

冬季持久系種目の大学生アスリートにおける最大及び 最大下運動能力の縦断変化

Longitudinal changes of the maximal and sub-maximal running performance and physiological responses in Japanese collegiate winter endurance athletes

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

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

ABSTRACT

This study investigated the longitudinal changes of the maximal and sub-maximal running performance and physiological responses during the summer season in Japanese collegiate cross-country skiers. Participants were 8 male Japanese male collegiate cross-country skiers. Subjects performed dry-land training, mainly running, for five months from spring to autumn. Their maximal and sub-maximal running performance was evaluated by incremental running tests, which consisted of a variable number of 3-min runs on a treadmill with 1-min rest periods between runs. Oxygen consumption (VO_2), blood lactate concentration (La), and heart rate (HR), were continuously measured. Then, the maximum values of VO_2 (VO_{2max}), La (La_{max}) and HR (HR_{max}) at all-out were recorded respectively. Running velocities and HR at La of 2 mmol and 4 mmol ($V@2mM$ and $V@4mM$, and $HR@2mM$ and $HR@4mM$, respectively) were calculated. Incremental running tests were performed before and after the dry-land training period.

The exercise duration and running speed at the all-out significantly improved. The HR_{max} decreased significantly from spring to autumn. The VO_{2max} normalized by body mass, and La_{max} did not change after dry-land training. The $V@2mM$ and $V@4mM$ observed in cross-country skiers were significantly increased after training. However, the $HR@2mM$ and $HR@4mM$ were significantly decreased after training.

These results suggested that the dry-land training that college student cross-

* 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)

country skiers conduct in the off-season was to improve the running duration, but did not change the VO_{2max} normalized by body mass. However, it was cleared that submaximal athletic ability such as lactate threshold and Onset of blood lactate accumulation was improved.

Key words: Collegiate winter endurance athletes, Physiological responses, Longitudinal changes

1. 緒 言

アスリートが競技会で最高のパフォーマンスを発揮するためには、ピリオダイゼーションの原理に基づいたトレーニング計画を立案することが不可欠となる。このうち、冬季系種目のアスリートにおける年間トレーニングは季節的制約を余儀なくされるため、基本的体力の向上を目的とした陸上トレーニング期と氷上や雪上で行うトレーニング期に大別することができる。一般的に、大学生における冬季系種目は冬季に集中的に競技会が開催され、10月から競技会シーズンに入り、3月から4月にかけてシーズンが終了する。そのため春期から秋期にかけて集中的な陸上トレーニングを実施し、基本的体力を高めた上で試合期に以降するケースが多く見受けられる。

持久系種目のアスリートにおける体力的特性に関する先行研究を概観すると、最大及び最大下強度での運動時に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報告で指摘されており、 VO_{2max} ^{8) 10)}、や無酸素性代謝閾値^{5) 9)}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。とりわけ、クロスカントリースキー選手の VO_{2max} は他の冬季系種目アスリートの比べて高い値を示している。例えば、Bergh²⁾の報告では、国際レベルの男子選手における体重あたりの VO_{2max} は $83.8 \pm 6.4 \text{ ml/min/kg}$ 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 $78.3 \pm 7.3 \text{ ml/min/kg}$ に達する³⁾。その要因としては、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という¹³⁾。

従って、クロスカントリースキー選手が陸上トレーニング期に高めるべき体力要素としては有酸素性機構による運動能力が挙げられ、これらの能力の変化を明らかにすることは陸上トレーニングを評価するうえで重要な資料になり得る。さらに、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が求められ、そのためには体力測定データに基づいた適切なトレーニング強度の設定が必須である。

そこで本研究では、大学生クロスカントリースキー選手に体力測定結果に基づく至適トレーニング強度を提供し、陸上トレーニング期の前後における最大および最大下運動能力の変化を明らかにすることを目的とした。

2. 方 法

1) 被検者

被検者は、大学生クロスカントリースキー選手8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。被検者の身体的特性は平均値と標準偏差値でTable 1に示した。なお、本研究の測定は競技会シーズン終了後の春期(5月)と競技会シーズン直前の秋期(10月)にそれぞれ実施した。春期の測定で得られた結果から、走トレーニングで使用するトレーニング強度の基準値をフィードバックし

Table 1. 被検者の年齢及び身体的特性

Test Date	Age (yrs)	Height (cm)	Weight (kg)	Fat (%)	Fat free mass (kg)
Spring (May)	19.5±1.4	172.1±5.5	62.4±4.3	10.3±3.1	55.7±4.0
Autumn (October)	19.9±1.6	171.8±5.5	62.5±4.6	10.8±1.3	55.7±3.8

Values are expressed as mean±SD

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、先行研究⁴⁾と同様の方法で、トレッドミルを使用して間欠的漸増負荷ランニングテストを行い酸素摂取量 (VO₂)、心拍数 (HR) 及び血中乳酸濃度 (La) を測定した。第1ステージの走速度は180m/minで行い、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速度を増加し、走速度を維持できなくなった時点 (オールアウト) 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、その時点の運動強度を最大運動強度とした。

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VO₂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として採用した。また、VO₂maxを被検者の体重で序した値 (VO₂max/BW) を算出した。HRの計測には、Polar FT4 (POLAR社製) を使用し各ステージにおける心拍数を記録した。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、オールアウトの3分

後から10分後にかけて継続的にLaを測定し、最も高い値を最高血中乳酸値 (La max) として採用した。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) と定義し、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) で示した。各測定値における春期と秋期における差の検定は対応のあるt-testを用いて行った。また、各測定項目に対する走速度と季節 (春期-秋期) の2要因における繰り返しありの二元配置分散分析を行い、要因に有意な主効果が認められた場合は多重比較検定により有意差検定を行った。本研究における統計処理の有意性は危険率5%未満で判定した。

3. 結果と論議

1) 最大運動能力の縦断変化

Table 2は、オールアウトに到達した運動時間、走速度、最大運動時の酸素摂取量、心拍数及び血中乳酸値を春期と秋期で比較したものである。運動時間の平均値は、春期 (23.8±2.2min) から秋期 (26.3±2.6min) にかけて著しい増加が認められた。また、オールアウト時における走速度も秋

Table 2. 運動時間及び最大運動時の酸素摂取量、心拍数、血中乳酸値の比較

Test Date	Exercise time (min)	V max (m/min)	VO2max (l/min)	VO2max (ml/kg/min)	HRmax (bpm)	Lac max (mmol)
Spring (May)	23.8±2.2 *	332.5±4.6 *	3.67±0.36	58.9±5.5	201.8±5.2 *	10.0±1.6
Autumn (October)	26.3±2.6	338.8±8.3	3.84±0.41	61.3±3.7	196.9±5.2	11.1±2.3

Values are expressed as mean±SD

* indicates significant difference between spring and autumn.

期 (338.8±8.3m/min) が春期 (332.5±4.6m/min) に比べて有意に高い値を示した。VO2max、VO2max/BW および La max はいずれも増加傾向がみられたが統計学的に有意な差は認められなかった。一方、HRmaxについてみると、春期 (23.8±2.2min) から秋期 (26.3±2.6min) にかけて有意に低下した。

VO2maxにおける変化の要因としては、まず体重の変動が挙げられる。しかしながら本研究の被検者は春期の体重が62.4±4.3kg、秋期が62.5±4.6kgであり、両者の間には有意な差は認められなかった (Table 1)。さらに全身筋量の指標である Fat free mass に関しても同様に季節間で有意な変化は認められなかった (Table 1)。従って、本研究の被検者における VO2max の変化は形態や筋量の影響を除外して考えることができ、主に呼吸循環器系の機能が改善された結果と推察することができる。事実、HRmax は春期から秋期にかけて24%の著しい低下が認められた。最大運動時における心拍数の低下は、心容積の拡大や心筋収縮力の同大に伴う一回拍出量の増加が要因の一つとして考えられる。一方、大学生陸上競技選手における VO2max の縦断的变化を明らかにした先行研究では、1年次から4年次の3年間で、体重あたりの VO2max が2~3%増加することが報告されている¹¹⁾。本研究の被検者における VO2max は春季-秋期間で有意に増加し、VO2max/BW では有意性が認められなかったものの約4.1%増加しており、陸上選手の変化に比べると短期間で大きな増加と考えることができる。これは、クロスカントリースキー選手の場合、年間を通じた体力の変化

が陸上選手に比べて大きい可能性を示しており、陸上トレーニング期と雪上トレーニング期が明確に分けられている冬季系種目特有の変化の可能性がある。一般的に、多くのスポーツ競技種目にはシーズン中とシーズンオフがあるためトレーニングの強度と量が年間を通じて一定ではない。そのトレーニング内容によって VO2max も季節によって変化することが知られている。Rusko et al⁶⁾ の報告によれば、フィンランドのクロスカントリースキー選手の場合には、シーズンオフの VO2max の値が6.3l/min (88.5ml/kg/min) であったものが、シーズンに入ると6.5l/min (92ml/kg/min) に増加している。一方、バスケットボールのような年間を通じて屋内で行うことができる競技種目では、シーズン中よりもシーズンオフに VO2max のピークが現れることも明らかにされている⁷⁾。これらのことを考え合わせると、VO2max に影響を及ぼす最大強度レベルの負荷をかけたトレーニングが実施される時期は競技種目に応じて大きく異なることが考えられ、本研究の大学生クロスカントリースキー選手はRusko et al⁶⁾ の報告における一流選手とほぼ同様にシーズンオフからインにかけて高強度トレーニングにシフトしてきた可能性が考えられる。

2) 最大下運動能力の縦断変化

Fig.1には、間欠的漸増負荷ランニングテスト中における各ステージの VO2、VO2/BW、HR、Lac を示した。VO2、VO2/BW は、第1ステージ (走速度180m/min) から第7ステージ (走速度340m/min) まで増加する傾向がみられたが、第

5ステージ300m/min以降で秋期が春期よりも高い値を示した。各ステージにおける走速度と季節(春期-秋期)の2要因における繰り返しありの二元配置分散分析の結果、VO₂、VO₂/BWは走速度における有意な主効果が認められたが、季節の主効果及び交互作用は認められなかった。また、HRに対する走速度及び季節における有意な主効果が認められたが、交互作用は認められなかった。HRは全てのステージで秋期の値が春期の値を下回り、

多重比較検定の結果、210m/minの走速度において有意な差異が認められた。Laについても全てのステージで秋期の値が春期よりも低い値を示し、走速度における有意な主効果が認められたが、季節による主効果及び交互作用は認められなかった。これらの結果から、最大下運動時における心拍数の低下と血中乳酸濃度の改善が考えられる。そこで、Fig.2では最大下運動能力の指標として、血中乳酸濃度が2mmol/l及び4mmol/l時の走速度および心

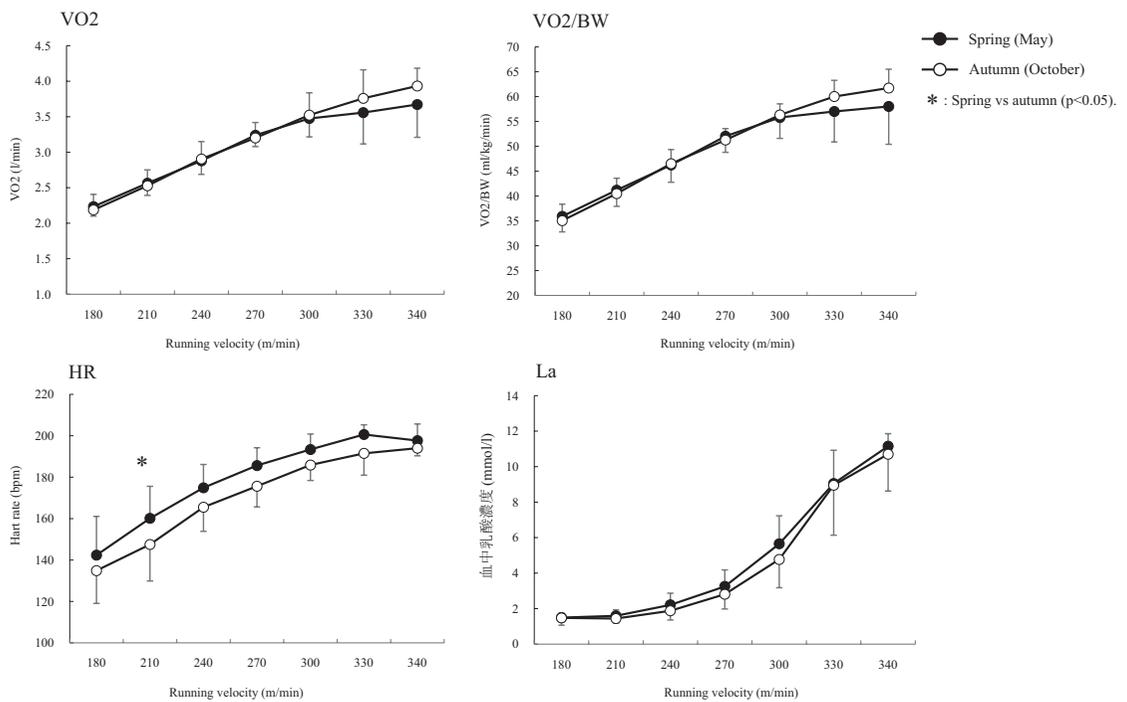


Fig.1 間欠的漸増負荷ランニングテスト中における各ステージのVO₂、HR、Lacの比較

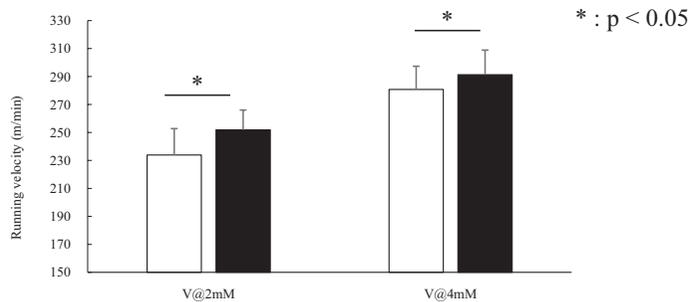


Fig.2 V@2mM及びV@4mMの比較

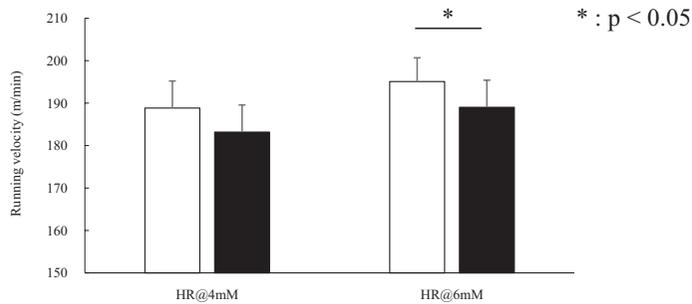


Fig.3 HR@2mM及びHR@4mMの比較

拍数を春期-秋期間で比較した。その結果、LT強度及びOBLA強度での走速度は、春期 (V@2mM: 233.9±18.8m/min、V@4mM: 280.7±16.6m/min) から秋期 (V@2mM: 251.8±14.2m/min、V@4mM: 291.3±17.6m/min) にかけて有意に増加した。また、血中乳酸濃度が2mmol/l及び4mmol/l時の心拍数 (Fig.3) は、HR@4mMにおいて秋期の値が春期に比べて有意に低い値を示した。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¹²⁾。本研究の結果から、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、陸上トレーニング期間に向上されたことが考えられる。さらに最大運動強度の結果も併せると、LT強度、OBLA強度及び最大強度の走パワーがいずれも向上することが確認できた。これは、本研究で対象とした被検者の陸上トレーニングは、低強度から最大強度にかけてのトレーニング刺激が適切にかけられていることが判断できる。本研究では、春期の測定で得られた結果から、陸上トレーニング期間に使用する至適トレーニング強度の基準値をフィードバックした。即ち、LT強度、OBLA強度及び最大強度に相当する走速度と心拍数を個人ごとに算出し、その強度での走トレーニングを5ヶ月間実施したことになる。従って本研究の結果から、トレーニングの個別性の原則及び特異性の原則に基づき、体力測定を実施したうえでトレーニング強度

を決定し実行していくことの重要性を再確認することができた。

4. 要 約

本研究では、大学生クロスカントリースキー選手に体力測定結果に基づく至適トレーニング強度を提供し、陸上トレーニング期の前後における最大および最大下運動能力の変化を調べた。

その結果は以下のとおりであった。

- 1) 大学クロスカントリースキー選手の陸上トレーニング期間 (春期から秋期) において、間欠的漸増負荷ランニングテスト時の運動時間、オールアウト時における走速度が著しく増加し、最大心拍数は低下することが明らかとなった。
- 2) 最大下運動能力として算出した血中乳酸濃度が2mmol/l及び4mmol/l時の走速度は春期から秋期にかけて有意に増加し、心拍数は著しく低下することが明らかになった。
- 3) 陸上トレーニング期間に使用する至適トレーニング強度の基準値を個人ごとに算出し提供することで最大運動及び最大下運動での走能力が著しく向上することが確認できた。

本研究は、国土舘大学体育学部附属体育学研究所の2019年度研究助成によって実施した。

参考文献

- 1) Astrand PO, Rodahl K. (1986), Textbook of work physiology. New York : McGraw-Hill
- 2) Bergh U. (1987), The influence of body mass in cross-country skiing. *Sci Sports Exerc*, 19, 324-331
- 3) 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
- 4) 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 (2019), 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, 国士舘大学体育研究所報, 37 : 83-89
- 5) Powers, S. K., Dodd, S., Denson, R., Byrd, R. & Mcknight, T. (1983). Ventilatory threshold, running economy and distance running performance of trained athletes. *Res. Q. Exerc. Sports*, 54, 179-182
- 6) Rusko H, Havu M, Karvinen E. (1978), Aerobic performance capacity in athletes. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol*. 38 (2), 151-159
- 7) Sinning W E (1973), Body composition, cardiorespiratory function, and rule changes in women's basketball. *Res. Quart.*, 44, 313-321
- 8) 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
- 9) 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
- 10) 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
- 11) 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
- 12) 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
- 13) 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