

平成10年度 日本体育協会スポーツ医・科学研究報告

No.XI 間欠的ランニングテストから推定される
アネロビック・パワーと400m走記録との関係

財団法人 日本体育協会
スポーツ医・科学専門委員会

No. XI 間欠的ランニングテストから推定されるアネロビク・パワーと
400m走記録との関係

報告者 森丘 保典*¹ 伊藤 静夫*¹ 原 孝子*¹ 内丸 仁*¹
雨宮 輝也*¹ 持田 尚*² 大庭 恵一*³

I. 緒 言

陸上競技の400m走は、男子の場合40～50秒程度で疲労困憊になる運動であり、主にATP-CP系と解糖系からのエネルギー供給に依存していると考えられている。先行研究において、400m走のレース前半ですでにエネルギー供給系が解糖系主体に移行し、乳酸が蓄積していること(Nummela et al., 1992), 300m以降の速度逡減は、筋のクレアチン燐酸が枯渇し、乳酸の蓄積が最大になることが原因であると指摘されている(Hirvonen et al., 1992)ことから、400m走における解糖系への依存度は高いと考えられる。実際、解糖系の代謝産物である乳酸、特にAnaerobic capacityを表す指標として頻繁に用いられている最高血中乳酸値と400m走記録との間に、有意な負の相関があることが多数報告されている(Berg et al., 1985; Fujitsuka et al., 1982; Lacour et al., 1984; Mero et al., 1993; 1990; Ohkuwa et al.)。しかし、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)などを考えれば、最高血中乳酸値を高めることが400m走能力の改善に結びつく単純に考えるわけにはいかない。

また、これまでに、最大および最大下負荷時の血中乳酸値から推定されるAnaerobic Powerと400m走記録との間に有意な相関関係を認めた研究の多くは、被験者の走力レベルの偏差が大きく、走パフォーマンスの差を生み出す決定因子について厳密に検討することは難しいと考えられる。

そこで本研究では、400mの走力が同レベルで異なる種目を専門とする被験者を用いて、漸増負荷による間欠的なランニングテストを行い、血中乳酸動態から推定されるAnaerobic powerの種目特性や400m走記録との関係について明らかにし、400m走能力を反映したAnaerobic powerの新しい評価法を考え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、短距離を専門とする選手4名(Sprinter, 年齢19.0±1.4歳, 身長170.9±2.1cm, 体重64.2±5.7kg)、中距離を専門とする選手4名(Middle distance, 年齢21.0±1.6歳, 身長177.4±5.3cm, 体重64.8±2.0kg)、十種競技を専門とする選手4名(Decathlete, 年齢21.0±0.8歳, 身長178.8±4.5cm, 体重68.5±5.2kg)の計12名であった。被験者の競技成績(400m走記録)についてはTable 1に示した。400m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、手動計時による記録は0.14秒を加算し電気計時に換算した。

*¹日本体育協会スポーツ科学研究所

*²青山学院大非常勤講師

*³筑波大学

2.2 測定方法

2.2.1 Maximal Anaerobic Running Test (MART) について

Fig. 1は, Rusko et al.(1993)の推奨する 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3 mM以上にあがらない速度として25m/minを採用し, 以後 Exhaustionに至るまで25m/minずつ増加させた。

2.2.2 算出する各パラメータについて

本実験のランニング・パフォーマンスとして用

いる総走行時間 (Total running time : TRT) 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秒+20秒完走セット数(2セット目以降)×11秒+exhaustionセットの走行時間-9秒

例えば, 9セット目の10秒で exhaustionした場合, 20秒+7回×11秒+10秒-9秒=98秒となる。

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。

$$VO_2 = 0.2v + 0.9 \text{grade} \cdot v + 3.5$$

VO₂=酸素需要量 (ml/kg/min), v=ランニング・スピード (m/min), grade=トレッドミルの傾斜(tangent, 傾斜4°の場合は0.0875), 3.5=安静時の酸素摂取量 (ml/kg/min)

血中乳酸濃度3mmol/l, 5mmol/l, 7mmol/l時における酸素需要量 (P_{3mM}, P_{5mM}, P_{7mM}) およ

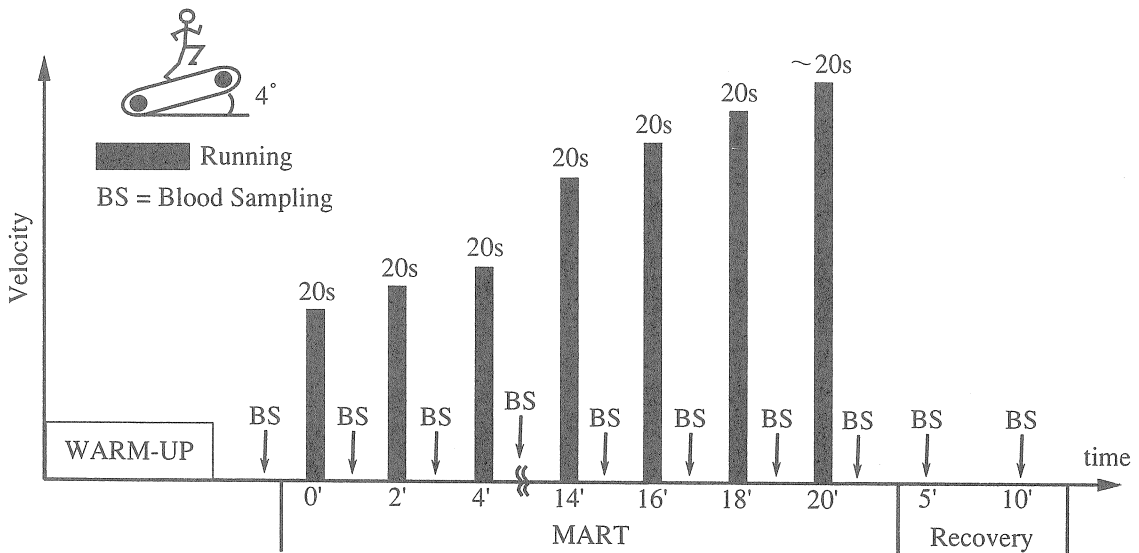


Fig. 1 Schematic presentation of the MART protocol.

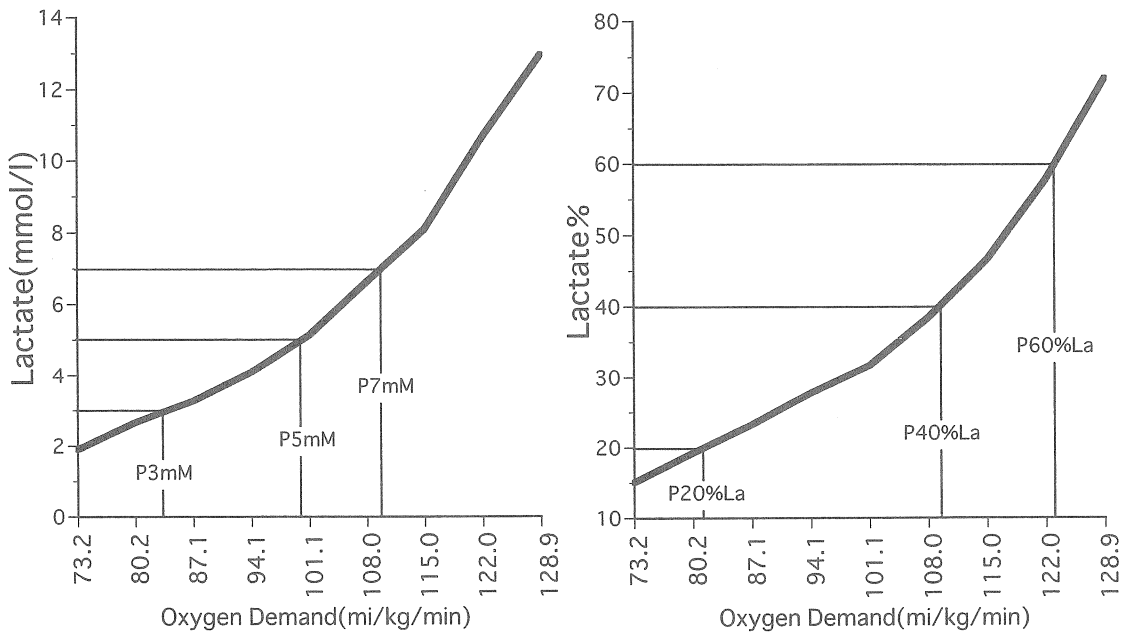


Fig. 2 Determination of P3, 5, 7mM and P20, 40, 60% La.

び PBl_a を100%としたときの20%, 40%, 60%の血中乳酸値における酸素需要量 (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 (Fig. 2) ことにより算出した。

2.2.3 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。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%を採用した。

III. 結 果

Fig. 3は, MART中の血中乳酸動態を3種目間で比較したものである。Sprinterは, 安静時から速度増加中および終了後のPBl_aにおいて3種目間で最も血中乳酸値が高かった。Decathleteは, 安静時からMART中盤 (~350m/min) までは

Sprinterよりも低く抑えられていたが, その後最大負荷に近づくにつれてSprinterとほぼ同様の値を示した。終了後のPBl_aにおいては2番目に高い値を示した。Middle distanceは, 安静時から速度増加中および終了後のPBl_aにおいて3種目間で最も血中乳酸値が低かった。

Table 1は, Sprinter, Decathlete, Middle distanceにおける, 各パラメータの平均値と標準偏差および3群間の有意差, 400m記録との相関係数を示したものである。分散分析の結果, PBl_a, P3mM, P5mMにおいて条件(種目別)の要因は有意であることが認められ, 多重比較の結果, PBl_a, P3mM, P5mMにおいてSprinterとMiddle distanceとの間に有意な差が認められた。また, 400m記録と有意な相関関係が認められたのはTRT ($r = -0.662$, $P < 0.05$) とP60%La ($r = -0.652$, $P < 0.05$)であった。

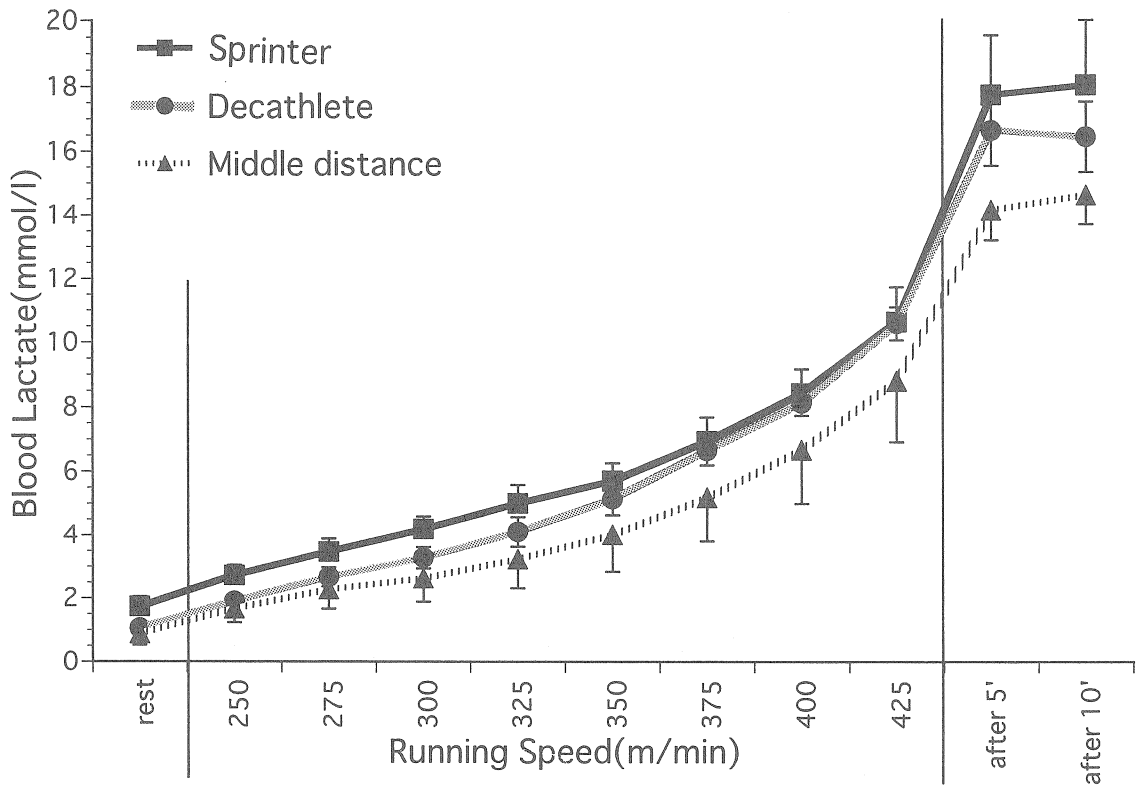


Fig. 3 Average blood lactate curve of Sprinter, Decathlete and Middle distance.

Table 1 Results of the MART in various group, and relationships with 400m running time

		Sprinter(n=4)	Decathlete(n=4)	Middle distance(n=4)	ANOVA	R with 400m
400m running time	(sec)	49.60 ± 0.68	49.66 ± 0.21	50.09 ± 0.87	p=0.5318	—
TRT	(sec)	110.3 ± 5.3	104.0 ± 5.0	106.3 ± 7.2	p=0.3610	-0.662 *
PBLa	(mmol/l)	18.0 ± 2.0	16.6 ± 1.2	14.6 ± 0.9	p=0.0245 ^a	-0.492
MART-Power	P3mM	75.9 ± 3.9	83.9 ± 3.7	92.0 ± 9.5	p=0.0173 ^b	0.060
	(ml/kg/min) P5mM	95.2 ± 4.1	100.7 ± 3.7	107.3 ± 7.3	p=0.0307 ^c	0.148
	P7mM	109.3 ± 2.2	109.7 ± 2.0	116.0 ± 6.2	p=0.0744	-0.021
	P20%La	81.4 ± 3.3	87.3 ± 3.0	91.2 ± 8.7	p=0.1005	-0.180
	P40%La	109.4 ± 3.9	108.1 ± 0.5	111.6 ± 6.5	p=0.5526	-0.373
	P60%La	123.2 ± 4.2	120.3 ± 2.7	122.1 ± 5.5	p=0.6256	-0.652 *

a:Sprinter>Middle distance(p<0.01); b:Middle distance>Sprinter(p<0.01); c:Middle distance>Sprinter(p<0.05)

R: correlation coefficient *p<0.05

IV. 考 察

TRTと400m走記録との間に有意な相関関係が認められたことから、MARTが平地での400m走能力を反映し得るテストであるといえる。また、分散分析の結果、400m走記録およびTRTにおいて種目間に有意差が見られなかったことから、本研究の被験者が400m走においてほぼ同等の走力を有しているといえる。

4.1 種目間の比較

主に乳酸を産生する筋においても、筋線維タイプにより代謝が異なり、FTタイプでは解糖系酵素活性が高く乳酸産生に傾き、STタイプでは酸化能力が高く乳酸の産生が低いことが報告されている (Baldwin, 1972; Madureira, 1988)。また、勝田ら (1986) は、大学陸上選手を対象に筋バイオプシー法を用いて外側広筋の筋線維組成を調べ、FT線維の占める割合が最も高いのは短距離であり、以下中距離、長距離の順であったことを報告している。本研究において、Sprinterは安静時から終了後までの血中乳酸値が最も高く、Middle distanceが最も低かったこと (Fig. 1) や、この2群間において、PB1a, P3mM, P5mMで有意差が認められたこと (Table 1) は、もちろん本研究の結果からは選手の筋線維組成にまで言及する事はできないが、血中乳酸動態が筋線維組成に影響を受けるという先行研究の結果を支持するものであると考えられる。また、Decathleteは、最大下負荷時の血中乳酸動態およびPB1aにおいてSprinterとMiddle distanceの間で推移していた (Fig. 1)。この結果は、1500mを含む10種目を2日間でこなす種目であり、3群間の比較において中間的なトレーニングを行っていると考えられるDecathleteの特性を反映したものであるといえるだろう。実験設定が、トラックでの走行とは異なる条件であるとはいえ、DecathleteがSprinterに比べて、1500mの疾走速度 (4名の平均記録は4'32"7 : 330m/min程度) に匹敵するくらいまで血中乳酸値を低く抑えられていたというのも興味深い。

麻場ら (1990) は、大学短距離選手の外側広筋のFT線維占有率、FT線維面積占有率と短距離

疾走能力との間に有意な相関関係が認められなかったことを報告し、FT線維の多いことは短距離選手にとって必要条件ではあるが、十分条件にはなり得ないとしている。さらに、FT線維を取り囲む毛細血管数が、持久疾走能力に大きく影響することをあげ、筋毛細血管数が増大が期待できるようなトレーニングの重要性を示唆している。また、尾縣ら (1998b) は、全力疾走速度に対する筋疲労時疾走速度の割合と下肢関節の筋持久性、最大酸素摂取量との間に有意な正の相関関係が認められたことを示し、短距離走 (特に400m走) においての有酸素能力の重要性を示唆している。Fig. 1にみられるような血中乳酸動態の種目間の差は、パフォーマンス (400m記録) を最適化するためのエネルギー供給系への依存度が、選手の筋線維組成や代謝能力によって異なるということを示していると推察される。

4.2 各パラメータと400m走記録との関係

400m走記録と走行後の最高血中乳酸値との間に有意な負の相関があるという報告は数多くみられる (Berg et al., 1985; Fujitsuka et al., 1982; Lacour et al., 1990; Nummela, 1992; Ohkuwa et al., 1984; Mero et al., 1993)。また、森丘ら (1998) は、陸上混成選手を対象にMARTを行い、PB1aと400m走記録との間に有意な負の相関が認められたことを報告している。しかし、その一方で400m走記録と走行後の最高血中乳酸値との間には有意な負の相関がみられない (尾縣ら, 1998a)、あるいは正の相関がみられた (Nummela et al., 1996a) といった報告もあり、統一した見解は得られていない。本研究では、400m走能力の差は小さいが、生理学的特性やトレーニング内容が大きく異なると考えられる3群間の比較を行っており、PB1aおよびP3,5,7mM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は十分予想できる結果であった。

そこで本研究では、PB1aを100%としたときの相対的 (20%, 40%, 60%) な血中乳酸値時のAnaerobic powerを算出し、400m走記録との関係について検討した。この指標は、最大下負荷時の血中乳酸値が低下すること、PB1aが高まるこ

と、あるいはその両方の適応により改善されることになる。すなわち、有気的能力に代表される血中乳酸の産生を抑える、あるいは利用、除去する能力と、Anaerobic capacity の評価指標とされる exhaustion 時（後）に血中乳酸を「出す」能力とを合わせた評価指標であると考えられる。この最高血中乳酸値を基準とした相対的な指標のなかで、P%60La と 400m 走記録との間に有意な相関関係が認められたことは、PBla を基準とした相対値による評価（特に P%60La）が、選手の生理学的特性をある程度考慮した上で、400m 走のパフォーマンスに影響を与え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考えられる。

また、本研究においては、exhaustion 直後の乳酸値で 10mmol/l を超えなかった被験者がいたため、400m 走における重要な決定要因の 1 つになり得るとされている P10mM (Nummela et al., 1996 a; Rusko et al., 1993) を算出して比較することができなかった。しかしながら、PBla の 60% 値は、Sprinter で 10.8 ± 1.2 mmol/l, Decathlete で 10.0 ± 0.7 mmol/l, Middle distance で 8.8 ± 0.5 mmol/l であり、先行研究同様 10mmol/l 程度のレベルでの発揮パワーが大きいことが重要であることが示されたといえる。

血中乳酸値は、産生と除去のバランスによって決まり、それは前日の食事などにも影響を受けるといわれており、個人間での比較は難しいといわれている。また、走パフォーマンスを決定する因子には、生理学的な条件だけでなく、技術的な条件も大きく関わっていることは疑いもない。しかしながら、本研究の結果から、最大乳酸値を基準とした相対値で評価する方法（特に P%60La）が、選手の生理学的特性をある程度考慮した上で、400m 走のパフォーマンスに影響を与え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考えられる。

V. 要 約

本研究の目的は、同程度の記録（400m 走）を有する短距離、中距離および十種競技選手を対象に間欠的なランニングテストを行い、血中乳酸動態から推定される Anaerobic power と 400m 記録と

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) MART のパフォーマンスである TRT と 400m 走記録との間に有意な相関関係が認められた。
- 2) Sprinter は、安静時から速度増加中および終了後の PBla において 3 種目間で最も血中乳酸値が高く、Middle distance は最も低かった。Decathlete は、安静時から MART 中盤までは Sprinter よりも低く抑えられていたが、最大負荷に近づくにつれて Sprinter とほぼ同様の値を示し、PBla は Sprinter よりも低かった。
- 3) PBla, P3mM, P5mM において Sprinter と Middle distance との間に有意な差が認められた。
- 4) 400m 走記録と P60%La との間に有意な相関関係 ($r = -0.652$, $P < 0.05$) が認められた。

以上のことから、MART が 400m 走能力を反映するテストであるということ、また、P%60La を 400m 走記録に影響を与える指標の一つとして用いることのできる可能性が示唆された。

VI. 文 献

- American College of Sports Medicine (1995) ACSM's Guidelines for exercise testing and prescription. 5th ed. Philadelphia, Williams & Wilkins: pp. 277-279.
- 麻場一徳, 勝田茂, 高松薫, 宮下憲 (1990) スプリンターの疾走能力と外側広筋の筋線維組成および筋毛細血管分布との関係. 体育学研究 35: 253-260.
- 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.
- Hatta, H. (1990) Oxidative removal of lactate after strenuous exercise. Ann. Physiol. Anthropol. 9: 213-218.
- 八田秀雄 (1991) 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, 41, 305-310.

- Hermansen, L. (1981) Muscular fatigue during maximal exercise of short duration. *Physiological chemistry of exercise and training*. Basel: Karger, 42-52.
- Hirvonen, J., Nummela, A., Rusko, H., Rehunens, S and Haerkoenen, M. (1992) Fatigue and changes of ATP, creatine phosphate, and lactate during the 400-m sprint. *Can. J. Sport Sci.* 17: 141-144.
- 勝田茂, 宮田浩文, 麻場一徳, 土肥徳秀 (1986) ニードルバイオプ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* 9: 175-180.
- Lacour, J. R., Bouvat, E. and Barthelemy, J. C. (1990) 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.* 89A: 693-698.
- 森丘保典, 持田尚, 伊藤静夫, 原孝子, 内丸仁, 雨宮輝也 (1998) 間欠的ランニングテストによるアネロビック・パワーの測定 —陸上競技混成選手への応用—. *日本体育学会第49回大会号*, 267.
- Nummela, A., Tuorimaa, T. and Rusko, H. (1992) Changes in force production, blood lactate and EMG activity in the 400-m sprint. *J Sports Sci.* 10: 217-228.
- Nummela, A., Mero, A., Stray-Gundersen, J. and Rusko, H. (1996a) Important Determinants of Anaerobic Running Performance in Male Athletes and Non-Athletes. *Int. J. Sports Med.* 17: 91-96
- Nummela, A., Andersson, N., Hakkinen, K. and Rusko, H. (1996b) Effects of Inclination on the Result of the Maximal Anaerobic Running Test. *Int. J. Sports Med.* 17: 103-108
- 尾縣貢, 福島洋樹, 大山圭悟, 安井年文, 鍋倉賢治, 宮下憲, 関岡康雄, 永井純 (1998a) 下肢の筋持久性と400m走中の疾走速度遅減との関係. *体育学研究* 42: 370-379.
- 尾縣貢, 福島洋樹, 大山圭悟, 安井年文, 関岡康雄 (1998b) 筋疲労時の疾走能力と体力的要因との関係. *体力科学*, 47, 535-542
- 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
- 和田正信, 勝田茂 (1988) 筋線維タイプからみたスポーツ・パフォーマンス. *Jpn. J Sports Sci.* 8: 62-68.

