間欠的漸増負荷走行中の血中乳酸動態から推定されるパワーと中距離走能力との関係

森 丘 保 典¹⁾ 伊 藤 静 夫¹⁾ 大 庭 恵 一²⁾ 原 孝 子¹⁾
内 丸 仁³⁾ 青 野 博¹⁾ 雨 宮 輝 也¹⁾

RELATIONSHIP BETWEEN MIDDLE-DISTANCE RUNNING PERFORMANCE AND POWERS ESTIMATED FROM BLOOD LACTATE CONCENTRATION DURING INTERMITTENT RUNNING

YASUNORI MORIOKA, SHIZUO ITO, KEIICHI OHBA, TAKAKO HARA, JIN UCHIMARU,
HIROSHI AONO and TARUYA AMEMIYA

Abstract

This study was conducted to clarify the relationship between power estimated by blood lactate movement during intermittent running test (Maximal Anaerobic Running Test : MART), and velocity of middle distance running (V 800 m, V 1500 m). The subjects were well-trained male middle-distance runners (n=8).

MART consisted of a variable number of 20 seconds runs on a treadmill with a 100 seconds recovery period between runs. The runs were performed on a 4° incline. After 40 second recovery, earlobe blood samples were taken and blood lactate concentrations were analyzed. The first run was performed at 250 m/min. Velocity of the treadmill was increased by 25 m/min for each consecutive run until volitional exhaustion.

The power requirement associated with the absolute value of blood lactate (La) and relative value of peak blood lactate (PBLa) was determined from the La or %PBLa vs power curve by linear interpolation from the two consecutive La values which were above and below the desired value.

Results were summarized as follows :

①Maximal power (Pmax) for MART was correlated positively with V 800 m ($r=0.880$, $P<0.01$) and V 1500 m ($r=0.948$, $p<0.001$).

②Power estimated at 40% value of PBLa (P40%La) correlated positively with V 1500 m ($r=0.903$, $P<0.01$), and at 60% value of PBLa (P60%La) was correlated positively with V 800 m ($r=0.835$, $P<0.01$) and V 1500 m ($r=0.936$, $p<0.001$).

These results indicate that MART is a valid test for estimating middle distance running performance and P40%La, and P60%La are important indexes with 800-m and 1500-m running.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2003, 52 : 285~294)

key word : middle-distance running, maximal anaerobic running test, blood lactate,
anaerobic power, aerobic power

I. 緒 言

陸上競技における 800 m 走および 1500 m 走は、『中距離走(Middle-distance running)』に分

類される。この分類に基づいて、多くの研究では、800 m 走者および 1500 m 走者を「中距離走者(Middle-distance runner)」と一括し、主に他の走種目との比較によって、その生理学的特性を明

¹⁾ 財団法人日本体育協会スポーツ科学研究室
〒150-8050 東京都渋谷区神南1-1-1
岸記念体育会館内

²⁾ 大分工業高等専門学校
〒870-0152 大分県大分市大字牧1666番地

³⁾ 順天堂大学大学院
〒270-1695 千葉県印旛郡印旛村平賀学園台1-1

Sports Science Laboratory, Japan Amateur Sports Association
1-1-1 Jinnan, Shibuya-ku, Tokyo (150-8050)

Oita National College of Technology
1666 Oaza-maki, Oita-city, Oita (870-0152)

Juntendo University
1-1 Hiraga-gakuendai, Inba-village, Inba-gun, Chiba (270-1606)

らかにしてきている。長距離(5000 m 以上)走者との比較においては、運動後の最高血中乳酸値や MAOD(Maximal Accumulated Oxygen Deficit), EPOC(Excess Post-exercise Oxygen Consumption)など無気的能力に優れていること^{1~7)}、また、短距離(400 m 以下)走者との比較においては、最大酸素摂取量(VO_{2max})、や走行中の血中乳酸(La)濃度が低いといった有気的能力に優れる^{8~10)}ことが示されており、これらは、中距離走者の特性を示す貴重な報告であるといえるだろう。しかし、一口に中距離走といっても、例えば一流選手において1分40秒~50秒でレースが終了する800 m 走と、およそその倍の運動時間(3分30秒~40秒)を要する1500 m 走では、それぞれの種目特性や選手の生理学的特性も異なるものと思われる。これは、800 m のみ、800 m と1500 m、1500 m と5000 m をそれぞれ専門種目とする一流選手における最大酸素摂取量やLa動態に有意差がみられること⁷⁾や、800 m 走中の有酸素エネルギー供給系の貢献度が60~70%であるのに対して、1500 m 走中では80%を超えること^{11,12)}などからも明らかであろう。また、持久的トレーニングにおいては、無気的能力、有気的能力の両方を評価し、その優劣のバランス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¹³⁾とされている。したがって、中距離走者に対して適切なトレーニングを処方するためには、中距離走の競技特性をふまえると同時に、個々の選手の特性を十分考慮した上でトレーニングを設計していくことが重要であろう。そのためには、800 m 走および1500 m 走の種目特性や個々の選手の生理学的特性を反映する体力テストや、その評価指標が必要になると思われる。

そこで本研究では、中距離走(800 m および1500 m)を専門とする被験者を用いて間欠的な漸増負荷走行を行い、走行中のLa動態から推定されるパワーと中距離走能力との関係について明らかにし、中距離走能力を反映する新しい評価指標を作成するための基礎的資料を得ることを目的とした。

II. 方 法

A. 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(年齢: 21.0 ± 1.4 歳, 身長: 174.7 ± 5.8 cm, 体重: 63.7 ± 4.4 kg, 800 m 記録: 114.9 ± 5.2 秒, 1500 m 記録: 241.8 ± 14.7 秒)であった。なお、中距離走記録は、本実験の実施日から半年以内の公認記録を採用した。

実験に先立ち、被験者には、プロトコールなど(実験後半はかなりの高速走行になること、転倒回避のため走行中トレッドミル室上部に固定したベルトを装着すること、ベルトに5 kg 以上の負荷がかかった場合はトレッドミルが自動停止すること、なども含む)について詳しく説明し、本実験への参加協力の同意を得た。

B. Maximal Anaerobic Running Test(MART)について

本研究では、パワーを推定するためにMaximal Anaerobic Running Test(MART)を用いた。これは、Anaerobic powerを測定するテストとして広く用いられているものであり、すでに先行研究においてその信頼性および妥当性が検証されている^{14~17)}。

Fig. 1 は、MART のプロトコールを示したものである。トレッドミル傾斜については、5 度を採用している先行研究^{17,18)}もみられるが、5 度での走行の場合、短距離走者はexhaustion時に最大のanaerobic powerに至らない可能性があることや^{18,19)}、その後の研究の多くが4 度を採用している^{15,16,20~22)}ことなどから、本研究においては傾斜4 度を採用することとした。被験者は、傾斜のつい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 秒間走行を行った。初回の走速度は、Exhaustionに至るまでに8~10 回程度の走行が可能で、しかも終了後のLaが3 mmol/l 以上にあがらない速度として250 m/minを採用した。走行終了から100 秒後に、走

Fig. 1. Schematic presentation of the MART protocol.

速度を 25 m/min 漸増させ (275 m/min) 再び次の走行をスタートした。以後、同様のサイクルで 25 m/min ずつ走速度を漸増し、被験者が Exhaustion に至るまで 8 回 (425 m/min 走行) から 10 回 (475 m/min 走行) の走行を繰り返した。各走行終了後 40 秒の時点、および Exhaustion に至る走行が終了して 1, 5, 10 分後にそれぞれ耳袋採血を行い、自動乳酸分析器 (BIOSEN-5040) を用いて La の分析を行った。

C. 算出するパラメータについて

本研究で用いるパワー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²³⁾ および Rusko et al.¹⁷⁾ の方法に基づき、以下の式にて算出した。

$$\dot{V}O_2 = 0.2v + 0.9 \text{ grade} \cdot v + 3.5$$

$\dot{V}O_2$ = 酸素需要量 (ml/kg/min), v = トレッドミルスピード (m/min), grade = トレッドミルの傾斜 (tangent, 傾斜 4° の場合は 0.0699), 3.5 = 安静時の酸素摂取量 (ml/kg/min)

実験時の走力を表す最大パワー (Pmax) については、exhaustion に至ったセットにおける 9 秒以下の走行時間はキャンセルするという Rusko et al. (1993) および 森丘 たち (2003) の方法を参考に、以下の式にて算出した。

$P_{\max} (\text{ml/kg/min}) = \text{最後に 20 秒完走したセットの酸素需要量 (ml/kg/min)} + (\text{exhaustion したセットの走行時間} - 9 (\text{秒})) \times 0.6 (\text{ml/kg/min})$

exhaustion したセットの走行時間が 9 秒以下の場合、最後に 20 秒完走したセットの酸素需要量を用いる。例えば、8 セット目 (425 m/min 走行) を完走し 9 セット目 (450 m/min 走行) の 9 秒以内に exhaustion に至った場合は 115.2 ml/kg/min となり、9 セット目の 10 秒で exhaustion に至った場合は $115.2 \text{ ml/kg/min} + (10 - 9) \times 0.6 \text{ ml/kg/min} = 115.8 \text{ ml/kg/min}$ という計算になる。

MART 終了後のピーク La (PBLa) は、exhaustion の 1 分後、5 分後、10 分後の値の中で最も高いものを採用した。また、La の絶対値 (3 mmol/l, 5 mmol/l, 8 mmol/l) を基準とした最大下パワー (P3 mM, P5 mM, P8 mM) および PBLa の相対値 (%PBLa; PBLa の 20%, 40%, 60% の La) を基準とした最大下パワー (P20% La, P40% La, P60% La) については、各被験者の La—パワー曲線および %PBLa—パワー曲線 (La 動態における連続する 2 点間を直線回帰により内挿したもの) により算出した (Fig. 2)。なお、パワー算出基準の上限となる 8 mmol/l および 60% PBLa は、全ての被験者において最大下パワーを算出することができる値として採用した。

Fig. 2. Determination of P3, 5, 8 mM and P20, 40, 60%La.

D. 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。また, 有意差検定には, 一元配置分散分析 (ANOVA) と Scheffe's post hoc test を用いた。それぞれの有意性の判定には, 危険率 5 % 未満を採用した。

Ⅲ. 結 果

Table 1 は, 8 名の被験者の中距離走能力およ

び本研究において算出した各パラメータを示したものである。800 m および 1500 m 走記録は, 800 m 走, 1500 m 走の平均走速度 (秒速: $V_{800\text{ m}}$, $V_{1500\text{ m}}$) で示した。

Fig. 3 は, $V_{800\text{ m}}$, $V_{1500\text{ m}}$ と P_{max} および $PBLa$ との関係について示したものである。 $V_{800\text{ m}}$, $V_{1500\text{ m}}$ と P_{max} との間には, ともに有意な相関関係 ($r = 0.880$, $P < 0.01$; $r = 0.969$, $P < 0.001$) がみられたが, $PBLa$ との間には認められ

Table 1. Physiological Characteristics and performances of subjects.

Subject no.	$V_{800\text{ m}}$ (m/min)	$V_{1500\text{ m}}$ (m/min)	$PBLa$ (mmol/l)	P_{max} (ml/kg/min)	$P3\text{mM}$ (ml/kg/min)	$P5\text{mM}$ (ml/kg/min)	$P8\text{mM}$ (ml/kg/min)	$P20\%La$ (ml/kg/min)	$P40\%La$ (ml/kg/min)	$P60\%La$ (ml/kg/min)
1	435.8	390.5	12.57	124.8	101.6	112.4	124.0	95.7	112.5	124.5
2	435.2	394.0	16.76	124.2	82.9	100.7	115.0	88.6	110.1	122.7
3	432.4	392.2	15.46	125.6	80.0	103.2	116.0	81.2	108.6	118.8
4	427.8	366.0	14.38	122.4	89.8	104.7	115.8	88.0	108.0	117.9
5	422.2	392.7	16.79	127.2	90.0	104.2	115.9	92.3	112.0	120.7
6	403.4	365.9	14.45	117.6	91.1	105.4	115.0	90.2	109.0	116.5
7	402.3	339.6	13.85	114.7	82.6	95.5	107.4	79.6	97.7	108.6
8	387.1	346.3	13.72	115.3	85.9	100.9	111.5	83.9	103.2	112.0
mean	418.3	373.4	14.75	121.5	88.0	103.4	115.1	87.4	107.6	117.7
SD	18.3	22.1	1.49	4.90	6.8	4.8	4.7	5.5	4.9	5.3

Fig. 3. Relationship between V 800 m, V 1500 m and Pmax, PBLa.

Fig. 4. Relationship between V 800 m, V 1500 m and P 3, 5, 8 mM.

なかった。

Fig. 4 は、V 800 m, V 1500 m と P 3 mM, P 5 mM, P 8 mM との関係について示したものである。いずれの間にも有意な相関関係が認められた。

Fig. 5 は、V 800 m, V 1500 m と P20%La, P40%La, P60%La との関係について示したものである。V 800 m と P60%La ($r=0.880$, $P<0.01$),

および V 1500 m と P40%La ($r=0.903$, $P<0.01$), P60%La ($r=0.933$, $P<0.01$) との間に有意な相関関係が認められた。

Fig. 5. Relationship between V 800 m, V 1500 m and P 20, 40, 60%La.

Ⅳ. 考 察

A. La の絶対値をもとに算出されたパワーについて

V 800 m, V 1500 m と Pmax との間に有意な相関関係が認められたことから, MART が中距離走能力を反映するテストであることが示された (Fig. 3).

Fig. 6 は, V 800 m, V 1500 m および Pmax がほぼ同レベルの走者 2 名 (Table 1 を参照) における MART 中および終了後の La 動態を比較したものである. subject 1 は, 全ての被験者のなかで最大下負荷時の La および PBLa において最も低い値 (12.57 mmol/l) を示し, subject 2 は, 最大下負荷時の La および PBLa (16.76 mmol/l) まで高い値を推移していた. 速筋線維 (FT) では解糖系酵素活性が高く La 産生に傾くが, 遅筋線維 (ST) では酸化能力が高く La の産生が抑えられる^{24, 25)}ことや, FT 線維の占める割合は, 短距離走者が最も高く, 以下中距離走者, 長距離走者の順に高いこと^{26, 27)}などはよく知られている. subject 2 は, 被験者のなかで最も高い 400 m 走

能力を有しており, subject 1 を含む他の被験者に比べて %FT や解糖系酵素活性が高い, すなわちより短距離走者に近い生理学的特性であると推察され, このことが, Fig. 6 にみられるような La 動態の相違を示す要因であると思われる. 無酸素性作業閾値 (AT) や Wingate テストなどで測定される無氣的パワーと中距離走能力との関係について様々な報告がなされているが^{17, 28-30)}, 統一した見解は示されておらず, これらの結果の不一致は, 短距離走や長距離走を対象とした同様の研究よりも顕著である³¹⁾という指摘もある. これはすなわち, 中距離走者における生理学的特性の多様性を示すものであるといえるだろう.

Lacour et al.²⁹⁾ は, 一流中距離選手を対象に 800 m レース終了後の La を測定し, レース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 800 m, V 1500 m との間に有意な相関関係は認められなかった (Fig. 3). また, La の絶対値を基準として算出したパワー (P 3 mM, P 5 mM, P 8 mM) と V 800 m, V 1500 m との間にも有意な相関が認められなかった (Fig. 4). 森丘

Fig. 6. Blood lactate curve of Subject 1 and Subject 2.

たち¹⁵⁾は、同等の400 m走能力を有する短距離、中距離および十種競技選手によるMARTを行い、Laの絶対値を基準に算出したパワーと400 m走記録との間に有意な関係がみられなかったことから、同種目で同等の走力を有する走者間でも、その生理学的特性は多様であるため、その評価において各走者の生理学的特性を十分考慮する必要があると指摘している。本研究では中距離走者のみを対象としているが、これらの結果は、先に示したLa動態の相違(Fig. 6)なども考慮すれば、十分に予想される結果であったといえる。Yoshida et al.³²⁾は、800 mから3000 m走者の比較において、800 m走者のみ有気的パワーおよび無気的パワーの両方に有意な相関関係が認められたことから、800 m走で高いパフォーマンスを達成するためには、それぞれのエネルギー供給系の貢献度のバランスが鍵であるとしている。また、中距離走者に比べて、より無気的能力に依存するとされる短距離走者の有気的能力や、より有気的能力に依存するであろう長距離走者の無気的能力の重要性なども指摘されている^{18,32-34)}。これらのことは、中距離走者においては、個々の走者の生理学的特性を把握することが重要であると

時に、有気的および無気的能力のバランスなどを考慮した評価指標が必要であることを示唆しているといえよう。

B. %PBLaを基準に算出されたパワーについて

Nummela et al.²²⁾は、パワー系競技者や長距離走者に比べて、短距離走者や中距離走者のP10 mMが有意に高かったことから、この指標が、400 mから1500 mまでの走パフォーマンスの重要な決定要因になりうるとしている。しかしながら、被験者の生理学的特性によってLaの動態に差がみられるため、P3 mMやP10 mMが推定できない場合があることや^{15,21)}、運動中のLa動態は個人差が大きいいため、ATの幅が1.4~7.5 mmol/lにもなる³⁵⁾ことなどから、Laの絶対値を評価基準として用いることの難しさも示唆されている⁷⁾。本研究においても、exhaustion直後のLaが10 mmol/lを超えなかった被験者が数名いたために、P10 mMを算出し、中距離走能力との関係について検討することができなかった。これらのことを踏まえ、森丘たち¹⁵⁾は、Laの再利用、除去といったLa産生の抑制に貢献する有気的能

力と, La の産生に貢献する無気的能力とを勘案した評価指標として %PBLa を基準としたパワーを算出し, P60%La と 400 m 走記録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, 同様の方法を用いて中距離走能力との関係について検討した結果, P60%La と V 800 m, P40%La, P60%La と V 1500 m との間に有意な相関関係が認められた (Fig. 5). 10 mmol/l 程度の La におけるパワーはスプリントエコノミーの評価指標である^{15,17,22)}とされているが, 本研究の被験者の 60%PBLa は 8.85 ± 0.89 mmol/l であったことから, 中距離走においては, La が 8~10 mmol/l 時の発揮パワーが, パフォーマンスに影響を与える重要な要因であることを示したといえるだろう.

800 m 走中の有酸素エネルギー供給系の貢献度が 60~70% であるのに対して, 1500 m 走中では 80% を超えるといわれている^{11,12)}. また, Lacour et al.²⁾ は, OBLA (Onset Blood Lactate Accumulation) と 800 m から 5000 m までのレース走速度との関係について調べ, 1500 m 以上の距離の走速度と相関があったことを示している. これらのことは, 1500 m が 800 m に比べてより有気的能力への依存度が高いことを示すものである. 本研究において, P40%La が V 1500 m との間にのみ有意な相関関係を示したことは, MART における最大下のパワーと $\dot{V}O_2\text{max}$ や AT といった有気的能力に関する指標との関係が深い¹⁸⁾ ことなどを考えても, 800 m に比べてより最大下速度での疾走中の効率を高めることが重要であることを示唆しているといえよう. さらに言えば, V 1500 m と P 5 mM, P 8 mM との間に相関がみられなかったにもかかわらず, P40%La (40%PBLa は 5.9 ± 0.6 mmol/l) との間に有意な相関関係が認められたことは, P40%La が, La の絶対値を基準に算出された従来の指標に比べて, より 1500 m 走能力を反映した実用的な指標であることを示したともいえる.

La は, 産生と除去 (再利用) のバランスや, 筋中から血中に拡散するまでの時間などによって決定されるので, 運動後の La 濃度から運動中の乳

酸産成量を直接評価できないこと, そして被験者の筋線維組成や代謝特性だけでなく, トレーニング内容などにも影響を受ける³⁶⁾ ことなどから, 個人間での比較は難しいとされている. しかしながら, 本研究の結果は, %PBLa を基準に算出されたパワー (P40%La, P60%La) が, 中距離走能力を反映する指標の一つとして用いることのできる可能性を示したといえよう.

V. 要 約

本研究の目的は, 中距離走者を対象に間欠的な漸増負荷走行テスト (MART) を行い, La 動態から推定されるパワーと中距離走能力との関係を検討することであった.

結果の要約を以下に示す.

- ① V 800 m, V 1500 m と実験時の走力を表す最大パワー (Pmax) との間に有意な相関関係が認められた.
- ② V 800 m とピーク La (PBLa) の 60% 値 (60%PBLa) を基準に算出したパワー (P60%La), V 1500 m と PBLa の 40% 値 (40%PBLa) を基準に算出したパワー (P40%La) および P60%La との間に有意な相関関係が認められた.

以上のことから, MART が中距離走能力を反映するテストとして有用であること, また, P60%La が 800 m 走能力, P40%La および P60%La が 1500 m 走能力を反映する評価指標の一つとして利用可能であることなどが示された.

(受理日 平成15年3月28日)

VI. 文 献

- 1) 黒田善雄, 伊藤静夫, 塚越克己, 雨宮輝也, 鈴木洋児. 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, (1973), 1-27.
- 2) Lacour, J. R., Padilla-Magunacelaya, S., Barthelemy, J. C. and Dormois, D. The energetics of middle-distance running. Eur. J Appl. Physiol., (1990), **60**, 38-43.
- 3) McKenzie, D. C., Parhouse, W. A. and Hearst, W. E. Anaerobic performance characteristics of elite canadian 800 meter runners. Can. J. Appl. Sports Sci., (1982), **7**, 158-160.
- 4) 佐伯徹郎, 鍋倉賢治, 高松 薫. 漸増負荷走行テ

- ストにおける生理学的応答からみた中距離走者と長距離走者の相違, 体力科学, (1999), **48**, 385-392.
- 5) Scott, C. B., Roby, F. B., Lohman, T. G. and Bunt, J. C. The maximally accumulated oxygen deficit as indicator of anaerobic capacity. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1991), **23**, 618-624.
 - 6) Schnabel, A. and Kindermann, W. Assessment of anaerobic capacity in runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1983), **52**, 42-46.
 - 7) Svedenhag, J. and Sjodin, B. Maximal and submaximal oxygen uptake and blood lactate levels in elite male middle- and long-distance runners. *Int. J. Sports Med.*, (1984), **5**, 255-261.
 - 8) Gramier, P., Mercier, B., Mercier, J. and Prefaut, C. Aerobic and anaerobic contribution to wingate test performance in sprint and middle-distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1995), **70**, 58-65.
 - 9) Ohkuwa, T., Kato, Y., Katsumata, K., Nakao, T. and Miyamura, M. Blood lactate and glycerol after 400-m and 3000-m runs in sprint and long distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1984), **53**, 213-218.
 - 10) Olesen, H. L., Raabo, E., Bangsbo, J. and Secher, N. H. Maximal oxygen deficit of sprint and middle distance runners. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1994), **69**, 140-146.
 - 11) Spencer, M. R. and Gustin, P. B. Energy system contribution during 200- to 1500-m running in highly trained athletes. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (2001), **33**, 157-162.
 - 12) Craig, I. S. and Morgan, D. W. Relationship between 800-m running performance and accumulated oxygen deficit in middle-distance runners. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1998), **30**, 1631-1636.
 - 13) 永井 純, 山地佳寿美, 佐伯徹郎, 高松 薫. 800 m 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, (1993), **14**, 2-8.
 - 14) Maxwell, N. S. and Nimmo, M. A. Anaerobic capacity: A maximal anaerobic running test versus the Maximal accumulated oxygen deficit. *Can. J. Appl. Physiol.*, (1996), **21**, 35-47.
 - 15) 森丘保典, 伊藤静夫, 持田尚, 大庭恵一, 原孝子, 内丸仁, 雨宮輝也. 間欠的な漸増負荷走行中の血中乳酸動態から推定されるパワーと 400 m 走記録との関係. 体育学研究, (2003), **48**, 181-190.
 - 16) Nummela, A., Mero, A. and Rusko, H. Effects of sprint training on anaerobic performance characteristics determined by the MART. *Int. J. Sports Med.*, (1996), **17**(Suppl. 2), 114-119.
 - 17) Rusko, H., Nummela, A. and Mero, A. A new method for the evaluation of anaerobic running power in athletes. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1993), **66**, 97-101.
 - 18) Paavolainen, L., Hakkinen, K., Nummela, A. and Rusko, H. Neuromuscular characteristics and fatigue in endurance and sprint athletes during a new anaerobic power test. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1994), **69**, 199-226.
 - 19) Nummela, A., Anderson, N., Hakkinen, K. and Rusko, H. Effect of inclination on the result of the maximal anaerobic running test. *Int. J. Sports Med.*, (1996), **17**(Suppl. 2), 103-108.
 - 20) Nummela, A. and Rusko, H. Time course of anaerobic and aerobic energy expenditure during short-term exhaustive running in athletes. *Int. J. Sports Med.*, (1995), **16**, 522-527.
 - 21) Nummela, A., Mero, A., Stray-Gundersen, J. and Rusko, H. Important determinants of anaerobic running performance in male athletes and non-athletes. *Int. J. Sports Med.*, (1996), **17**(Suppl. 2), 91-96.
 - 22) Vuorimaa, T., Hakkinen, K., Vahasoyrinki, P. and Rusko, H. Comparison of three maximal anaerobic running test protocols in marathon runners, middle-distance runners and sprinters. *Int. J. Sports Med.*, (1996), **17**, 109-113.
 - 23) American College of Sports Medicine. ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription. 5th ed., Williams & Wilkins, Philadelphia, (1995), 277-279.
 - 24) Baldwin, K. M., Klinkerfuss, G. H., Terjning, P. A., Mole, P. A. and Holloszy, J. O. Respiratory capacity of white, red, and intermediate muscle: adaptive response to exercise. *Am. J. Physiol.*, (1972), **222**, 373-378.
 - 25) Madureira, G. and Hasson-Voloch, A. Lactate utilization and influx in resting and working rat red muscle. *Comp. Biochem. physiology.*, (1988), **89A**, 693-698.
 - 26) Costill, D. L., Daniels, J., Evans, W., Fink, W., Krahenbuhl, G. and Saltin, B. (1976): Skeletal muscle enzymes and fiber composition in male and female track athletes. *J. Appl. Physiol.*, **40**, 149-154.
 - 27) 勝田 茂, 宮田浩文, 麻場一徳, 土肥徳秀. ニードルバイオブシー法による各種スポーツ選手の筋線維組成および毛細血管分布について. 筑波大学体育科学系紀要, (1986), **9**, 175-180.
 - 28) Brandon, L. J. and Boileau, R. A. Influence of metabolic, mechanical and physique variables on middle distance running. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, (1992), **32**, 1-9.
 - 29) Lacour, J. R., Bouvat, E. and Barthelemy, J. C. Post-competition blood lactate concentrations as indicators of anaerobic energy expenditure during 400-m and 800-m races. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1990), **61**, 172-176.
 - 30) Zacharogiannis, E. and Farrally, M. Ventilatory threshold, heart rate deflection point and middle distance running performance. *J. Sports Med. Phys. Fitness*, (1993), **33**, 337-347.
 - 31) Brandon, L. J. Physiological factors associated with middle distance running performance. *Sports Med.*, (1995), **19**, 268-277.

- 32) Yoshida, T., Udo, M., Iwai, K., Chida, M., Ichioka, M., Nakadomo, F. and Yamaguchi, T., Significance of the contribution of aerobic and anaerobic components to several distance running performances in female athletes.. *Eur. J Appl. Physiol.*, (1990), **60**, 249-25.
- 33) 尾縣 貢・福島洋樹・大山圭悟・安井年文・関岡康雄. 筋疲労時の疾走能力と体力的要因との関係. *体力科学*, (1998), **47**, 535-542.
- 34) Houmard, J. A., Costill, D. L., Mitchell, J. B., Park, S. H. and Chenier, T. C., The role of anaerobic ability in middle distance running performance. *Eur. J Appl. Physiol.*, (1991), **62**, 40-43.
- 35) Stegmann, H., Kindermann, W. and Schnabel, A., Lactate kinetics and individual anaerobic threshold. *Int. J. Sports Med.*, (1981), **2**, 160-165.
- 36) 八田秀雄. 運動中および運動後における乳酸の代謝とそのトレーニング効果. *体育の科学*, (1991), **41**, 305-310.