

大学生スピードスケート選手における最大及び最大下パワー発揮能力

Maximal and sub-maximal power output in university speed skaters

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*, 横沢 翔平**, 平野 智也**

Daisuke KUMAGAWA*, Naoya TSUNODA*, Hitoshi FURUTA*, Takahiro WADA*,
Chikara TANAKA*, Keiji SUZUKI*, Ayumi KAMEYAMA*
Shohei YOKOZAWA** and Tomoya HIRANO**

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における
競技横断的評価

プロジェクト研究の概要：

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。

本プロジェクト研究では、アスリートを対象として、各競技種目における運動強度を生理学的指標を用いて定量化するとともに、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することを目的とする。本年度は記録種目の中からスピードスケート選手を対象として運動強度別のパワー発揮能力を比較検討した。

1. 緒 言

スピードスケート競技は、500m から 10000m

(女子は5000m) までの種目が存在し、その運動時間は35秒前後から14分前後の範囲であることから、競技成績に対する無酸素性及び有酸素性パワー発揮能力の貢献度が種目によって異なる⁹⁾。このことは、競技力向上のための専門種目トレーニングは、無酸素性、有酸素性の比重を考慮して構成されなければならない事を示しており、そのトレーニングの結果として専門種目により異なる持久的運動能力を有することが予想できる。また、レース時には常に最大努力によるパワー発揮を連続させるわけではなく、個々の体力レベルに応じたペース配分が計画される。従って、持久系アスリートの競技力向上には最大及び最大下運動能力を捉え、個々の体力レベルに応じた運動強度に基づくトレーニング強度設定が不可欠となる。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

* 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)

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^{1) 2) 3) 4) 5) 6) 7)}。

一方、我が国における冬季種目系アスリートは、高校生以降のトレーニング環境が多様化する。国内ではスケートリンクを有する地域に限られるため、氷上トレーニング施設に近い地域で競技を継続する者もいれば、地方から都市部の大学に進学して競技を継続するアスリートも数多く存在する。後者にとっては、年間の氷上練習可能期間も限られるため、学業と両立しながら綿密な年間トレーニング計画を立てることが求められる。このように都市部の冬季学生アスリートは、限られた時間の中で確実に成果が上がる体力トレーニングを実施する必要があり、そのためには漸進性および個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考えられる。

本研究では、地方在住の高校生スピードスケート選手と都市部における大学生スピードスケート選手における最大および最大下運動能力を比較することで、冬季学生アスリートの持久的運動能力の特性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、地方に在住する男子高校生スピードスケート選手11名、及び都市部（東京近郊）に在住する大学生スピードスケート選手24名の計35名を対象とした。全被検者は、測定前のシーズンにおいて公式記録会に参加していた。

両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Table1に示した。なお、本研究の測定は8月に行った。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、電磁ブレーキ式自転車エルゴメーター（Power max V2）を使用して自転車ペダリング運動による漸増負荷テストを行い、血中乳酸濃度（La）及び心拍数（HR）を測定した。被験者は80rpmの回転数でペダルを漕ぎ続け3分ごとに負荷を増加させていった。本研究では1セット目の負荷を1.5kpとし、0.5kpずつ増加させ（3.5kp以降は0.25kpずつ）オールアウトに至るまで実施した。本研究におけるオールアウトの定義は、既定の回転数でペダルを漕げなくなった状態（75rpmを5秒以上下回る状態）と定義した。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、最終ステージの運動時間が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。

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）を用いて測定した。HR及びLAの測定は漸増負荷テスト開始直前、各ステージ終末30秒及びオールアウト直後にそれぞれ実施した。また、各ステージの負荷と回転数に重力加速度を乗じることで平均パワーを算出した。オールアウトステー

Table 1. 被験者の年齢及び身体的特性

	Age (yrs)	Height (cm)	Body weight (kg)	BMI	Fat (%)	FFM (kg)
CS	20.0±1.1	170.9±3.8	66.9±5.5 *	22.9±1.5 *	10.3±1.9	59.9±4.4 *
HS	16.4±1.1	169.0±6.4	59.4±8.9	20.8±2.5	12.3±4.7	51.8±5.4

CS: College student skaters
 HS: High school student skaters
 BMI: Body mass index
 FFM: Fat free mass

Values are expressed as mean±SD

* indicates significant difference between CS and HS.

ジにおける平均パワー及び平均HRをそれぞれ最大パワー (PP) 及び最大心拍数 (HRmax) として採用した。またオールアウト直後から5分後まで計3回のLAの最大値を最大血中乳酸値 (LAmax) とした。さらに各ステージにおける平均パワーと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、4mmol/l、6mmol/lに相当するパワーをそれぞれp@2mmol/l、p@4mmol/l、p@6mmol/lとして算出した。

3) 統計処理

各測定値における高校生と大学生における測定値の差の検定は対応のあるt-testを用いて行った。また、LA及びHRに対するpowerと年代(高校生-大学生)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

Table 2は、PP、体重当たりのPP (PP/BW)、HRmax及びLAmaxを高校生と大学生の比較で示したものである。PP、HRmax及びLAmaxにおいては両群間に有意な差は認められなかったが、PP/BWにおいては、大学生(5.4±0.6W/kg)が高校生(5.9±0.9W/kg)に比べて有意に低い値を示した。即ち、最大強度での発揮パワーの絶対値、最大乳酸値や最大心拍数という生理学的指標は高校生と大学生でほぼ同程度であるにも

かわらず、体重当たりのパワー発揮能力は高校生のほうが高いことが明らかになった。Table 1に示されるように、本研究の被験者における体重及び除脂肪体重は、大学生が高校生に比べて著しく高い値を示している。これらの結果を考え合わせると、大学生スピードスケート選手は、最大運動時における血中乳酸濃度や心拍数は同程度であるが、筋量の割に最大運動強度でのパワー発揮能力が低いことが考えられる。

最大下運動能力の評価として、本研究では各ステージ終末における血中乳酸濃度を算出し、さらに血中乳酸濃度が2mmol/l、4mmol/l、6mmol/l時のパワーを高校生と大学生間で比較した。Fig. 1は、1ステージごとのLAの変化を示したものである。各ステージにおけるLAは両群ともにほぼ同様の値を示し、二元配置分散分析の結果、両群間における有意差及び交互作用は認められなかった。従って、最大下運動においては高校生と大学生の各強度における血中乳酸濃度はほぼ同程度であることが考えられる。一般的にトレーニングによる適応は、トレーニングに用いられた強度や使用される代謝機構にのみ特異的に起こるため、本研究で測定したいわゆる乳酸カーブは、これまでのトレーニング強度と適応の程度を評価するために用いられることが多い。本研究の乳酸カーブの結果と、Table 1における除脂肪量や体重の差を考え合わせると、大学生は自身の体重や筋量レベルに見合った強度設定が必ずしも確実に行われていなかった可能性が考えられる。

また、Fig.2及びFig.3では、血中乳酸濃度が2mmol/l時、4mmol/l時、6mmol/l時におけるパワー及び体重当たりのパワーを示した。その結果、

Table 2. 運動時間及び最大運動時のパワー、血中乳酸値、心拍数の比較

	PP (W)	PP/BW (W/kg)	LAmax (mmol/l)	HRmax (bpm)	Exercise time (min)
CS	355.8±30.1	5.4±0.6 *	13.1±2.7	188.7±9.4	18.0±3.1
HS	347.3±33.8	5.9±0.9	12.4±3.9	190.4±10.1	16.8±3.3

CS: College student skaters, HS: High school student skaters,
PP: Peak power, BW* Body weight, LAmax: Lactate max, HRmax: Hart late max

Values are expressed as mean±SD

* indicates significant difference between CS and HS.

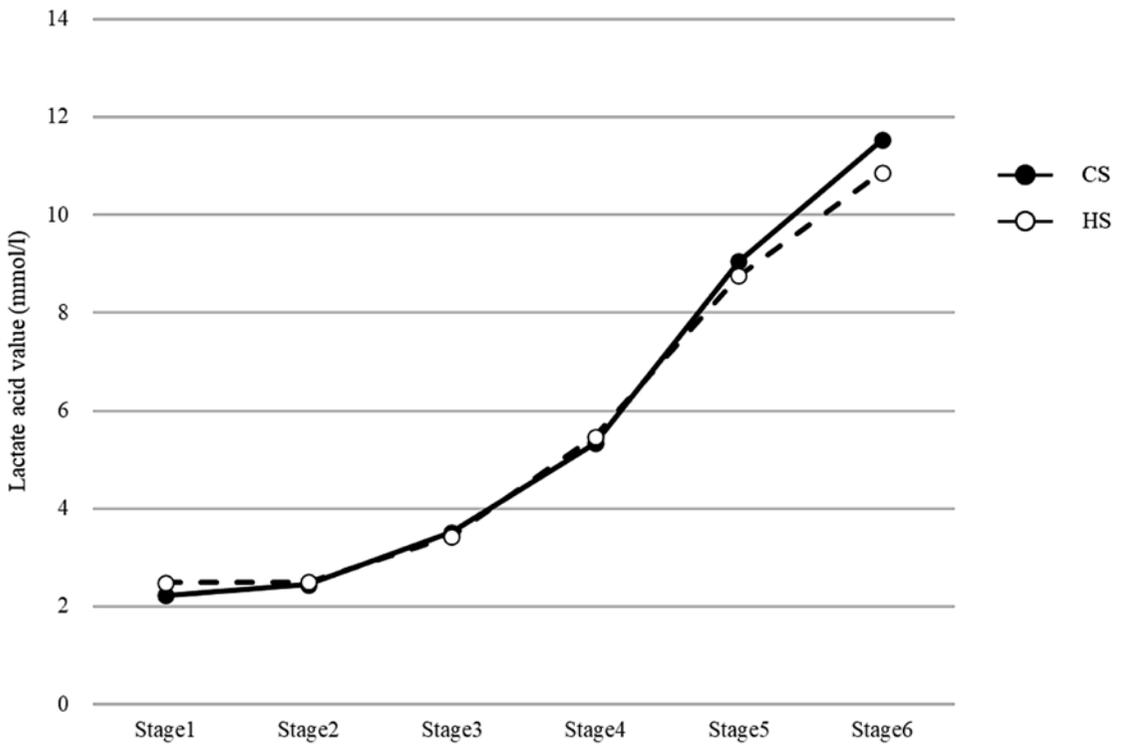


Fig.1 漸増負荷自転車ペダリング中における各ステージの血中乳酸値の比較

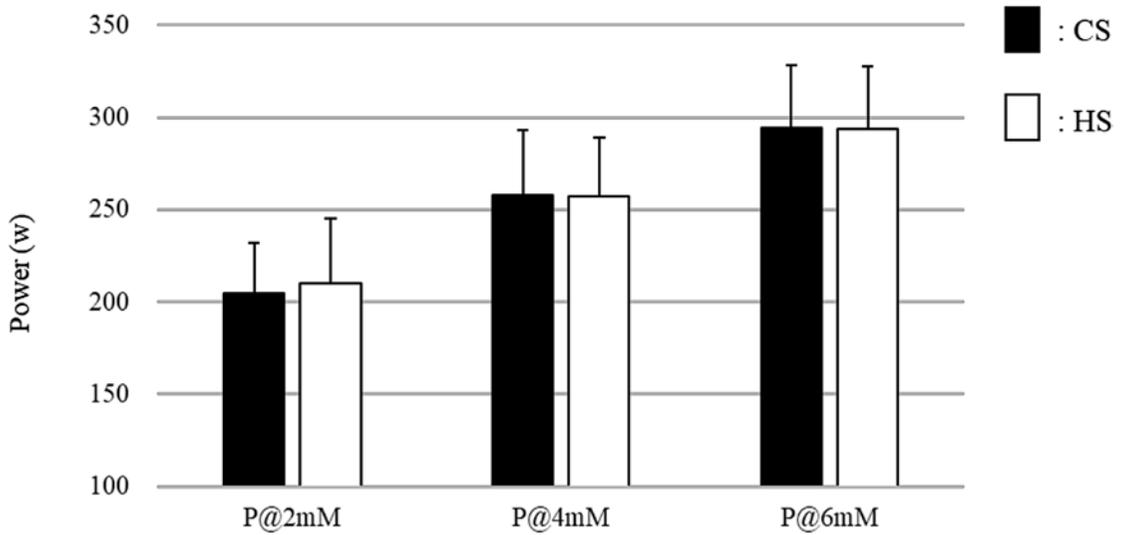


Fig.2 大学生及び高校生におけるP@2mM、P@4mM、P@6mMの比較

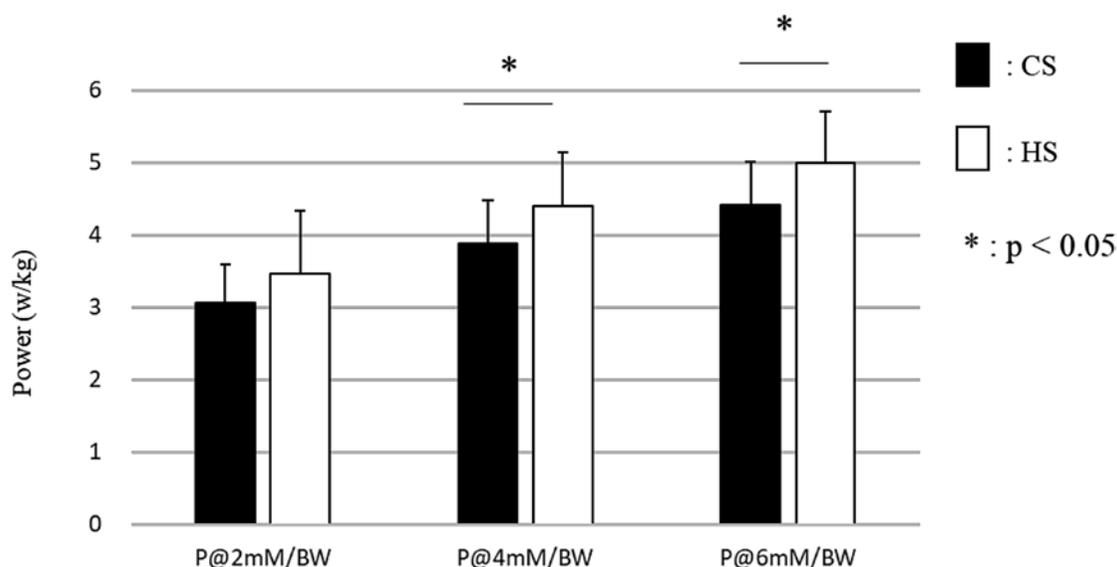


Fig.3 大学生及び高校生における体重当たりのP@2mM、P@4mM、P@6mMの比較

各強度におけるパワーの絶対値には両群間に有意な差は認められなかったものの、体重当たりの相対値では、P@4mM及びP@6mMにおいて高校生が大学生に比べて有意に高い値を示した。このことは、2mmol/l強度のいわゆる乳酸性作業閾値レベルにおいては体重当たりのパワー発揮能力は同程度であるが、4mmol/l (OBLA) 以上において高校生のほうが優れることを意味している。OBLAは、体循環等の中樞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という⁸⁾。従って、本研究で対象とした大学生選手は、解糖系のエネルギー供給機構の貢献度が高まる持続的運動能力が低い可能性が考えられる。

4. 要 約

本研究では、地方在住の高校生スピードスケート選手と都市部における大学生スピードスケート選手における最大および最大下運動能力を比較検討した。

その結果は以下のとおりであった。

- 1) 体重及び除脂肪量は大学生が高校生に比べて著しく高いことが明らかになった。
- 2) 大学生スピードスケート選手は、最大運動時における血中乳酸濃度や心拍数は同程度であるが、高校生に比べて筋量の割に最大運動強度でのパワー発揮能力が低いことが明らかになった。
- 3) 漸増負荷テストにおける各ステージの血中乳酸濃度は両群ともに同程度の値が示され両群間における有意差及び交互作用は認められなかった。
- 4) 乳酸性作業閾値に相当する運動強度においては両群の体重当たりのパワー発揮能力は同程度であるが、4mmol/l (OBLA) 以上において高校生のほうが高いことが明らかになった。

本研究は、国士舘大学体育学部付属体育学研究所の2021年度研究助成によって実施した。

参考文献

- 1) 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
- 2) 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.
- 3) Madureira, G. and Hasson-Voloch, A. (1988), Lactate utilization and influx in resting working rat red muscle. *Comp.Biochem.physiology.* 89A, 693-698
- 4) 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
- 5) 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
- 6) Schnabel, A. & Kindermann, W (1983), Assessment of anaerobic capacity in runners. *Eur.J.Appl.Physion.*, 52, 42-46.
- 7) 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
- 8) 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
- 9) van Ingen Schenau G J, de Koning J J, de Groot G, (1990), A simulation of speed skating performances based on a power equation. *Med Sci Sports Exerc*, 22 (5), 718-728.