

平成12年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告

No. XI 陸上・中距離選手の生理学的特性に関する研究

財団法人 日本体育協会
スポーツ医・科学専門委員会

平成12年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告

No.XI 陸上・中距離選手の生理学的特性に関する研究

報 告 者 勸日本体育協会・スポーツ科学研究所

森丘 保典 伊藤 静夫 原 孝子

青野 博 雨宮 輝也

I. はじめに

中距離走者を対象とした研究は、その多くが長距離や短距離などの他種目との比較であり、長距離走者との比較では無気的能力に優れている（有気的能力に劣る）こと（黒田ほか、1973；Lacour et al, 1990a, b；Mckenzie et al., 1982；Scott et al., 1991；Schnabel and Kindermann, 1983；Svedenhag and Sjodin, 1984）、短距離走者との比較では有気的能力に優れている（無気的能力に劣る）こと（Granier et al., 1995；Ohkuwa et al., 1984；Olesen et al., 1994）などが報告され一般化されている。しかしながら、中距離走と言っても、おおよそ2分程度で終了する800m走と、その倍の4分程度で終了する1500m走では競技特性、およびパフォーマンスに影響を与える生理学的特性も異なるかと考えるべきであろう。また、中距離の中にもより無気的能力に優れたいわゆる「短距離型」の選手や、より有気的能力に優れた「長距離型」の選手が混在しているであろうことは十分考えられる。森丘ら（1999）は、同等の400m走記録を有する短距離、中距離、混成競技の選手の間欠的ランニング中の血中乳酸動態について調べ、各種目間の血中乳酸動態に有意差があることを報告している。彼らは、この理由として、乳酸の代謝は筋線維組成に影響を受けること（Baldwin, 1972；Madureira, 1988）や、持久性トレーニングにより同一運動中の血中乳酸濃度が低下すること（Donovan & Pagliassotti, 1990；Oyono-Enguelle, 1990）、また、高強度トレーニングにより運動後の血中乳酸濃度の低下が早まること（Hatta, 1990）などをあげており、生得的に、あ

るいはトレーニングによって異なる生理学的特性をもつ各選手が、400m走において有気および無気的能力それぞれを最適化していることの一つの証拠になると指摘している。永井ら（1993）は、中長距離走者ともに持久的トレーニングにおいて無気的能力および有気的能力の両者の評価からその優劣のバランス（持久力のタイプ）を知ることによって、適切なトレーニング目標を設定することが重要であると述べており、異なる持久力タイプを把握することの重要性を指摘している。

昨年度は、中距離種目（800mおよび1500m）を専門とする被験者を用いて、Maximal Anaerobic Running Test (MART) を行い、血中乳酸動態から推定される Anaerobic power の種目特性や中距離走記録（800m, 1500m）との関係について検討した。その結果、同じ中距離選手でも、そのタイプ（筋線維組成や有酸素性、無酸素性の作業能力の優劣）によって血中乳酸動態が異なるので、パフォーマンスとの関係を検討するときには、血中乳酸の相対値を基準とする指標を用いるべきであることが示された。

そこで今年度は、中距離選手に MART および漸増負荷走テスト（ $\dot{V}O_2$ -AT Test）を行い、MART によって測定されたパラメータと、酸素摂取量や Anaerobic Threshold (AT) といった従来から用いられてきた有酸素性能力の評価パラメータとの関係について検討し、中距離走者の生理学的特性、トレーニング効果およびコンディションを評価するための基礎的資料を得ることを目的とした。

II. 方法

2.1 被験者

被験者は、大学陸上競技部に所属する男子で、中距離を専門とする選手8名であった。被験者の年齢、身長、体重800m および1500m 走記録の平均値±標準偏差は、順に、21.0±1.4歳、174.7±5.8 cm、63.7±4.4kg、1分54秒9 ±5.2秒、4分01秒8 ±14.7秒であった。

2.2 測定方法

(1) 最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\max$) および無酸素性代謝閾値 (AT) の測定について

1) 運動負荷方法

図1は、本研究で用いた漸増負荷走テスト ($\dot{V}O_2$ -AT Test) のプロトコルを示したものである。AT および走効率を算出するために、トレッドミル傾斜0度での最大下走行 (3分) を、耳朶採血のための30~40秒程度の立位休息をはさみ、5セット行った。初回走速度は、各被験者の走力を考慮し、また走行終了後の乳酸が2mM 以上にあがらない速度として160~180m/min に設定し、以後40m/min ずつ速度を漸増させた。

また、6セット目は、 $\dot{V}O_2\max$ を導出する走行として、傾斜0度、5セット目と同速度で1分、1分~2分は速度は変えずに傾斜1°に設定し、2分以降は1分ごとに速度を10m/min ずつ漸増しながらオールアウトまで至らしめた。

なお、以下の報告における $\dot{V}O_2\max$ は、体重1 kgあたり (ml/kg/min) の値とする。

2) 測定項目

酸素摂取量は、各負荷における3分間走行の2~3分の1分間についてダグラスバック法により呼吸を採取し求めた。また、6セット目については、1分後からオールアウトに至るまで1分毎に連続採気した。 $\dot{V}O_2\max$ は、酸素摂取量のレベリングオフ、1.1以上の呼吸交換比(RMR)、180拍/分以上の心拍数のうちのいずれか二つを満たすことによって判定した。

心拍数は、胸部双極誘導による心電図を用いて測定し、各負荷ごとの心拍数については、走行終了前10秒間の心拍数を1分間値に換算した。

各走行終了直後に耳朶より採血した血液サンプルを用いて血中乳酸濃度を測定した。測定には自動血中乳酸分析器 (BIOSSEN-5040) を用いた。

3) AT の判定

ATについては、血中乳酸濃度2 mmol/lならびに4 mmol/lを判定基準に採用し (以下、LT-2, LT-4)、血中乳酸濃度-走行速度曲線 (2次あるいは3次の回帰式のうちあてはめのよいものを採用) を内挿する事により算出した。

(2) Maximal Anaerobic Running Test (MART) について

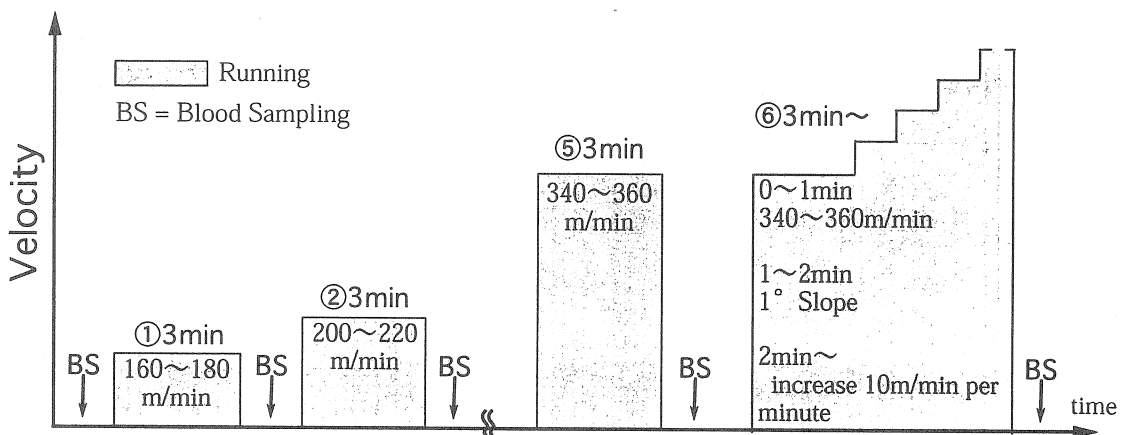


図1 $\dot{V}O_2$ -AT Test のプロトコル

1) 運動負荷方法

図2は, Rusko et al. (1993) の推奨する方法による MART のプロトコールを示したものである。被験者は, 4度の傾斜をつけた既に回転しているトレッドミルに安全バーをつかみながら跳び乗り, 1~2秒間脚の動きを合わせた後に, 手を放し20

秒間のランニングを行った。ランニング終了後40秒の時点で, 耳朶からの採血を行い, 自動乳酸分析器 (Shimadzu CL-760) を用いて分析した。ランニング終了から100秒後(ランニングをスタートしてから120秒後)に, 再び次のランニングをスタートし, Exhaustionに至るまで8~10回のランニ

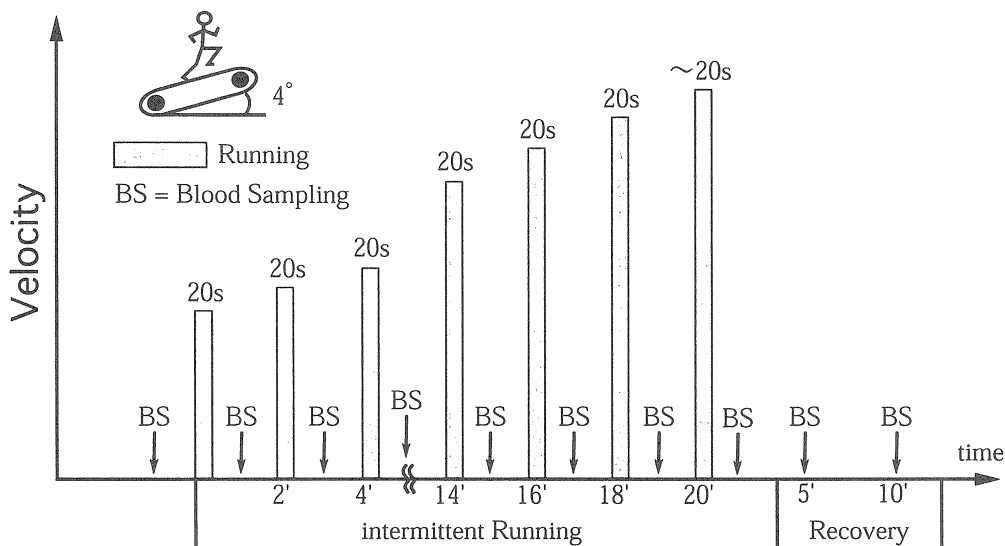


図2 Maximal Anaerobic Running Test のプロトコール

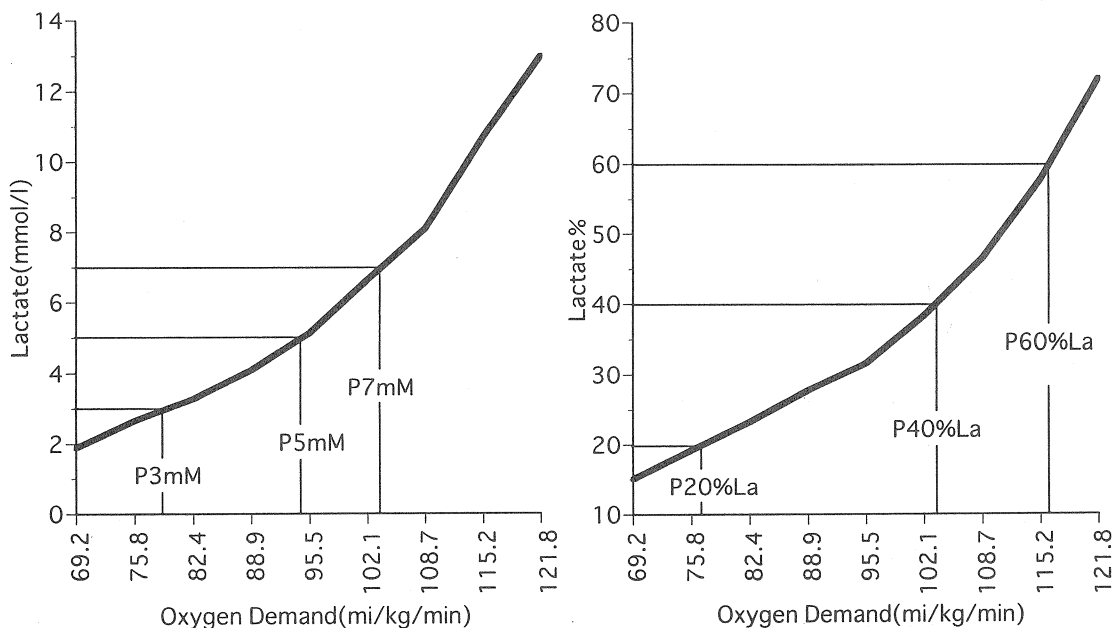


図3 MARTにおけるパワー算出方法

表1 V-800およびV-1500と各種パラメータとの関係(相関係数)

	VO2max	LT-2	LT-4	TRT	P3mM	P5mM	P7mM	P20%La	P40%La	P60%La	PBLa
V-800	0.669	0.256	0.462	0.895 ^{**}	0.289	0.588	0.681	0.560	0.778 [*]	0.882 ^{**}	0.468
V-1500	0.847 ^{**}	0.501	0.689	0.980 ^{***}	0.366	0.712 [*]	0.761 [*]	0.715 [*]	0.945 ^{***}	0.966 ^{***}	0.596

*p<0.05, **p<0.01, ***p<0.001

ングを繰り返した。ランニングが終了した後、1、5、10分後にも耳朶から採血し乳酸分析を行った。

初回走速度は、Exhaustionに至るまでに8-12回の走行が可能で、しかも初回走行終了後の乳酸が3mM以上にあがらない速度として250m/minを採用し、以後Exhaustionに至るまで25m/minずつ増加させた。

2) 測定項目

MARTのランニング・パフォーマンスとして用いる総走行時間(Total running time:以下TRTとする)については、exhaustionしたセットにおける9秒以下の走行はキャンセルするという先行研究の方法(Rusko et al., 1993)に基づき、以下の式にて算出した。

$$20\text{秒} + 20\text{秒} \times \text{完走セット数}(2\text{セット目以降}) \times 11\text{秒} + \text{exhaustion セットの走行時間} - 9\text{秒}$$

MART終了後の最高血中乳酸濃度(PBLa)は、exhaustionが終了してから1、5、10分後の値の中で最も高いものを採用した。

本研究で用いるAnaerobic Powerの指標である酸素需要量(ml/kg/min)は、American College of Sports Medicine (ACSM)のガイドライン(1995)およびRusko et al. (1993)の方法に基づき算出した。

血中乳酸濃度3mmol/l、5mmol/l、7mmol/l時における酸素需要量(以下、P3mM、P5mM、P7mM)およびPBLaを100%としたときの20%(2.95±0.30mmil/l)、40%(5.90±0.60mmil/l)、60%(8.85±0.89mmil/l)の血中乳酸値における酸素需要量(以下P20%La、P40%La、P60%La)については、血中乳酸-酸素需要量曲線を内挿することにより算出した(図3)。

なお、レース走速度については、競技会における800m、1500m走の平均速度(秒速:以下V-800、V-1500とする)を用いた。

(3) 統計処理

相関分析には、ピアソンの積率相関分析を用いた。有意性の判定には、危険率5%を採用した。

III. 結果

表1は、 $\dot{V}O_2$ -AT TestおよびMARTにより測定・算出されたパラメータとレース走速度との関係(相関係数)を示したものである。V-800との間に有意な相関が認められたのは、MARTによるTRT($r=0.895$; $p<0.01$)、P40%La($r=0.778$; $p<0.05$)、P40%La($r=0.882$; $p<0.01$)の3つであり、 $\dot{V}O_2$ -AT Testのパラメータとの相関は認められなかった。V-1500mとの間に有意な相関がみられたのは、 $\dot{V}O_2$ max($r=0.847$; $p<0.01$)、TRT($r=0.980$; $p<0.001$)、P5mM($r=0.712$; $p<0.05$)、P7mM($r=0.761$; $p<0.05$)、P20%La($r=0.715$; $p<0.05$)、P40%La($r=0.945$; $p<0.001$)、P60%La($r=0.966$; $p<0.001$)であった。

表2は、 $\dot{V}O_2$ -AT TestとMARTにより測定・算出されたパラメータの関係(相関係数)を示したものである。 $\dot{V}O_2$ maxとの間に有意な相関が認められたのは、TRT($r=0.788$; $p<0.05$)のみであった。LT-2との間に有意な相関が認められたのは、P3mM($r=0.742$; $p<0.05$)、P5mM($r=0.821$; $p<0.05$)、P7mM($r=0.777$; $p<0.05$)、P20%La($r=0.711$; $p<0.05$)であった。またLT-4との間に有意な相関が認められたのは、P3mM($r=0.735$; $p<0.05$)、P5mM($r=0.916$; $p<0.01$)、P7mM($r=0.884$; $p<0.01$)、P20%

表2 $\dot{V}O_2$ -AT Test および MART により算出されたパラメータ間の関係 (相関係数)

	TRT	P3mM	P5mM	P7mM	P20%La	P40%La	P60%La	PBLa
VO2max	0.788 *	0.224	0.580	0.651	0.331	0.607	0.686	0.199
LT-2	0.543	0.742 *	0.821 *	0.777 *	0.711 *	0.672	0.566	-0.050
LT-4	0.700	0.735 *	0.916 **	0.884 **	0.786 *	0.826 *	0.739 *	0.071

* $p < 0.05$, ** $p < 0.01$

La ($r = 0.786$; $p < 0.05$), P40% La ($r = 0.826$; $p < 0.05$), P60% La ($r = 0.739$; $p < 0.05$) であった。

IV. 考 察

1) 各パラメータと記録との関係について

$\dot{V}O_2$ -AT Test により算出されたパラメータのうち、レース走速度と関係がみられたのは V-1500 に対する $\dot{V}O_2$ max のみであった。これは、800m に比べ運動時間が長く、より有気的な能力が必要とされる 1500m の競技特性を考へても妥当な結果であろう。一方、AT については、レース走速度との間に有意な相関関係は認められなかった。漸増負荷ランニングテスト中の血中乳酸値 4 mmol/l 時の走速度と、1500m, 3000m, 5000m の走速度との間に有意な相関関係があるという報告 (Lacour et al.; 1990b) もあるが、対象とする選手数や競技レベル (母集団の分散なども含めて) により多少結果が変動するのかもしれない。

Lacour et al. (1990a) は、一流中距離選手を対象に 800m レース終了後の血中乳酸を測定し、レースの平均走速度との間に有意な正の相関関係が認められたことを報告している。しかしながら、本研究においては、PBLa と V-800m, V-1500m との間に有意な相関関係は認められなかった。最大血中乳酸値とレース記録との関係については様々な報告があり、統一した見解は出ていないが、この関係については一考を要するといえよう。

MART により算出されたパワーでは、レース走速度との間に有意な相関が認められたのは、V-800

に対しては P40% La, P60% La であり、V-1500 に対しては P5mM, P7mM, P20% La, P40% La, P60% La であった。森丘ら (1999) は、同等の 400m 走能力を有する短距離、中距離および混成競技選手による MART を行い、血中乳酸の絶対値を基準に算出したパワーと 400m 走記録との間に有意な相関関係が見られなかったことを示し、競技記録やパフォーマンスと結びつけて考えるには、選手の生理学的特性を考慮できる指標を作成する必要があることを指摘している。本研究では中距離走者のみを対象としているため、森丘ら (1999) の報告に比べれば生理学的にみても等質集団であるといえてよく、結果的に血中乳酸の絶対値により算出されたパワーとの間にも相関関係が認められたものと思われる。しかし、V-800m に関して、P3mM, P5mM, P7mM との間に認められなかった相関が P40% La, P60% La に認められたこと、そして V-1500 に関して P5mM, P7mM にみられたよりも強い相関が P40% La, P60% La に認められたことは、血中乳酸の相対値により算出したパワーが、より選手の生理学的特性や中距離走の特性を反映したパラメータであることを裏付ける結果であるといえよう。

2) $\dot{V}O_2$ -AT Test および MART により算出されたパラメータ間の関係について

2つのテストにおいて、血中乳酸を基準に算出するパラメータ間の関係を調べたところ、LT-2 と P3mM, P5mM, P7mM, P20% La との間に、LT-4 と MART において算出される全てのパワーとの

間に有意な相関関係が認められた(表2)。このことは、Anaerobic power の測定として用いられている MART 中の最大下走行中のパワーが AT を反映しており、AT の代用として用いることのできる可能性を示していると考えられる。しかしながら、血中乳酸動態の個人差は大きく、トレーニング効果を測る、また、新たなトレーニング負荷を設定するための指標としての利用精度を高めるためには、AT などの算出方法に関しても一考を要すると考える。

Vuorimaa et al. (1996) は、Pmax (MART においてどれだけ長く走れたかによって決定されるパラメータ：本研究においては TRT と同意) と $\dot{V}O_2\max$ との間に有意な相関関係が認められたことを報告している。本研究においても、TRT と $\dot{V}O_2\max$ との間に有意な相関関係が認められた。また、先に述べたレース走速度と TRT の関係においても、V-800より V-1500においてより強い相関関係が認められており、これらのことは、MART のパフォーマンスを規定する要因の一つとして、有酸素性作業能力があげられるということを示しているといえよう。さらにいえば、MART が、より有酸素性の能力や乳酸の除去能力に優れた選手において有利？なプロトコルであり、非乳酸性や最大無酸素パワーの神経-筋系の要素を主要な検討材料とする場合には、プロトコルのデザイン(運動時間、休息時間、トレッドミルの傾斜など)を変えることも検討する必要があるかも知れない。

V. 参 考 文 献

American College of Sports Medicine (1995) ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription. 5th ed. Philadelphia, Williams & Wilkins : pp. 277-279

Baldwin, K. M., Klinkerfuss, G. H., Terjing, P. A., Mole, P. A. and Holloszy, J.O. (1972) Respiratory capacity of white, red, and intermediate muscle : adaptative response to exercise. *Am. J. Physiol.* 222 : 373-378.

Donovan, C. M and Pagliassotti, M. J. (1990) Enhanced efficiency of lactate removal after endurance training. *J. Appl. Physiol.* 68 : 1053-1058.

Gramier, P., Mercier, B., Mercier, J., Prefaut, C. (1995) Aerobic and anaerobic contribution to wingate test performance in sprint and middle-distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 70 : 58-65.

Hatta, H. (1990) Oxidative removal of lactate after strenuous exercise. *Ann. Physiol. Anthropol.* 9 : 213-218.

黒田善雄, 伊藤静夫, 塚越克己, 雨宮輝也, 鈴木洋児 (1973) 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2報-, 昭和48年度日本体育協会スポーツ科学研究報告, 1-27.

Lacour, J. R., Padilla-Magunacelaya, S., Barthelemy, J. C., Dormois, D. (1990a) The energetics of middle-distance running. *Eur. J. Appl. Physiol.* 60 : 38-43.

Lacour, J. R., Bouvat, E. and Barthelemy, J. C. (1990 b) Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *Eur. J. Appl. Physiol.* 61 : 172-176.

Madureira, G. and Hasson-Voloch, A. (1988) Lactate utilization and influx in resting and working rat red muscle. *Comp. Biochem. physiology.* 89 A : 693-698.

森丘保典, 持田尚, 大庭恵一, 伊藤静夫, 原孝子, 内丸仁, 雨宮輝也 (1999) 間欠的ランニングテストから推定される anaerobic power と400m 走記録との関係. 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告集 XI, 1-8.

Mckenzie, D. C., Parhouse, W. A. and Hearst, W. E. (1982) Anaerobic performance characteristics of elite canadian 800 meter runners. *Can. J. Appl. Sports Sci.* 7 : 158-160.

永井純, 山地佳寿美, 佐伯徹郎, 高松薫 (1993) 800m 走における短距離型および長距離型走者の体力特性 ; 同一記録を有する日本の一流女子走者の場合. 陸上競技研究, 14 : 2-8.

Ohkuwa, T., Kato, Y., Katsumata, K., Nakao, T. and Miyamura, M. (1984) Blood lactate and glycerol after 400-m and 3000-m runs in sprint and long distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.* 53 : 213-218.

Olesen, H. L., Raabo, E., Bangsbo, J. and Secher, N. H. (1994) Maximal oxygen deficit of sprint and middle distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*

- 69 : 140–146.
- Oyono-Enguelle, S., Marbech, J., Heitz, A., Ott, C., Gartner, A., Pape, A., Vollmer, J. C. and Freund, H. (1990) Lactate removal ability by skeletal muscle. *J. Appl. Physiol.* 68 : 1053–1058.
- Rusko, H., Nummela, A and Mero, A. (1993) A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.* 66 : 97–101.
- Schnabel, A. and Kindermann, W. (1983) Assessment of anaerobic capacity in runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 52 : 42–46.
- Scott, C. B., Roby, F. B., Lohman, T. G. and Bunt, J. C. (1991) The maximally accumulated oxygen deficit as indicator of anaerobic capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 23 : 618–624.
- Svedenhag, J. and Sjodin, B. (1984) Maximal and submaximal oxygen uptake and blood lactate levels in elite male middle- and long-distance runners. *Int. J. Sports Med.*, 5 : 255–261.
- Vuorimaa, T, Hakkinen, J ; Vahasoyrinki, P ; Rusko, H (1996) Comparison of Three Maximal Anaerobic Running Test Protocols in Marathon Runners, Middle-Distance Runners and Sprinters. *Int. J. Sports Med.* 17(2) : 109–113.

平成12年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告
No.XI 陸上・中距離選手の生理学的特性に関する研究

◎発行日：平成13年3月31日

◎編集者：財団法人日本体育協会・スポーツ科学研究所

◎発行者：財団法人日本体育協会

(〒150-8050 東京都渋谷区神南1-1-1)

◎印刷：ホクエツ印刷株式会社

(東京都江東区深川2-26-7)

平成12年度 財団法人 日本体育協会
 スポーツ医・科学専門委員会

委員長 蓮見 圭一 全日本空手道連盟
 委員 阿江 通良 筑波大学
 青木純一郎 順天堂大学
 浅見 俊雄 日本体育大学
 猪俣 公宏 中京大学
 大山 喬史 東京医科歯科大学
 加賀谷 淳子 日本女子体育大学
 勝田 茂 筑波大学
 川原 貴 国立スポーツ科学センター
 菊 幸一 奈良女子大学
 河野 一郎 筑波大学
 小林 修平 国立健康・栄養研究所
 佐伯年 詩雄 筑波大学
 白川 博 (株)近江屋
 鈴木 正成 筑波大学
 竹中 晃二 早稲田大学
 中嶋 寛之 日本体育大学
 並木 孝 富山県体育協会
 林 敏弘 早稲田大学
 福永 哲男 東京大学
 村田 光範
 渡辺 郁男 朝日大学

平成12年度 財団法人 日本オリンピック委員会
 選手強化本部 医科学・情報専門委員会

委員長 川原 貴 国立スポーツ科学センター
 委員 青木純一郎 順天堂大学
 青木 剛 東京スイミングセンター
 浅見 俊雄 日本体育大学
 雨宮 輝也 日本体育協会
 猪俣 公宏 中京大学
 亀岡 寛治 帝産地所(株)
 河野 一郎 筑波大学
 坂本 静男 順天堂大学浦安病院
 高尾 良英 藤沢湘南台病院
 樋口 満 国立健康・栄養研究所
 福永 哲夫 東京大学
 船渡 和男 国立スポーツ科学センター

財団法人 日本体育協会 スポーツ科学研究所

雨宮 輝也 伊藤 静夫
 加藤 守 森丘 保典
 原 孝子 青野 博

財団法人 日本オリンピック委員会 強化事業部

平野 祐司 井手 均
 山本佳代子 今井 泰徳
 荒谷 潤

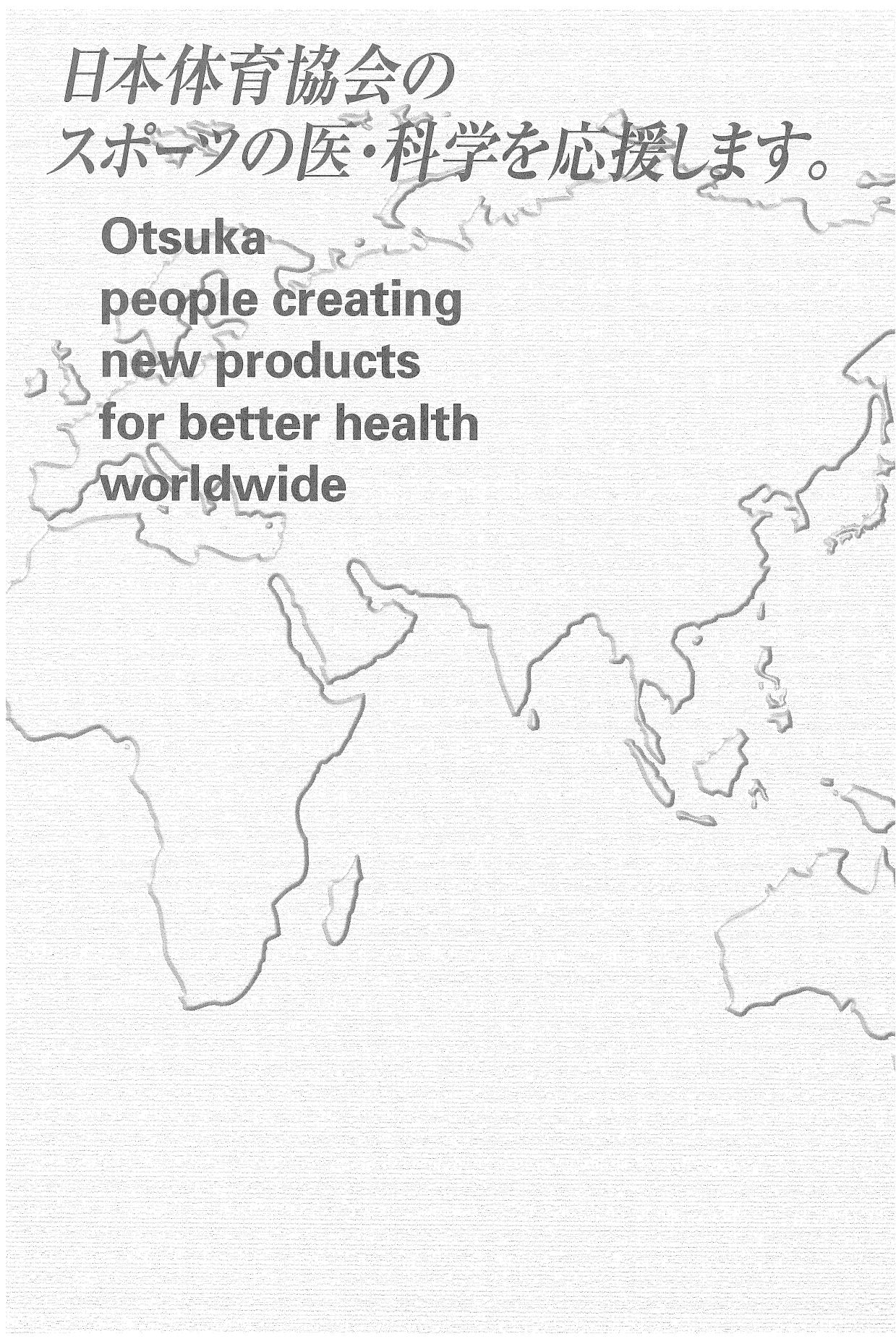
平成12年度 財団法人 日本体育協会 スポーツ医・科学報告集

編集代表者 蓮見 圭一 川原 貴
 発行者 岡崎 助一 小粥 義朗
 平成13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

日本体育協会の
スポーツの医・科学を応援します。

**Otsuka
people creating
new products
for better health
worldwide**





ボディリクエスト
トレーニングサポート
携帯タンパク食
バランス栄養食
16種類のビタミン・ミネラル
カルシウムウエハース

ポカリスエット
エネルゲン
ジョグメイトプロテイン
カロリーメイト
ネイチャーメイド
ザ・カルシウム

(財)日本体育協会のスポーツ医・科学の振興を応援しています。

大塚製薬

