

夏季・冬季持久系種目の大学生アスリートにおける最大及び最大下運動能力

Maximal and sub-maximal running performance of athletes in summer and winter endurance sports

熊川大介*, 上原広太**, 角田直也*, 平塚和也**, 横沢翔平**
古田仁志*, 和田貴広*, 田中力*, 鈴木桂治*, 亀山歩*

Daisuke KUMAGAWA*, Kota UEHARA**, Naoya TSUNODA*, Kazuya HIRATSUKA**
Syohei YOKOZAWA**, Hitoshi FURUTA*, Takahiro WADA*, Chikara TANAKA*
Keiji SUZUKI* and Ayumi KAMEYAMA*

プロジェクト研究課題：

アスリートの競技能力と生理学的応答の関係における多角的評価

プロジェクト研究の概要：

本プロジェクトでは、大学生世代のアスリートを対象として、①各競技種目に求められる運動強度を生理学的指標を用いて定量化すること、②運動負荷試験を実施し各競技及び性に応じたトレーニング強度について検討した。本年度は、夏季、冬季の記録系種目における大学生アスリートの最大及び最大下運動能力を定量化し、各種目の至適トレーニング強度を横断的に比較した。本報では、その成果について報告する。

I. 緒言

アスリートの競技力向上には各種目の運動強度を捉えるとともに個々の体力レベルに応じたトレ

ーニング強度の示唆が不可欠となる。各競技種目の運動強度やアスリートの至適トレーニング強度は運動負荷試験等を実施して得られる生理学的指標を用いることで評価が可能である。この中で、最大運動能力の指標として用いられる最大酸素摂取量 (VO₂max) は、有酸素性機構による運動能力の指標とされており、アスリートのみならず一般人のトレーニング強度を決定する際に幅広く利用されている。また、最大下運動が主体となる持久系アスリートにおいては、AT (Anaerobic threshold: 無酸素性作業閾値)、VT (Ventilation threshold: 換気性閾値)、LT (Lactate threshold)、OBLA (Onset of Blood Lactate Accumulation) といった、エネルギー供給機構の変化が見られる強度での運動能力によって評価されるケースが多い。これまでに、アスリートを対象としてその生理学的特性を明らかにした先行研究は数多く存在する^{2) 5) 6) 7) 9) 11) 15) 16) 17) 18) 22)}。例えば、陸上800m走者における生理学的特性を明らかにした先行研究によると、800m走者は長距離走者と比較して短距離の要素 (無気的能力) が優れること

* 国士舘大学体育学部 (Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

** 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Graduate School of Sport System, Kokushikan University)

や400m走者に比べ長距離的要素（有気的能力）が優れている事が明らかにされている。また、同じ中距離種目である1500m走者と比較した先行研究では、Peak lactateを基準に算出した評価指標が800m走者と異なる事を報告している⁹⁾。さらに森丘ら^{9) 10)}は同種目においても、生理学的特性や筋繊維組織が異なる事を報告していることから、専門種目以外に兼ねて実施している種目の影響により、生理学的特性の違いも大きくなる事が予想される。これらの報告を考え合わせると、競技時間から貢献度が高まるエネルギー供給機構を勘案してトレーニング様式や運動強度を設定するのではなく、定期的なフィットネスチェックによる生理学的指標を基に種目及び個人に応じたトレーニングプログラムを立案することの重要性が再確認できる。さらに、サブトップ層の多くを占める大学生アスリートは、限られた時間の中で確実に成果が上がるトレーニングを実施する必要がある、そのためには漸進性および個別性の原則に従い客観的な指標に基づいたトレーニング計画の立案が必須であるとともに、それをサポートする体制が重要な課題となる。

本研究では、冬季、夏季種目における持久系種目の大学生アスリートにおける最大および最大下運動能力を明らかにすることで、各競技種目の至適トレーニング強度を提供することを目的とした。

Ⅱ. 方 法

1) 被検者

被検者は、大学陸上競技部に所属する400m走を主に専門としている選手8名、800m走を主に専門としている選手5名、長距離選手6名およびクロスカントリースキー選手10名の計29名を対象とした。全被検者は、年間を通じて専門種目のトレーニングを行っており、測定前のシーズンにおいて公式記録会に参加していた。

本研究では、各被検者が得意としている専門種目を調査し、宮下⁸⁾の示す運動時間とエネルギー供給機構の貢献度を参考にして400mおよび800m選手を中距離選手、それ以上の運動時間を要する種目を長距離選手と定義した。各群における被検者数及び身体的特性は平均値と標準偏差値でTable 1に示した。なお、本研究の測定は9月から11月にかけて行った。全ての被検者には、研究の目的及び内容等について十分説明し、本研究への任意による参加の同意を得た。また本研究は、所属機関の倫理審査委員会の承認を得て行われた。

2) 最大及び最大下運動能力の測定

本研究では、トレッドミルを使用して間欠的漸増負荷テストを行い、酸素摂取量（VO₂）と血中乳酸濃度（La）、心拍数（HR）を測定した。間欠

Table 1. 被験者の年齢及び身体的特性

種目	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Fat (%)	Fat free mass (kg)
400m	19.8 ± 1.0	177.3 ± 3.6	68.8 ± 3.5	9.7 ± 1.5	62.2 ± 2.8
800m	20.5 ± 1.4	173.1 ± 4.7	61.5 ± 6.0	9.1 ± 4.0	55.8 ± 3.7
長距離	20.0 ± 1.0	168.3 ± 4.0	55.4 ± 2.9	7.1 ± 2.6	51.5 ± 2.1
クロカン	20.2 ± 1.6	172.0 ± 5.2	63.4 ± 5.5	11.3 ± 1.6	56.3 ± 4.6
Mean ± SD					

的漸増負荷テストの方法は、1ステージ目の180m/minから3分毎に30m/minずつ（330m/min以降は10m/minずつ）、1分間のインターバルをはさみながら増加させ、オールアウト（走速度を維持できなくなった時点）まで走運動を行った。なお、本研究ではオールアウトに至ったステージは1分以上運動を継続できたステージを採用した。即ち、最終セットの運動時間が1分以内の場合は、前ステージ終了時をオールアウトとみなした。VO₂の測定には自動呼気ガス分析器（SE310-S、ミナト医科学社製）を使用し、EXPモードにて測定が終了するまで連続的に呼気ガスデータをサンプリングした。そして、オールアウトステージで得られたVO₂の終末30秒の平均値をVO₂maxとし、これを被検者の体重で序した値（VO₂max/BW）を最大運動能力の指標として採用した。HRの計測には、Polar FT4（POLAR社製）を使用し連続的に心拍数を記録した。Laの計測には、簡易血中乳酸測定器（Lactate Pro2、ARKRAY社）を用い、指先から血液を採取し測定した。HR及びLaの測定は漸増負荷テスト開始直前、各ステージ終了直後及びオールアウト直後にそれぞれ実施した。また、各ステージの走速度とLaおよびHRから最小二乗法を用いてそれぞれ回帰直線の式を算出し、その式から血中乳酸濃度が2mmol/lとな

る強度を乳酸性作業閾値（Lactate Threshold：LT）及び4mmol/l時をOnset of Blood Lactate Accumulation（OBLA）とし、両地点における走速度（それぞれV@2mM、V@4mM）および心拍数（それぞれHR@2mM、HR@4mM）を算出した。

3) 統計処理

本研究における全ての測定値を平均値±標準偏差（SD）によって示した。また、各専門種目間の有意差検定は、多重比較検定により行った。統計処理の有意性は危険率5%未満で判定した。

Ⅲ. 結果と論議

1) 最大運動能力

Fig.1は、各種目におけるVO₂max/BWを示したものである。VO₂max/BWの平均値は、400m選手が60.3ml/min/kg、800m選手が61.1ml/min/kg、長距離選手が76.6ml/min/kg、クロスカントリー選手が62.3ml/min/kgであり、長距離選手が他のグループに比べて有意に高い値を示した。本研究における長距離選手の値は、先行研究²³⁾で報告されている日本人シニア長距離選手の値（76.3±2.4 ml/min/kg）と比較するとほぼ同程

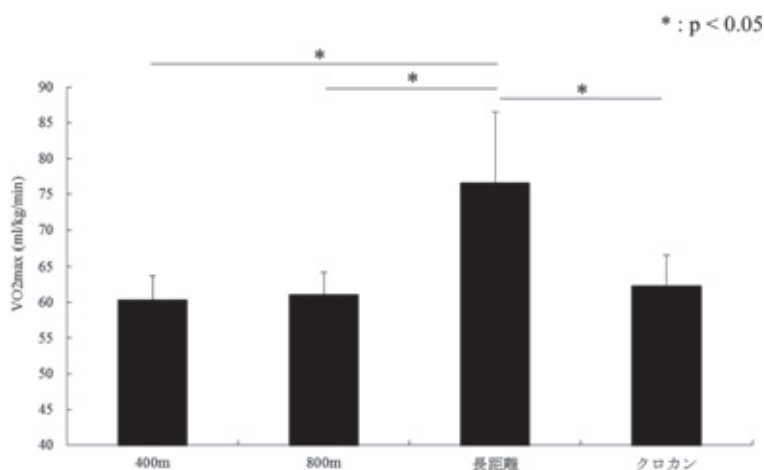


Fig.1 体重1kgあたりの最大酸素摂取量の比較

度であった。吉岡ら²³⁾の被検者は、10,000m走における自己最高記録の平均が29分17秒台であることから、本研究の長距離選手における有酸素性作業能力は国内シニア選手レベルと判断することができる。しかし、Fig.1に示されるとおり、長距離選手におけるVO₂max/BWの標準偏差は10.0と大きい値を示しており、世界トップレベル選手の80.8 ml/min/kg²³⁾を上回る選手が2名いる反面、本研究の中距離選手と同程度（70.0ml/min/kg以下）の選手も2名含まれていた。このことから、大学生陸上長距離選手は同一種目内にもかかわらず有酸素性作業能力が高い選手と低い選手が混在する集団であることが考えられる。また、本研究の中距離選手におけるVO₂max/BWは、400m選手が60.3ml/min/kg、800m選手が61.1ml/min/kgであり、この値は国内シニア一流選手（陸上中距離選手、68.0±5.4ml/min/kg）⁴⁾に比べると10.1%～11.3%低い値であり、またRusko et al.¹⁴⁾の先行研究におけるトレッドミル走で評価した世界一流選手の値（78.1ml/min/kg）と比較すると21.8%～22.8%低く、さらに国内中学生地方大会の800m、2000m競争入賞者の平均値（60.8ml/min/kg）¹²⁾とほぼ同程度であった。それぞれ評価に用いた機器や測定プロトコルは異なるが、これらの先行研究と比較すると、本研究の400m、800m選手の有酸素性作業能力は決して高いものとはいえない。大学生期におけるVO₂max/BWの発達について、山地ら²¹⁾の報告では、1年次から4年次にかけて、2～3%増加することが明らかにされていることから、陸上中距離選手においても有酸素エネルギーの増大は大学生期のトレーニングとしては重要であると考えられる。

一方、クロスカントリースキー選手のVO₂max/BWについては、これまでに数多くの先行研究でその重要性が指摘されている。その背景としては、クロスカントリースキーにおけるほとんどのエネルギー代謝が有酸素性過程によってまかなわれており¹⁾、高い酸素需要のために一流選手の筋は高い酸化系酵素活性を有していることに依存する²⁵⁾。

Bergh³⁾の報告では、国際レベルの男子選手におけるVO₂max/BWは83.8±6.4ml/min/kgであることが報告されており、さらに我が国における一流男子選手の平均値は78.3±7.3ml/min/kgに達する⁴⁾。本研究におけるクロスカントリースキー選手のVO₂max/BWは62.3ml/min/kgであり、陸上の400m、800m選手との間に有意な差は認められなかった。このように大学生クロスカントリースキー選手は一流選手と比較すると有酸素性作業能力は低いことが考えられる。その要因として、今回はランニングによる間欠的漸増負荷テストを用いた影響が挙げられる。走動作に比べて活動筋の参加が増えるスケーティング動作では酸素需要量がより高まることが予想されるため、競技能力と関連付けて考えるのであればクロスカントリースキー選手のVO₂max/BW測定はスケーティング動作で行うことが望ましいといえる。いずれにしても、本研究では大学生クロスカントリースキー選手における走動作で測定したVO₂max/BWは陸上中距離選手とほぼ同程度であることが明らかになった。

2) 最大下運動能力

本研究では、最大下運動能力の指標として乳酸カーブテストを実施し、血中乳酸濃度が2 mmol/lとなる乳酸性作業閾値及び4mmol/l時の走速度および心拍数を各専門種目間で比較した。Fig 2は、各種目における1ステージごとの血中乳酸濃度を示したものである。各ステージにおけるLacは長距離選手<クロスカントリースキー選手<800m選手<400m選手の順に高い値を示し、走速度180 m/minから330m/minにおける400mと長距離選手間、180m/minから330m/minにおける400mとクロスカントリースキー選手間、270m/minから340m/minにおけるクロスカントリースキー選手と長距離選手間にそれぞれ有意な差が認められた。一方、800m選手とクロスカントリースキー選手においてはいずれの走速度においても有意な差は認められなかった。さらにFig.3では、血中乳酸濃度

が2mmol/時及び4mmol/時における走速度を各競技種目間で比較した。その結果、V@2mM及びV@4mMのいずれの項目においても長距離選手が他の3群に比較して有意に高い値を示した。このことは、長距離選手はOBLA以下の最大下運動における走パフォーマンスに優れ、乳酸を蓄積させずにより速いスピードで走れることを意味してい

る。最大及び最大下強度で発揮されるパワーや走速度の重要性についてはこれまでに多くの研究が行われており、陸上長距離選手は、VO₂max^{18) 20)}、や無酸素性代謝閾値^{13) 19)}などの有酸素性作業能力が優れることが明らかにされている。本研究における長距離選手の特徴は、これらの先行研究ともほぼ一致する結果となった。さらに、先のクロス

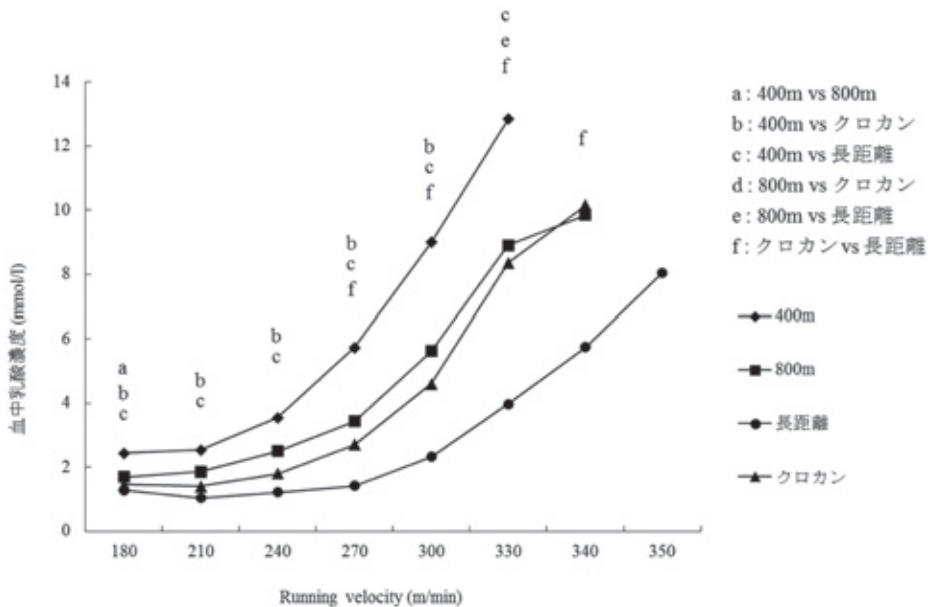


Fig.2 各競技種目におけるステージ毎の血中酸値の比較

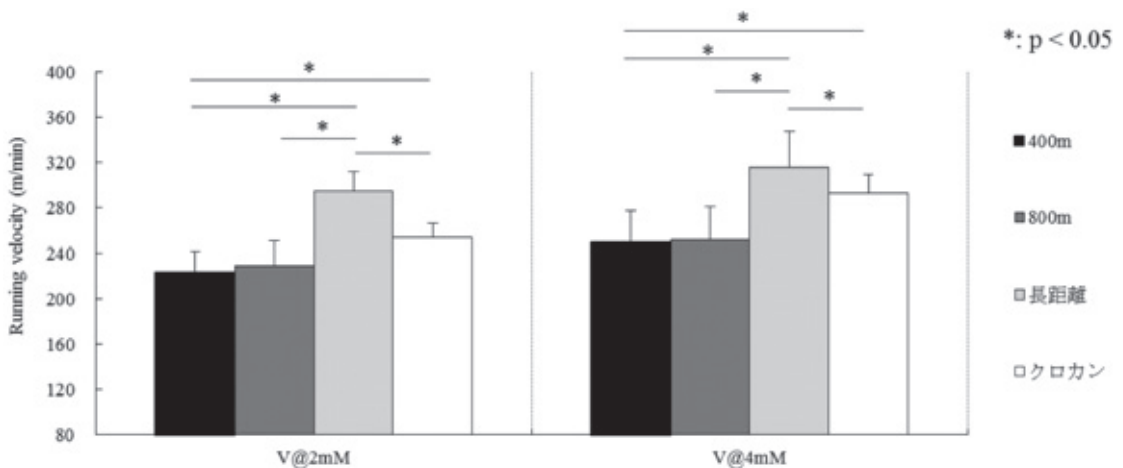


Fig.3 各競技種目におけるV@2mM及びV@4mMの比較

カントリースキー選手のVO₂max/BWにおいては中距離選手と間に有意差は認められなかったが、V@2mM及びV@4mMは400m選手に比べて有意に高い値を示した。一方、Fig.4ではHR@2mM及びHR@4mMについて各群で比較したが、いずれも競技種目間に有意な差は認められなかった。したがって、クロスカントリースキー選手は最大下運動において有酸素性代謝によってATPを獲得することで生み出される走パワーが陸上中距離選手よりも優れることが考えられるが、心拍数はほぼ同程度であることが明らかになった。LTやOBLAは、体循環等の中枢の持久性よりもむしろ筋組織での酸化能力をより反映しており、おもに末梢での持久能力の指標となる²⁴⁾。従って、本研究で対象とした夏季・冬季の持久系アスリートのように活動筋での持久能力が異なるアスリートのトレーニングは、LT及びOBLA時における走速度及び心拍数の両指標によって強度を管理することの必要性を再確認することができる。

IV. 要 約

本研究では、冬季、夏季種目における持久系種目の大学生アスリートにおける最大および最大下

運動能力を明らかにすることで、各競技種目の至適トレーニング強度を決定する方法について検討した。

その結果は以下のとおりであった。

- 1) VO₂max/BWは長距離選手が著しく高く、クロスカントリースキー選手と陸上中距離選手とはほぼ同程度であることが明らかになった。
- 2) 血中乳酸濃度が2mmol/時及び4mmol/時における走速度は長距離選手が他の3群に比較して有意に高い値を示した。このことは、長距離選手はOBLA以下の最大下運動における走パフォーマンスに優れ、乳酸を蓄積させずにより速いスピードで走れることが明らかになった。
- 3) クロスカントリースキー選手は最大下運動における走速度が陸上中距離選手よりも優れるが、血中乳酸濃度が2mmol/時及び4mmol/時における心拍数はほぼ同程度であることが明らかになった。

本研究は、国土舘大学体育学部附属体育学研究所の2018年度研究助成によって実施した。

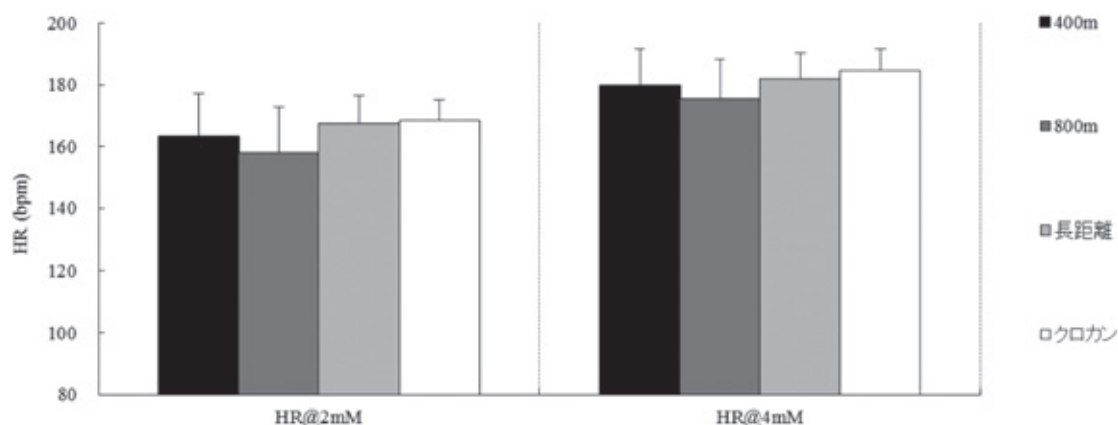


Fig.4 各競技種目におけるHR@2mM及びHR@4mMの比較

参考文献

- 1) Astrand PO, Rodahl K. (1986), Textbook of work physiology, New York : McGraw-Hill
- 2) Baldwin, K.M., Klinkerfuss, G.H., Terjng, 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
- 3) Bergh U. (1987), The influence of body mass in cross-country skiing. *Sci Sports Exerc.* 19, 324-331
- 4) 国立スポーツ科学センター 形態・体力測定データ集2010, (2012), 独立行政法人日本スポーツ振興センター国立スポーツ科学センター
- 5) 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 race. *Eur.J.Appl.Physiol.* 61 : 172-176.
- 6) Madureira, G. and Hasson-Voloch.A. (1988), Lactate utilization and influx in resting working rat red muscle. *Comp.Biochem.physiology.* 89A, 693-698
- 7) McKenzie, D.C., Parhouse, W.A. and Hearst, W. E. Anaerobic (1982), Performance characteristics of elite Canadian 800 meter runners. *Can.J.Appl. Sports Sci.*, 7, 158-160
- 8) 宮下充正, (1993), トレーニングの科学的基礎. ブックハウスHD, 40-42
- 9) 森丘保典, 伊藤静夫, 持田尚, 大庭恵一, 原孝子, 内丸仁, 青野博, 雨宮輝也 (2003), 間欠的な漸増負荷ランニング中の血中乳酸動態から推測されるパワーと400m走記録との関係. *体育学研究*, 48, 181-190
- 10) 森丘保典, 伊藤静夫, 大庭恵一, 原孝子, 内丸仁, 青野博, 雨宮輝也 (2003), 間欠的な漸増負荷走行中の血中乳酸動態から推測されるパワーと中距離走能力との関係. *体力科学*, 52, 285-294
- 11) 森丘保典, 品田貴恵子, 門野洋介, 青野博, 安住文子, 鍋倉賢治, 伊藤静夫 (2011), 陸上競技・中距離選手のトレーニング負荷の変化がパフォーマンスおよび生理学的指標に及ぼす影響について一走行距離と強度に注目して一. *コーチング学研究*, 24 (2), 153-162
- 12) 村瀬豊, 小林寛道, 宮下充正, (1973), 発育期にある陸上競技中・長距離優秀選手の有酸素的作業能, および長距離走行中の酸素摂取水準, 体育学研究, 17 (5), 269-275
- 13) Powers, S. K., Dodd, S., Denson, R., Byrd, R. & McKnight, T. (1983), Ventilatory threshold, running economy and distance running performance of trained athletes. *Res. Quart. Exerc. Sports*, 54, 179-182
- 14) Rusko H, Havu M, Karvinen E. (1978), Aerobic performance capacity in athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol* 38 (2), 151-159
- 15) Scott, C.B., Roby, F.B., Lohman, T.G. & Bunt, J.C (1991), The maximally accumulated oxygen deficit as indicator of anaerobic capacity. *Med. Sci. Sports Ex-erc.*, 23, 618-624
- 16) Schnabel, A. & Kindermann, W (1983), Assessment of anaerobic capacity in runners. *Eur.J.Appl. Phys-ion.*, 52, 42-46.
- 17) 佐伯徹郎, 鍋倉賢治, 高松薫 (1999), 漸増負荷テストにおける生理的反応から見た中距離走者と長距離走者の相違. *体力科学*, 48, 385-392
- 18) Svedenhag, J. & 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
- 19) Tanaka, K., Matsuura, Y., Matsuzaka, A., Hirakoba, K., Kumagai, S., Sun-O, S. & Asano, K. (1984), A longitudinal assessment of anaerobic threshold and distance running performance. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 16, 278-282
- 20) Taunton, J. E., Maron, H. & Wilkinson, J. G. (1981), Anaerobic performance in middle and long distance runners. *Can. J. Appl. Sports Sci.*, 6, 109-113
- 21) 山地啓司, 宮下充正 (1976), 3年間の全身持久性トレーニングが陸上中・長距離選手の呼吸・循環機能に及ぼす影響. *体育学研究*, 21 (4), 181-189
- 22) 山地啓司, 橋爪和夫, 遠山孝司 (2010), 中・長距離走の競技記録と体重のべき指数当りの最大酸素摂取量. *スポーツパフォーマンス研究*, 2 : 165-171
- 23) 吉岡利貢, 中垣浩平, 中村和照, 向井直樹, 鍋倉賢治 (2012), 世界トップレベルで活躍するケニア人長距離ランナーの 体力・形態特性, *体育学研究*, 57 : 237-248
- 24) 吉田敬義 (1993), 運動の指標としてのAT, LT, OBLAの持つ意味, *体力科学*, 42, 406-414
- 25) W.E.ギャレット Jr., D.T.カーケンダル, (2010), スポーツ運動科学—バイオメカニクスと生理学—, 西村書店, 731