

平成3年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告

No.IX スポーツ選手のA Tに関する研究

— 第7報 —

— 陸上長距離選手および距離スキー選手の最大酸素
摂取量、L Tおよび走効率と競技成績との関係 —

財団法人 日本体育協会

平成3年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告

No.IX スポーツ選手のATに関する研究—第7報—

— 陸上長距離選手および距離スキー選手の最大酸素 摂取量、LTおよび走効率と競技成績との関係 —

報 告 者 財団法人日本体育協会 スポーツ科学研究所
伊藤 静夫 塚越 克己 雨宮 輝也
金子 敬二 原 孝子

目 的

持久的競技種目の中でも特に高い全身持久性が要求される競技種目として、陸上の長距離・マラソン、冬季競技では距離スキーがあげられるだろう。事実これらの種目では、古くから高い最大酸素摂取量（以下VO₂max）が報告されてき⁹⁾¹⁰⁾¹⁴⁾。また最近全身持久性の有力な指標として関心を集めている無酸素性作業閾値（以下、AT）においても、両種目で高い値が報告されている。さらにVO₂maxやATといった生理的指標が、長距離・マラソンの競技成績と高い正の相関関係にあることが認められている⁹⁾¹³⁾。したがって現在、持久的競技選手の全身持久性を評価する尺度として、VO₂maxとATが最も重視され、また活用されているといえよう。

しかしながら長距離、マラソン選手の競技成績と生理的指標との関連を検討した一連の報告では、被験者の競技成績や全身持久性が比較的広い範囲に分布する集団をあつかった

ものが多い。一方、被験者のVO₂maxや競技成績が比較的均質な集団を対象にすると、VO₂maxと競技成績との間の相関関係は低くなるか、あるいは相関関係が認められなくなるという報告がいくつみられるようになった。

興味深いのは、こうした集団では走効率が競技成績を最もよく反映しているということである¹⁾²⁾³⁾⁶⁾。また最近、VO₂maxと走効率を関連づける指標として、VO₂maxが出現するときの走速度（以下v-VO₂max）が提唱され、競技成績との間に高い相関関係の成立することも観察され、注目されるている⁴⁾⁵⁾¹¹⁾。

そこで本研究では、わが国の陸上長距離、マラソン選手並びに距離スキー選手のなかから、特に競技成績の高い選手を被験者に選び、こうした競技者の全身持久性に関連する種々の生理的指標であるVO₂max、AT（本研究では乳酸性作業閾値を採用、以下LT）、走効率、v-VO₂maxを測定し、競技成績との関係を明らかにしようとした。

また、陸上長距離選手と距離スキー選手の比較から、両競技で要求される全身持久性の種目特性についても、あわせて検討した。

方 法

(1) 被験者

被験者の身体特性を表1に示す。陸上長距離選手は、わが国のトップレベルにある実業団および大学4チームから36名を選んだ。5000mの記録が15分29秒～13分50秒、10000mが31分40秒～28分17秒の範囲であり、高い競技成績を有する集団といえる。

距離スキーについても、競技水準の高い選手を対象に選んだ。すなわち、全日本強化選手、およびトップレベルの実業団、大学チームの選手で、1992年の全日本スキー選手権大会15kmのフリー走法、同種目クラシカル走法、および同年サロモンカップ全日本クロスカントリーレース（フリー走法）にいずれかで完走した選手30名を対象とした。

(2) 運動負荷方法

運動負荷装置には、トレッドミルを用いた。はじめに、傾斜を0度にした一定走速度の亜最大運動を5～6種類負荷する。開始速度は、被験者の能力に合わせて開始速度を設定しているが、長距離選手で190m/min、スキー選手で160m/minが平均的な目安である。運動時間

を3分間とし、耳朶からの採血のため30～40秒の立位休息をはさみ、30～40m/minずつ速度を漸増させた。

最後に、最大負荷として最終段階の速度でトレッドミルの傾斜を0度から始め、1分毎に1度ずつ増加させ被験者をオールアウトにまで追い込んだ。

以上の方法で、VO₂maxとLTを一回の運動負荷テストで測定している。

(3) 測定項目

酸素摂取量の測定では、各負荷段階の後半1分間について、ダグラスバックで呼気を探気し酸素摂取量を求めた。心拍数は、胸部双極誘導で記録した心電図から求めた。血中乳酸は、各負荷段階での運動終了直後に耳朶から20μl採血し、島津製作所製生化学分析装置CL760で分析した。

(4) LTの判定

LTとして、3つの測度を採用した。1つは、乳酸が急速に上昇する負荷強度で、横軸に運動強度、縦軸に乳酸の対数値をとり、乳酸の変移点を視覚的に判定した。次に、血中乳酸濃度 2mmol/l ならびに4mmol/lを判定基準に採用した。乳酸値の運動負荷強度に対する2ないし3次の回帰式を算出し、上記乳酸値に対する走行速度を推定した。

(5) 走効率

同一走速度に対する酸素摂取量の大小を、

表1 被験者の身体特性並びに主な競技成績

	n	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	VO ₂ max (ml/kg/min)	主な競技成績
陸上長距離	36	22.2±3.4	170.9±4.4	58.7±3.6	73.4±3.7	5,000m;15:29～13:50 10,000m;31:41～28:17
スキー距離	30	20.8±2.8	170.5±5.1	63.2±5.0	68.1±3.5	'92年全日本スキー選手権 フリー走法 (2～56位) クラシカル走法 (2～88位)
		NS	NS	**	**	

** p<0.01

表2 陸上長距離選手とスキー距離選手のLT、走効率 (RE)、v-VO₂maxの比較

	n	v-LT (m/min)	v-LT2mM (m/min)	v-LT4mM (m/min)	RE (ml/kg/min)	v-VO ₂ max (m/min)
陸上長距離	36	273.3±14.6	314.6±14.8	348.4±16.1	49.9±3.1	379.8±18.5
スキー距離	30	233.8±17.4	263.0±19.1	300.6±17.3	52.1±2.3	344.3±20.8
		**	**	**	**	**

** p<0.01

走効率の指標とした。なお基準となる走速度について、先行研究では268m/min（1マイル6分の走速度）が多く用いられているところから、本研究でもこれと比較する意味で、本速度を採用した。酸素摂取量と走速度との1次回帰式を求め、上記速度に対する酸素摂取量を推定した。

(6) 最大酸素摂取量出現時の走速度

Daniels⁴⁾の方法にならない、走効率推定の際に求めた酸素摂取量と走速度との直線回帰式にVO₂maxを代入することで、最大酸素摂取量出現時の走速度を外挿法で推定した。

(1) VO₂max、LT、走効率の測定結果

長距離選手36名のVO₂maxの平均は、73.4±3.7ml/kg/min、距離スキー選手30名の平均は68.1±3.5ml/kg/min以上であり、長距離選手の方が有意に高かった(表1)。走速度で表したLT値、走効率および最大酸素摂取量出現時の走速度について、2群の平均値を比較したものが表2である。LT値でも、v-LT、v-LT2mmol/l、v-LT4mmol/lのいずれにおいても長距離選手が距離スキー選手より40～50m/min有意に高い値を示した。走効率では、長距離選手が距離スキー選手より2ml/kg/min有意に低かった。すなわち同速度(268m/min)でのエネルギー消費の少なかったことから、前者でより走効率が高かったものと推察される。

結 果

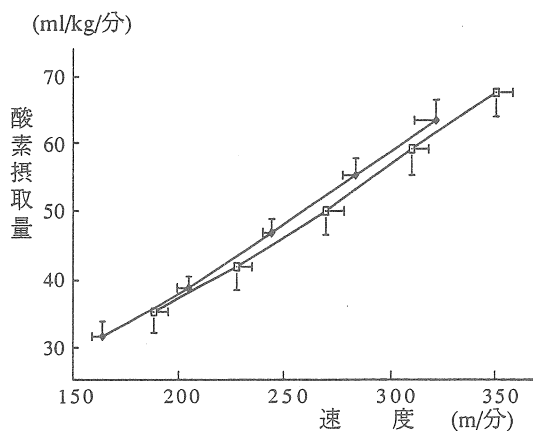
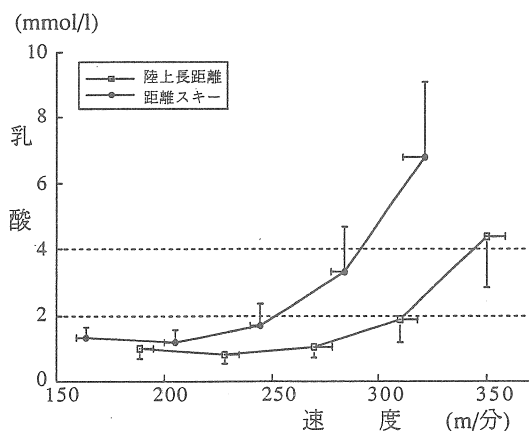


図1 長距離選手と距離スキー選手の各走速度に対する乳酸、酸素摂取量変化の比較

v-VO₂max（最大酸素摂取量が出現する時の走速度）では、長距離選手が距離スキー選手を約35m/min上回った。

図1は、トレッドミルテストにおける走速度と乳酸並びに酸素摂取量の関係について、長距離選手と距離スキー選手を比較したものである。本図からも、長距離選手で乳酸産生がより遅延しLT値が高くなり、同速度に対する酸素摂取量では長距離選手でより低く、走効率の高いことが示唆される。

(2) 長距離、マラソンの競技成績とVO₂max、LT、走効率との関係

長距離選手の5,000m、10,000mおよびマラソンの自己最高記録とVO₂max、LT値、走効率および最大酸素摂取量出現時の走速度との相関係数を表3に示した。なおマラソン経験者は少なく、36名中11名であった。

VO₂maxでは、いずれの種目の記録とも有意な相関関係がみられなかった。

LT値では、5,000m、10,000mにおいて記録との間に有意な相関関係が認められるようになる。とくに、v-LT4mmol/lとの相関係数が高くなった。また、10,000mより5,000mでより高い相関関係がみられた。最も高い相関係数がみられたのは、5,000mとv-LT4mmol/lのr=0.70であった(図2)。なお、マラソンでは、LT値においても記録との有意な相関はみられなかった。

走効率では、LTでみられた傾向とは逆に、5,000mより10,000mでより高い相関関係がみられた(図3)。ただしここでも、マラソンではやはり有意な相関がみられない。

v-VO₂maxでは、5,000mで有意な相関関係がみられたが、その他の種目では認められなかった。

(3) 距離スキーの競技成績とVO₂max、LT、走効率との関係

距離スキー競技では、環境条件、コースコンディションが競技成績に大きく影響するため、陸上競技のように記録そのもので競技能力を比較できない。また、走法の違いも配慮されなければならない。現在クラシカル走法とフリー走法の二種目が行われており、前者は従来の走法、後者は近年出現したスケートイング走法を取り入れたものである。したがって本研究では、競技成績とトレッドミルテストの成績との関係を見るため、競技会ごとに両者の相関関係を検討した。

表4から明らかなように、2つのフリー走法の競技会では、クラシカル走法の競技会に比べ、生理的指標と競技成績との間の相関係数がより高くなっている傾向がうかがわれる。

VO₂maxとフリー走法の競技成績とでは、2競技大会ともほぼ同等の有意な相関係数が認められた(図4)。クラシカル走法では、有意な相関関係はみられなかった。

LT値では、v-LTで3競技大会とも記録との間に有意な相関関係がみられた。ただし、陸

表3 長距離・マラソン選手の競技成績とVO₂max、LT、走効率およびv-VO₂maxとの相関係数

	5,000m (n=35)	10,000m (n=31)	マラソン (n=11)
VO ₂ max(ml/kg/min)	.189 NS	-.181 NS	-.602 NS
v-LT(m/min)	.185 NS	.284 NS	.392 NS
v-LT2mM(m/min)	.619 **	.402 *	-.493 NS
v-LT4mM(m/min)	.700 **	.451 *	-.205 NS
RE(ml/kg/min)	-.384 *	-.525 **	-.304 NS
v-VO ₂ max(m/min)	.456 **	.294 NS	-.065 NS

** P<0.01

上の5,000mとv-LT4mmol/lでみられた高い相関関係 ($r=0.7$) は、スキーではみられていない。

走効率では、いずれの大会においても競技成績との間に有意な関係はみられなかった。

v-VO2maxでは、サロモンカップ大会において有意な関係が認められた。

考 察

(1)長距離選手

本研究では、わが国のトップレベルに相当する競技成績を有する長距離選手を対象にした。その結果、VO2maxと記録の間に有意な相関関係は認められなかった。比較的均質な集団を対象にしたときのこうした傾向は、すでにいくつかの研究で指摘されている^{1) 4) 12)}。一方LTの諸変数では、競技成績との関係に有意な相関関係を認めるものが多くなった。とくにv-LT4mmol/lと5,000mの間には $r=0.7$ という比較的高い相関関係がみられた。しかしそれでも、従来の報告値(0.8~0.9)に比べれば、明らかに低い^{9) 13)}。このことも、均質集団を対象にしたことと関連しているものと思われる。

一方、こうした均質集団を対象にした場合、走効率が長距離の走記録と高い相関関係 ($r=0.8\sim0.9$) にあることがいくつかの研究で観察されている。とくに走速度268m/minでの酸素摂取量で評価したものが多く、その平均値は50~52ml/kg/minであり、本研究の長距離選手の平均値49.9ml/kg/minも、やや低い(したがって走効率が低い)、従来の報告値の範囲内

のものと判断でき、また5,000m、10,000mの記録と有意な相関関係が認められている。しかしここでも、従来報告されている相関係数よりはかなり低い。

同様に、v-VO2maxについても10,000mとの間で $r=0.54$ の有意な相関関係がみられたものの、Morganら¹¹⁾の報告値(10km走との間で $r=0.87$; $n=10$)に比べれば低かった。

v-VO2maxは、走効率とVO2maxの相互関係を表す尺度として提唱されている。すなわち、VO2maxが同等であるなら、走効率の高い方が(同一走速度に対する酸素摂取量が低いほど)v-VO2maxは高くなり、走効率が同等であるなら、VO2maxの高い方がv-VO2maxは高くなる、という関係が成り立つ。このことからv-VO2maxは、競技成績と密接に関連することが期待される。またMorganらは、測定対象となった長距離選手のVO2maxに幅があっても均質であっても、競技成績との間に高い相関関係を観察している。これに比べ本研究結果では、それほど高い相関関係は得られ

表4 距離スキー選手の競技成績と最大酸素摂取量、LT、走効率及びv-VO2maxとの相関係数

	全日本 フリー (n=18)	サロモン フリー (n=20)	全日本 クラシカル (n=24)
VO2max(ml/kg/min)	.495 *	-.497 *	.263 NS
v-LT(m/min)	.499 *	.464 *	.459 *
v-LT2mM(m/min)	.242 NS	.383 NS	.162 NS
v-LT4mM(m/min)	.431 NS	.462 *	.286 NS
RE(ml/kg/min)	-.278 NS	-.372 NS	-.388 NS
v-VO2max(m/m in)	.455 NS	.541 *	.377 NS

** P<0.01

なかった。

以上、本研究の長距離選手において、競技成績とVO2max、LT、走効率、v-VO2maxと競技成績との間には、従来の報告と同様に有意な相関関係が認められた。しかしその相関係数は、総じて先行研究のものより低い傾向にあった。本研究の対象が極めて競技成績の高

い、均質な集団であったことが原因の一つにあげられよう。しかし、われわれの以前の研究において、今回と被験者の重複はないが、やはり日本のトップクラスの長距離、マラソン選手でVO2maxと5,000mの間に $r=0.6$ 以上の有意な相関関係が認められた⁷⁾。さらに、長距離選手を中距離タイプに近い群とマラソン

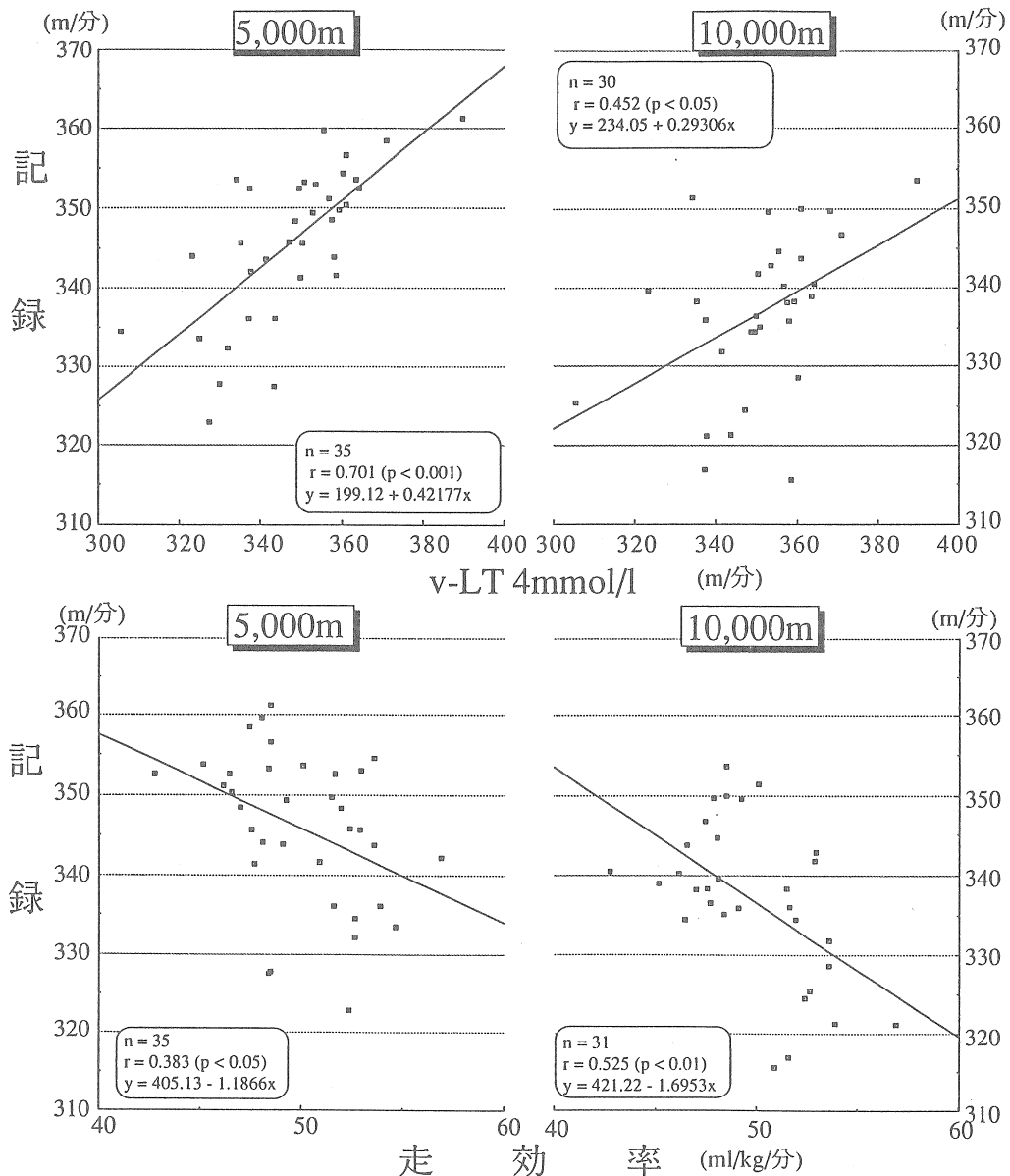


図2 長距離走記録とv-LT4mmol/lおよび走効率との関係

タイプに近い群に区分して集計したところ、それぞれの群で5,000mの記録とVO2maxとの相関係数はさらに高くなった。このことは、日頃からトラックレースを専門に行っているランナーの5,000mの記録と、ロードレースを主体にした選手のそれとを区別して評価する必要のあることを示唆している。また、実験室での測定結果が必ずしも競技会での競技成績を反映し得るものではないことも、十分考慮しなければならない。

以上のことから、トレッドミルテスト結果の生理的諸変量と競技成績との相関関係には、かなり幅のあることを見込んでおくべきではないかと考えられる。本研究のような均質な集団を扱う場合、少なくともVO2maxやLTの大小だけで選手の競技能力を評価することは、避けなければならないと考える。

(2)距離スキー選手

本研究で対象となったスキー選手は、日本スキー連盟の指定する強化選手18名を含む、日本のトップレベルである。しかし、トレッドミルテストの結果を陸上競技の長距離選手

と比較すると、全ての項目で有意に劣っていることがわかる(表2)。

VO2maxでは、今回のスキー選手の平均値が68.1±3.5ml/kg/minであり、札幌オリンピック当時の強化選手の平均値(75ml/kg/min)に比べれば、かなり低い。さらに、北欧の距離スキー選手の報告値では、80ml/kg/minを越えるものも少なくなく、こうした値と比較すると、現在の日本の距離スキー選手の全身持久性は、世界的レベルに比べかなり隔たりのあることが推察される。また北欧の報告値では、長距離、マラソン選手よりも距離スキー選手のVO2maxの方が高い⁹⁾¹⁴⁾。この観察結果から判断する限り、現在のわが国のトップレベルのスキー選手のVO2maxは、少なくともあと5ml/kg/min増加させる余地が残されているのではないかと考えられる。そして競技成績との関連から、このVO2maxの向上が競技力の向上にもつながる可能性も、長距離選手より大きいと思われる。いずれにしても、現在のわが国の距離スキーの強化の課題の一つとして、全身持久性の向上をあげておきたい。

また本研究結果から、フリー走法とクラシ

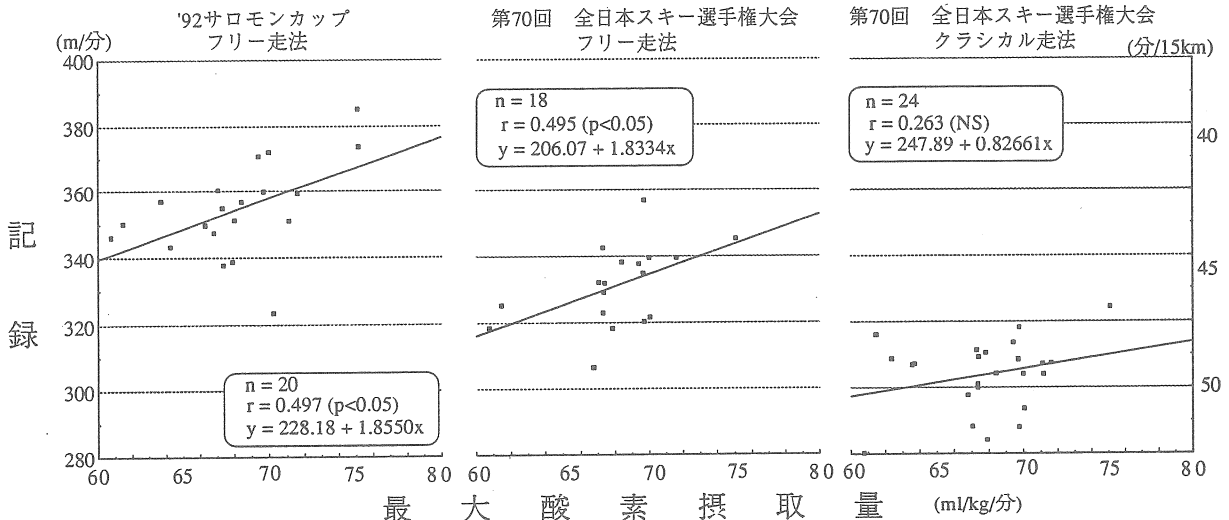


図3 競技会ごと、走法別にみた距離スキーの記録と最大酸素摂取量との関係

カル走法では、前者でよりVO₂maxやLTと関連している傾向がみられた。すでに指摘したように、スキー競技は環境条件に大きく影響される。したがって、本結果からただちに両走法の生理的特徴を導くことはできないが、走法の違いによって要求される生理的機能にも差異のあることがうかがわれる。吉本と北村は心拍数から両走法を比較したが、フリー走法で心拍数はやや低く、またクラシカル走法がより苦しいと感じる、と報告している。また、得意とする走法のと看ほど心拍数が高くなる傾向も観察している。このことから、そのスキー選手がどちらの走法に向いているか、走法への適性をVO₂maxやLTの測定結果から推定できるかも知れない。今後の、より詳細な研究に期待したい。

ま と め

本研究結果から、高い競技成績や全身持久性を有する均質な集団を対象にした場合、VO₂maxやLTから選手の競技能力を推定する精度はかなり低くなるものと推察される。競技選手にとってこうした測定値は、競技成績を予測するためというよりは、むしろ定期的に測定することによってトレーニング効果やそのときのコンディションを評価することに意義があると考えられる。

文 献

- 1) Bailey, S.P., and R.R. Pate (1991): Feasibility of improving running economy. *Sports Med* 12(4): p228-236.
- 2) Bulbulian, R. et al (1986): Anaerobic contribution to distance running performance of trained cross-country athletes. *Med Sci Sports Exerc* 18:p107-113
- 3) Costill, D.L. et al (1973): Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med Sci Sports* 5:p248-252
- 4) Daniels, J.T. (1985): A physiologist's view of running economy. *Med Sci Sports Exerc* 17:p332-338
- 5) Daniels, J. and N. Ddaniels (1992): Running economy of elite male and elite female runners. *Med Sci Sports Exerc* 24:p483-489
- 6) Farrell, P.A. et al (1979): Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports* 11:p518-528
- 7) 伊藤静夫ほか(1985): スポーツ選手のATに関する研究—第2報 中・長距離、マラソン選手のATについて—。昭和60年度日体協スポーツ医・科学研究報告。
- 8) 伊藤静夫ほか(1985): スポーツ選手のATに関する研究—第6報 各種スポーツ選手のトレーニングにともなう最大酸素摂取量並びにLTの変化について—。平成2年度 日体協スポーツ医・科学研究報告。
- 9) 加賀谷熙彦(1989): マラソンランナーの最大酸素摂取量とAT. *J J Sports Sci*. 8:p718-726
- 10) 黒田善雄ほか(1977): 日本人一流競技選手の最大酸素摂取量並びに最大酸素負債量—第3報—昭和52年度日体協スポーツ医・科学研究報告
- 11) Morgan, D.W. et al (1989): Ten kilometer performance and predicted velocity at VO₂max among well-trained male runners. *Med Sci Sports Exerc* 21:p78-83
- 12) Morgan, D.W. and M. Craib (1992): Physiological aspects of running economy. *Med Sci Sports Exerc* 24:p456-461
- 13) 田中喜代次(1989): 持久性競技者の競技成績とAT. *体育の科学*. 39:382-390
- 14) 山地啓司(1985): 一流スポーツ選手の最大酸素摂取量. *体育学研究* 30-3: P183-193.
- 15) 吉本俊明、北村辰夫(1989): 「心拍数からみたクラシカル走法とフリーテクニックの特徴について」. 競技種目別競技力向上に関する研究—第13報—。平成元年度日体協スポーツ医・科学研究報告. p174-178

平成3年度 財団法人日本体育協会
スポーツ科学専門委員会

委員長 長沼 健 (東海大学)
委員 青木純一郎 (順天堂大学)
" 浅見 俊雄 (東京大学)
" 石井 喜八 (日本体育大学)
" 猪俣 公宏 (上越教育大学)
" 大山 喬史 (東京医科歯科大学)
" 加賀 秀夫 (お茶の水女子大学)
" 加賀谷淳子 (日本女子体育大学)
" 勝田 茂 (筑波大学)
" 嘉戸 脩 (東京学芸大学)
" 加藤 大豊 (中部圏開発)
" 川原 貴 (東京大学)
" 北田 韶彦 (日本体育大学)
" 小林 修平 (国立健康・栄養研究所)
" 杉原鏘一郎 (日米富士自動車)
" 高沢 晴夫 (横浜市立港湾病院)
" 高橋 敏 (宮城県体育協会)
" 武安 義光 (資源協会)
" 立川 晴一 (立川総合病院)
" 中嶋 寛之 (東京大学)
" 本宿 尚 (藤田総合病院)
" 真野 高一 (日本大学)
" 村田 光範 (東京女子医科大学)

平成3年度 財団法人日本オリンピック委員会
選手強化本部 科学・情報専門委員会

委員長 笹原 正三 (体力づくり指導協会)
委員 青山 昌二 (東京大学)
" 浅見 俊雄 (東京大学)
" 川原 貴 (東京大学)
" 杉田 秀男 (TBS)
" 滝沢 康二 (日本体育大学)
" 中村 良三 (筑波大学)
" 服部 光男 (稲城市立病院)
" 松林 肇 (日本大学)
" 安田 矩明 (中京大学)
" 山田 重雄 (日立製作所)
" 帖佐 寛章 (日本エアロビクスセン
ター)

財団法人日本体育協会 スポーツ科学研究所

塚越 克己 金子 敬二
雨宮 輝也 加藤 守
伊藤 静夫 原 孝子

財団法人日本オリンピック委員会選手強化部

土屋 和平 木裏 徳明
平 真 川上 潤
中森 康弘 河手 雅弥
伊藤 弘一 加藤 仁美

平成3年度 財団法人 日本体育協会スポーツ医・科学報告集

編集代表者 長沼 健 笹原 正三
発行者 戸村 敏雄 向井 正剛
平成4年3月31日 発行

発行所 財団法人日本体育協会
東京都渋谷区神南1-1-1
TEL (03) 3481-2240

