. Appl. Physiol.*,

- 18-2:367-370, 1963.
- 18) Raven, P.B., T.J. Onners, and E. Evonuk, "Effect of exercise on plasma lactic dehydrogenase isozymes and catecholamines." *J. Appl. Physiol.*, 29:374-377, 1970.
- 19) Rosalki, S.B., "An improved procedure for serum creatine phosphokinase determination," *J. Lab. clin. Med.*, 69:696-705, 1967.
- 20) Saito, M., T. Ohkuwa, Y. Ikegami, and M. Miyamura, "Comparison of sprint running in the untrained and trained runners with respect to chemical and mechanical energy," *Biomechanics VIII*, University Park Press, 1981. In press.
- 21) Spickermann, P.G., M.M. Gebhard, and H. Nordbeck, "Role of energy metabolism in enzyme retention. A study on isolated perfused canine hearts." *Experientia*, 31:1046-1047, 1975.
- 22) Suominen, H., E. Heikkinen, H. Liesen, D. Michel and W. Hollmann, "Effects of 8 weeks endurance training on skeletal muscle metabolism in 56-70 year-old sedentary men," *Europ. J. Appl. Physiol.*, 37:173-180, 1977.
- 23) 高岡郁夫, "運動と乳酸脱水素酵素," *体育の科学*, 29-4:283-288, 1979.
- 24) Tesch, P., B. Sjödén, A. Thorstensson, and J. Karlsson, "Muscle fatigue and its relation to lactate accumulation and LDH activity in man," *Acta physiol. scand.*, 103:413-420, 1978.
- 25) Thomson, W.H.S., J.C. Sweetin and I.J.D. Hamilton, "ATP and muscle enzyme efflux after physical exertion," *Clin. Chim. Acta*, 59:241-245, 1975.
- 26) Wróblewski, F. and J.S. LaDue, "Lactic dehydrogenase activity in blood," *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 90:210-213, 1955.