

ミニトライアスロンジノケツエキセイカガクドウタイ

加治, 良一
九州大学健康科学センター

藤野, 武彦
九州大学健康科学センター

山口, 恭子
九州大学医学部第一内科

金谷, 庄蔵
九州大学健康科学センター

他

<https://doi.org/10.15017/479>

出版情報 : 健康科学. 9, pp.125-131, 1987-03-28. Institute of Health Science, Kyushu University
バージョン :
権利関係 :



ミニトライアスロン時の血液生化学動態

加 治 良 一 藤 野 武 彦 山 口 恭 子*
金 谷 庄 蔵 大 柿 哲 朗 小 室 史 恵
熊 谷 秋 三**

Blood Biochemical Alterations during Mini-triathlon Race

Yoshikazu KAJI, Takehiko FUJINO,
Kyoko YAMAGUCHI*, Shozo KANAYA,
Teturo OGAKI, Toshie KOMURO,
and Shuzo KUMAGAI**

Summary

Serial estimation of white blood cells (WBC), percent plasma volume change, serum electrolytes (Na, K, Cl), Serum enzymes (CPK, LDH, GOT, GPT) and plasma catecholamines were performed before, during and after the minitriathlon race (swimming 1.25km, bicycle 60km, running 12km) and heart rates were assessed by Holter ECG during the race.

The results were as follows: (1) WBC was increased 190% immediately after the race. (2) Plasma volume was decreased 6% during the race, while hemodilution was observed after the race. (3) Serum enzymes (CPK, LDH, GOT) were increased 64%, 44%, 37% respectively after the race. (4) Serum K was unchanged immediately after the swimming but increased 23% at the following periods. (5) Plasma noradrenalin and adrenalin were increased 470% and 690% respectively immediately after the race. (6) Mean heart rates during the swimming, bicycle and running period were 164/min, 156/min and 167/min respectively.

The results suggest (1) Dynamic water homeostasis, (2) Significant release of enzymes and potassium from the working muscle and (3) Marked sympatho-adrenal response occur during and after the prolonged strenuous exercise.

(Journal of Health Science, Kyushu University, 9: 125-131, 1987)

緒 言

長時間運動は、循環動態のみならず、血液細胞系、血漿量、血清酵素、血清電解質などの代謝性変化をもたらすことが知られている⁷⁾²⁰⁾。そしてこれらの循環・代謝変化に、交感神経副腎系が重要な調節因子として関与している⁷⁾。しかし、実際の競技中での検討も含めた、循環・代謝変化のポリパラメトリックな報

告はほとんどみられない。そこで本研究の目的は、競技前に出場者を対象にトレッドミルによる多段階最大運動負荷を行ない出場者の身体特性を把握したうえで、ミニトライアスロン (1/3 トライアスロン) 中の心拍数の推移と、競技前、中、後の、血漿量、白血球数、血清酵素、血清電解質などの代謝性変化を、血中カテコラミンの変化とともに検討することにある。

Institute of Health Science, Kyushu University 11. Kasuga 816, Japan.

*First Dept. of Int. Med., Kyushu University. Fukuoka 812. Japan.

**Dept of Community Health Science, Saga Medical School. Saga 840-01, Japan.

対象および方法

対象は、日常運動をよく行なっている、いわゆる well trained 8名(男子7名, 女子1名)で、年齢は 32.3 ± 3.3 歳 (Mean \pm S.D., 以下同) である。競技一カ月前に、トレッドミルを用いて、間歇的多段階最大運動負荷法を施行した。すなわち、各段階3分間運動し、その後30秒間運動を中断する方法で、120m/分の初速より開始し、各3.5分毎に20m/分ずつ負荷量を増大し、exhaustion まで至る方法を用いた¹³⁾。この方法により、最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2 \max$) を、呼気ガス分析(三栄測器社製)により求め、最大心拍数 (HR max) を、モニター心電計により求めた。

競技は、昭和60年11月に久留米市で開催された第4回ミニトライアスロン競技(水泳1.25km, 自転車60km, ランニング12km)で、各競技中の心電図を、ホルター心電計(フクダ電子社製 SM-26)により連続記録した。なお、水泳中の心電図は、水泳心電図記録セット(フクダ電子社製 WP-6010)を用い、テレメータ心電図監視装置(フクダ電子社製ダイナスコープ1040)から、ホルター心電計に記録した。この方法により、各競技中の全心拍数を各所要時間で除し、平均心拍数を求めた。

血液生化学的検査は、競技前30分~60分、水泳終了直後、自転車終了直後、ランニング終了直後、回復期10, 30, 60分の各ポイントで、前腕静脈(15ml)により行った。各設定ポイントの測定時刻の誤差は、約3分以内であった。白血球数(WBC), 赤血球数(RBC), ヘマトクリット(Ht), ヘモグロビン(Hb), は自動血球計算器(東亜医用電子, シメックス E-3000)により測定した。血清ナトリウム(Na), カリウム(K), クロール(Cl), 血清クレアチニンホスホキナーゼ(CPK), トランスアミナーゼ(GOT, GPT), 乳酸脱水素酵素(LDH)は、自動分析器(TBA-80-Super)により測定した。血中アドレナリン(Ad), ノルアドレナリン(NA)は、高速液体クロマトグラフィーにより測定した。血漿量のパーセント変化($\Delta PV\%$)は、Hb値およびHt値から計算した⁵⁾。

各ポイントの平均値の検定は、ノンパラメトリック法(Wilcoxon paired test)を用い、 $P < 0.05$ を有意差とした。また、今回の競技中は、安全性の点から飲水は制限しなかった。

結 果

1) 対象者の身体特性: Table 1に結果を示す。平均の $\dot{V}O_2 \max$ は 64.4 ml/kg/min と、平均的日本人のそれよりも大であった¹⁰⁾。

2) 競技時間、競技中の心拍数および競技前後での体重の変化: Table 2に結果を示す。水泳中の平均心拍数は164/分で、自転車中は156/分、ランニング中は167/分であり、競技前トレッドミル法による HR max に占める割合は、各々85%, 81%, 87%であった。競技直前の体重は $60.8 \pm 3.33 \text{ kg}$ で、終了直後は、 $59.7 \pm 31.5 \text{ kg}$ であった。

3) 血液生化学的検査: Table 3に結果を示す。

① 血球成分および血漿量の前値との相対比($\Delta PV\%$)の変化: Fig. 1に示す。WBCは前値から漸増し、自転車後にピークを形成し(+190%), その後は回復期60分まで $10,000/\text{mm}^3$ 以上の値を示した。RBCは、前値から水泳後に小さなピークを形成し(+4%), 自転車後およびランニング後は、ピーク値よりもやや減少傾向を示したがなお前値より高い値を示した。しかし回復60分には、前値より低い値を示した。 $\Delta PV\%$ は、RBCとは逆の推移を示した。すなわち、前値から水泳後に減少し(-9.6%), ランニング後の減少は水泳後に比べやや軽度であった(-5.3%)が、回復期60分には前値より増加した(+5.2%)。

② 血清電解質の変化: Fig. 2に示す。Naは、前値から漸増し、ランニング後にピークを形成し(+3%), その後漸減した。Kは、前値から水泳後にかけてはほ

Table 1. Profiles of Subjects

Age(y.o.)	32.3 \pm 3.3
Height(cm)	167.5 \pm 5.7
Weight(kg)	60.0 \pm 3.3
% Fat	11.8 \pm 1.5
$\dot{V}O_2 \max(\text{ml/min/kg})$	65.4 \pm 5.47*
HR max(bpm)	192 \pm 4.3*

(values are mean \pm S.D., n=8, * n=7)

Table 2. Performance time and heart rate during the race

	performance time (min.)	heart rate (bpm)	% of maxHR (%)
Swimming	28.5 \pm 4.2	164 \pm 5.1**	85 \pm 1.9**
Bicycle	127.2 \pm 8.3	156 \pm 9.7*	81 \pm 5.3*
Running	41.5 \pm 14.8	167 \pm 5.5*	87 \pm 3.2*
Total	193.9 \pm 21.4		

(values are mean \pm S.D., n=8, * n=6, ** n=4)

とんど不変であったが、自転車後にピークを形成し(+23%),その後やや減少傾向を示したが、回復期60分でも前値より高い値を示した(+13%)。Clは、前値からランニング後にピークを形成し(+2%),その後、前値に回復した。

③ 血清酵素の変化: Fig. 3に示す。CPKは、前値においてすでに $165 \pm 132 \text{ mU/ml}$ と正常上限値よりも高い値を示したが、前値から漸増し、ランニング後

にプラトーに達し(+87%),回復期60分も前値より高い値を示した(+103%)。なお、CPK-アイソエンザイム(CPK-MB)は、経過中有意の変化は示さなかった。LDHは、前値から漸増し、ランニング後にピークを形成したが(+44%),回復期60分でも前値より高い値を示した(+29%)。GOTは、前値から漸増し、ランニング後にプラトーに達し(+37%),回復期60分もなお前値より高い値を示した(+30%)。GPTは、前値

Table 3. Blood biochemical response

	Before	After Swimming	Bicycle	Running	Recovery 10'	Recovery 30'	Recovery 60'
WBC/mm ³	4,590±913	7,590±1,154	13,250±2,609	13,170±2,667*	11,620±3,273**	10,840±2,502*	12,380±2,892**
RBC(X10 ⁴ /mm ³)	474±21	492±28	483±35	482±17*	477±16**	469±31*	460±17**
Hb(g/dl)	14.2±0.79	14.9±0.99	14.5±1.08	14.5±0.94*	14.4±0.86**	14.2±1.13*	13.7±0.88**
Ht(%)	43.5±2.07	46.3±2.40	44.7±2.65	44.4±1.79*	43.8±2.31**	43.4±2.95*	42.3±2.49**
ΔPV(%)	100	90.6±1.6	96.9±2.0	94.7±1.6*	100.2±1.7**	103.2±1.8*	105.2±1.4**
Na(mEq/l)	141.3±1.04	142.3±1.49	143.5±1.93	145.1±1.00	144.2±1.17**	142.1±1.57*	142.1±0.84
K(mEq/l)	4.0±0.23	4.0±0.15	4.9±0.12	4.7±0.18	4.6±0.23**	4.5±0.22*	4.5±0.35
Cl(mEq/l)	104.0±1.20	104.1±0.84	104.5±1.60	106.4±1.77	105.2±1.94**	104.1±2.04*	103.6±1.41
GOT(Units)	23.4±5.88	26.1±6.96	25.6±6.86	32±7.60	30±7.27**	30.1±6.44*	30.5±6.76
GPT(Units)	16.6±2.45	17.3±3.28	17.9±3.14	18.6±3.11	19.3±3.33**	20.3±3.64*	19.1±2.85
LDH(Units)	288±33.7	344±45.6	350±46.8	414±50.7	402±33.1**	376±42.3*	371±43.9
CPK(mU/ml)	165±132**	211±129**	233±124**	309±137**	287±123**	339±144**	335±166**
CPK-MB(%)	3.3±1.04**	3.9±1.36**	3.6±0.52**	2.8±1.04**	3.0±0.82**	3.1±0.69**	2.8±1.04**
Ad(pg/ml)	76±26	267±95	250±70**	602±316	170±126*	108±34*	77±57
NA(pg/ml)	621±248	2,790±908	2,255±962**	3,559±1,719	1,520±385*	1,203±342*	1,263±253

(Values are mean ± S.D., n = 8, *n = 7, **n = 6)

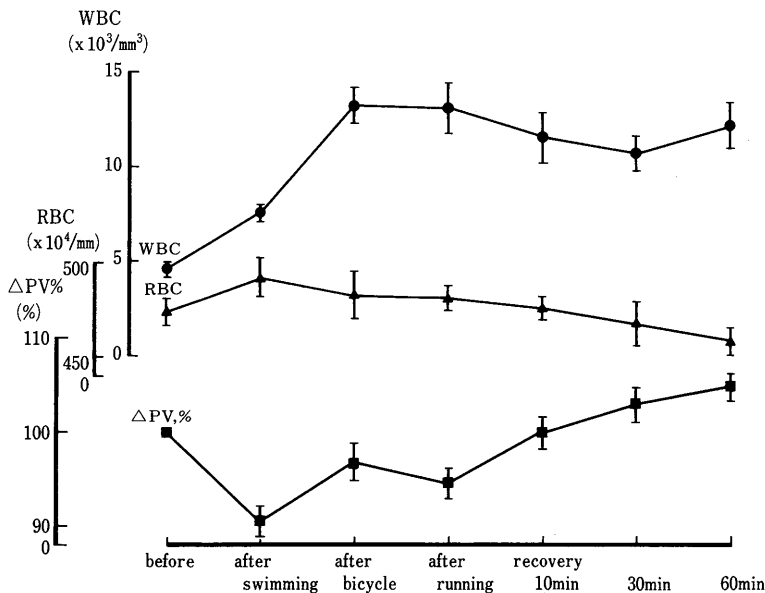


Fig. 1

から漸増し、回復期30分でピークを形成した(+20%)。

④ 血中カテコールアミンの変化：Fig. 4に示す。

Adは、前値からランニング後にピークを形成し(+690%)、その後漸減し、回復期60分には前値に回復した。NAは、前値から水泳後にいったん小さなピークを形成し(+350%)、ランニング後に大きなピークを形成した(+470%)。また、回復期60分でも、前値より高い値を示した(+100%)。

考 察

1) 対象者の身体特徴：対象者の平均 $\dot{V}O_2 \max$ は、63.3ml/min/kgと、同年代の日本人の平均値に比し¹⁰⁾、高い値を示している。このことは、対象者がいわゆる well trainedであることを示す。日常運動を継続している者とそうでない者は、同程度の運動負荷に対するホルモン分泌動態や代謝動態に差があるこ

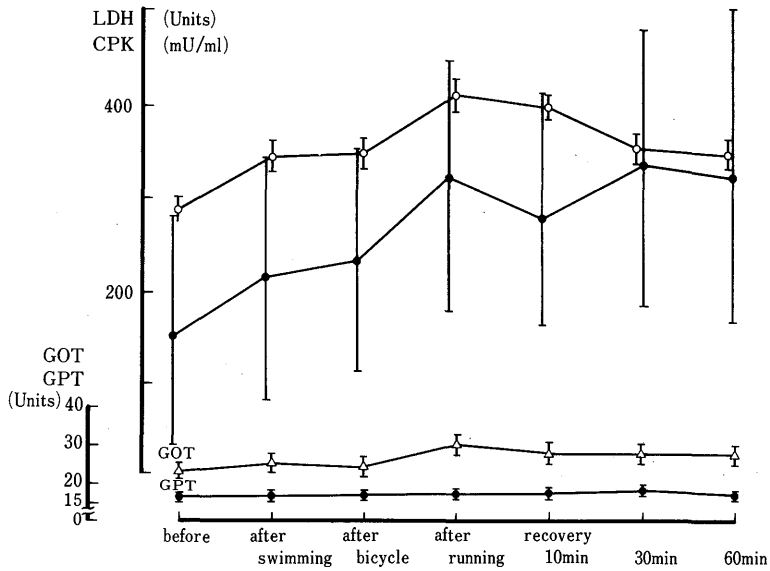


Fig. 2

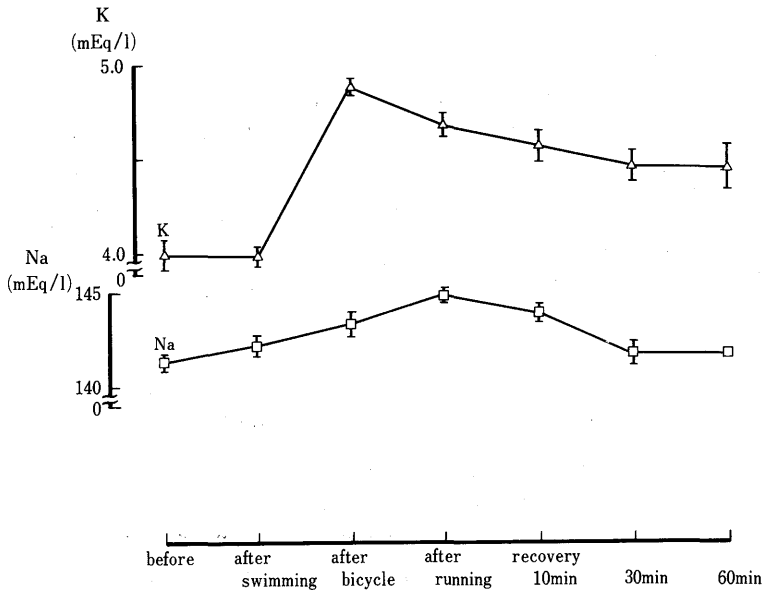


Fig. 3

とが知られており⁷⁾¹¹⁾¹⁶⁾, 今回の結果を解釈するうえで対象者の身体特徴を把握することは重要であると考えられる。

2) 競技時間および負荷強度について: 今回の競技時間は平均194分であった。心拍数は運動強度と正相関すると考えられるが⁶⁾, 当競技中の心拍数は、種目により異なるが156~167/分で、トレッドミル法により測定された最大心拍数に占める割合は81-87%であった。また血中カテコラミン(特にノルアドレナリン)も、運動強度と相関するとされているが⁷⁾, 各種目直後のノルアドレナリン値は、ランニング直後>水泳直後>自転車直後の順であり、競技中の平均心拍数と同じ傾向を示した。しかし運動中の心拍数には、体温や環境温度の影響も無視できないし、実際の競技においては各選手の恣意的なペース配分の影響も考慮しなければならぬ。

3) 血液生化学的検査の結果: 今回の競技前後での体重減少は平均1.1kgであった。競技中の水分補給にもかかわらず、同量の体外への水分喪失があったことを示す。しかし、血漿量の変化(Δ PV%)は、競技を通し一様ではなく、最初の水泳競技直後に最も減少を認めた。この事実は、運動初期の毛細管静水圧上昇による血管内から組織への血漿の動きを反映したものと推察される⁴⁾¹⁹⁾。この機序としては、運動時の局所血流の増加による末梢性因子とともに¹⁹⁾, 交感神経緊張(ノルアドレナリン増加)の中樞性因子の関与³⁾が考

えられる。しかしその後の Δ PV%は、運動の経過とともに次第に前値に近づくと変化を示し、回復期にはむしろ前値より高値を示した。この“post-exercise hemodilution”の事実は、Åstrand²⁾, Taunton²⁰⁾によって認められており、運動初期に血管内から組織に流出した水の再分布²⁾, グリコーゲン分解による代謝水²⁾, レニン・アルドステロン分泌の亢進²⁰⁾, などの影響が考えられるが、血球の破壊²⁾によるみかけ上の影響も留意する必要がある。

血球成分のうち白血球は、競技中は時間依存性に増加し回復期もほぼ同程度の増加を示した。この事実に関しては種々の報告があるが⁸⁾¹⁵⁾²²⁾, 機序としては、安静時に血管壁に付着していた白血球の血中への遊離、運動ストレスに対するコルチゾルの分泌などが考えられる⁸⁾²²⁾。

血清酵素(CPK, LDH, GOT, GDT)は、それぞれほぼ同じパターンで運動中は時間依存性に増加し、回復期も高い値を示したが、これらの酵素は骨格筋に由来する逸脱酵素と考えられる⁹⁾¹⁸⁾。Hollyらは⁹⁾, フルトリアスロンの前後で、GOT, GPT, LDHがそれぞれ700%, 262%, 222%の増加を示したと報告しているが、今回の結果はこの報告に比べ小さい。このことは、これらの酵素の増加が、運動の持続時間にも依存する可能性を示す。植田らは²¹⁾, 家兔の視床下部交感帯刺激により筋収縮を伴わずに骨格筋酵素が上昇する事実を示しており、特に交感神経の刺激の関

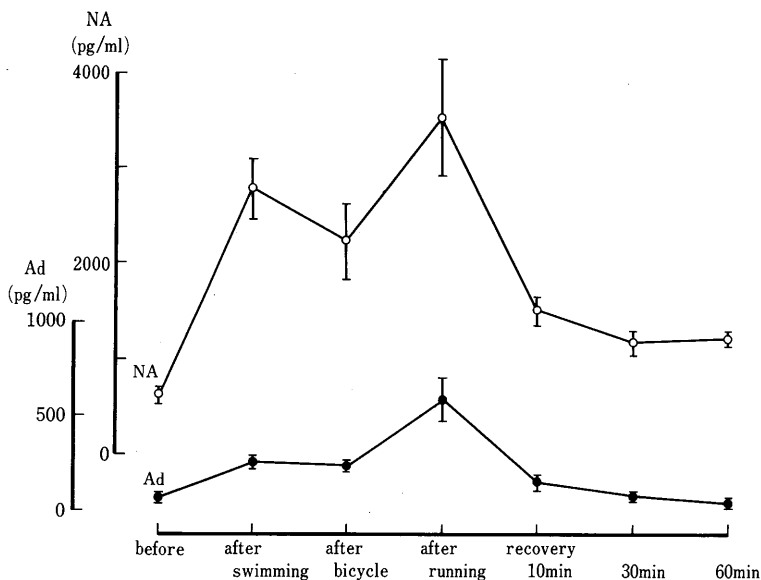


Fig. 4

とも報告している。今回の競技中のノルアドレナリン（交感神経の刺激）の著明な増加と考え合わせると、自律神経性機序を介した骨格筋酵素の増加も、その原因として推察される。

血清電解質のうちで、Kは特徴的な変化を示しており、水泳直後は前値と変わらず、自転車後、ランニング後および回復期において高値を示した。運動中のK増加に、交感神経の系を介したNa-Kポンプの抑制が関与しているとの知見があるが¹²⁾²⁴⁾水泳直後は α -stimulantである血中ノルアドレナリンが高値をとっているにもかかわらずKは変化はみられず、同程度のノルアドレナリンおよびアドレナリン値を示す自転車直後に著明な増加を認めている。この結果は採血時の測定誤差はほぼ同程度と考えられるので、前述の交感神経系のK調節機構のみでは説明困難であるが、詳細は不明である。

血中カテコラミン（アドレナリン、ノルアドレナリン）は、ほぼ同様な経過で競技中および回復期早期に著明な増加を示した。血中カテコラミンの増加は、交感神経副腎髄質系の活動と比例しており⁷⁾、今迄述べてきたごとく、心拍数で代表される運動中の循環系の変化、および血漿量、血清酵素、血清電解質などの代謝性変化に、血中カテコラミンが影響を与えていることが推測される。

ま と め

実際の運動競技での代謝性変化の研究は、競技前後での報告はみられるが¹⁴⁾²³⁾、競技中途での検討は少なく¹⁶⁾、今回の報告のごとく、ポリパラメトリックな検討を加えたものはほとんどみられない。今回の血漿量、血清酵素、血清電解質などの変化は、一部分を除き従来の報告と定性的には同様であると考えられる。そしてこれらの代謝性変化の背景として、自律神経系の関与が推察された。

文 献

- 1) Akaike, N.: Sodium pump in skeletal muscle: Central nervous system-induced suppression by α -adrenoreceptors. *Science*, **213**: 1252-1254, 1981.
- 2) Åstrand, P. and Saltin, B.: Plasma and red cell volume after prolonged severe exercise. *J. Appl. Physiol.*, **19**: 829-832, 1964.
- 3) Cohn, J.N.: Relationship of plasma volume changes to resistance and capacitance vessel effects of sympathomimetic amines and angiotensin in men. *Clin. Sci.*, **30**: 267-278, 1966.
- 4) Costil, D.L. and Fink, W.J.: Plasma volume changes following exercise and thermal dehydration. *J. Appl. Physiol.*, **37**: 521-525, 1974.
- 5) Dill, D.B. and Costill, D.L.: Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. *J. Appl. Physiol.*, **37**: 247-248, 1974.
- 6) Ellestad, M. H.: Stress testing. F. A. Davis Comp., Philadelphia, 1986, pp.14-15.
- 7) Galbo, H.: Hormonal and metabolic adaptation to exercise. Thieme Stratton, Inc., New York, 1983, pp.64-86.
- 8) Gimenez, M., Mohan-kumal, T., Humbert, J. C., DeTalance, N. and Buisine, J.: Leukocyte, lymphocyte and platelet response to dynamic exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **55**: 465-470, 1986.
- 9) Holly, R.G., Barnard, R.J., Rosenthal, M., Aplegate, E. and Pritikin, N.: Triathlete characterization and response to prolonged strenuous competition. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **18**: 123-127, 1986.
- 10) 飯塚鉄雄, 日丸哲也, 永田 晟, 中西光雄, 岩崎義正, 磯川正教: 日本人の体力標準値. 第3版, 不昧堂出版, 1980, pp.272-274.
- 11) Johnson, R. H., Walter, J. L., Krebs, H. A. and Williamson, D.H.: Metabolic fuels during and after severe exercise in athletes and non-athletes. *Lancet*, **2**: 452-455, 1969.
- 12) 金谷庄蔵, 藤野武彦, 小宮秀一, 大柿哲朗, 小室史恵, 加治良一, 山口恭子, 熊谷秋三: 定量的漸増運動負荷中及び回復期における血中カテコラミン・血清カリウム・脂質及び血糖の動態(第2報). *健康科学*, **8**: 35-41, 1986.
- 13) Kumagai, S., Tanaka, K., Matsuura, Y., Matsuzaka, A., Hirakoba, K. and Asano, K.: Relationships of the anaerobic threshold with the 5, 10km, and 10 mile races. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **49**: 13-23, 1982.
- 14) Maron, M.B., Horvath, S.M. and Wilkerson, J. E.: Blood biochemical alterations during recovery from competitive marathon running. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **36**: 231-238, 1977.
- 15) Moorthy, A. V. and Zimmerman, S. W.: Human leukocyte response to an endurance race. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **38**: 271-276, 1978.
- 16) Myhre, L. G., Hartung, H., Nunneley, S. A. and Tucker, D.M.: Plasma volume changes in middle-aged male and female subjects

- during marathon running. *J. Appl. Physiol.*, **59**: 559-563, 1985.
- 17) Rose, L.I., Carroll, D.R., Lowe, S.L., Peterson, E. W. and Cooper, K. H.: Serum electrolyte changes after marathon running. *J. Appl. Physiol.*, **29**: 449-451, 1970.
 - 18) Schnohr, P., Gande, P. and Christiansen, C.: Enzyme activities in serum after extensive exercise, with special reference to creatine MB. *Acta. Med. Scand.*, **208**: 229-231, 1980.
 - 19) Smith, E. E., Guyton, A.C., Manning, R.D. White, R. J.: Integrated mechanisms of cardiovascular response and control during exercise in normal human. *Prog. Cardiovasc. Dis.*, **18**(6): 421-443, 1976.
 - 20) Taunton, J. E., Mckenzie, D. C., Clement, D. B. and Cook, G. J.: Physiological and metabolic changes associated with the ultramarathon. *Exercise Physiology*, vol. 2, AMS press, Inc., New York, 1986, pp.49-61.
 - 21) 植田 啓, 大原俊樹, 畑中良夫, 西川光夫, 塩谷彌兵衛: 視庄下部の電気刺激後の血清酵素. *臨床神経学*, **17**: 506-512, 1977.
 - 22) Wells, C. L., Stern, J. R. and Hecht, L. H.: Hematological changes following a marathon race in male and female runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **48**: 41-49, 1982.
 - 23) Williams, E.S., Ward, M.P., Milledge, J.S., Withey, W.R., Older, M.W.J. and Forsling, M. L.: Effects of the exercise of seven consecutive days hill walking on fluid homeostasis. *Clin. Sci.*, **56**: 305-316, 1979.
 - 24) Williams, M.E., Gervino, E.V., Rosa, R.T., Landberg, L., Young, J. B., Silva, P. and Epstein, F. H.: Catecholamine modulation of rapid potassium shifts during exercise. *N. Engl. J. Med.*, **312**: 823-827, 1985.