

高校トップレベル男子長距離走者のパフォーマンスと大腰筋の筋横断面積 および最高酸素摂取量の関係

山中 亮¹, 松林 武生¹, 佐伯 徹郎², 榎本 靖士³, 山崎 一彦⁴, 杉田 正明⁵

Relationships between running performance and the cross-sectional area of the psoas major, and peak oxygen uptake in elite junior long-distance runners

Ryo Yamanaka¹, Takeo Matsubayashi¹, Tetsurou Saeki², Yasushi Enomoto³,
Kazuhiko Yamazaki⁴ and Masaaki Sugita⁵

¹ 国立スポーツ科学センタースポーツ科学研究部, 〒115-0056 東京都北区西が丘3-15-1 (*Department of Sports Science, Japan Institute of Sports Sciences, 3-15-1 Nishigaoka, Kita-ku, Tokyo 115-0056, Japan*)

² 日本女子体育大学体育学部, 〒157-0061 東京都世田谷区北烏山8-19-1 (*Faculty of Sports and Health Sciences, Japan Women's College of Physical Education, 8-19-1 Kitakarasuyama, Setagayaku, Tokyo 157-0061, Japan*)

³ 筑波大学人間総合科学研究科, 〒305-8577 茨城県つくば市天王台1-1-1 (*Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba, 1-1-1 Tennodai, Tsukuba, Ibaraki 305-8577, Japan*)

⁴ 順天堂大学スポーツ健康科学部, 〒270-1695 千葉県印西市平賀学園台1-1 (*Faculty of Health and Sports Science, Juntendo University, 1-1 Hiragagakuendai, Inzai, Chiba 270-1695, Japan*)

⁵ 三重大学教育学部, 〒514-8507 三重県津市栗真町屋町1577 (*Faculty of Education, Mie University, 1577 Kurimamachiya-cho, Tsu, Mie 514-8507, Japan*)

Received: December 18, 2015 / Accepted: March 4, 2016

Abstract The purpose of this study was to examine the relationships between running performance and the cross-sectional area of the psoas major, peak oxygen uptake, and running economy in male junior long-distance runners. The subjects were 37 male junior athletes who achieved good records in interscholastic athletic competition during 5 years (2011–2015). Their seasonal best times in a 5,000 m race (5,000m–SB) were $14:04.11 \pm 0:07.25$ ($13:53.64$ – $14:16.15$). In a multiple regression analysis, 5,000m–SB was statistically significantly correlated with the cross-sectional area of psoas major ($16.0 \pm 1.7 \text{ cm}^2$) measured on magnetic resonance imaging and peak oxygen uptake ($4.25 \pm 0.36 \text{ l min}^{-1}$ [$76.9 \pm 5.8 \text{ ml min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$]) during a lactate curve test comprising five stages. However, 5,000m–SB was not related to oxygen uptake at the work-load which was less than the load at the lactate threshold estimated by using the lactate curve test results. These results suggest that a high volume of the psoas major, the largest hip-flexor muscle, and peak oxygen uptake are among the important factors for junior long-distance runner performance.

Jpn J Phys Fitness Sports Med, 65(3): 307-313 (2016)

Keywords : long-distance runner, psoas major, peak oxygen uptake, running economy

緒 言

長距離走者のパフォーマンスに焦点を当てた研究は古くから行われており, Saltin et al.¹⁾に代表されるように, 多くの科学者によって長距離走者の高いパフォーマンス発揮の要素が検討されてきた. それらの研究から, 長距離走者が高いパフォーマンスを発揮するためには, 最大酸素摂取量²⁻⁵⁾や, ある運動負荷に対して, いかに少ないエネルギー(酸素摂取量)で走ることができるのかといったランニングエコノミー^{1,6,7)}が重要となることが明らかにされてきた. この最大酸素摂取量とランニングエコノミーの要素を高めることが, 長距離走者のパフォーマンス

ス向上のための重要な手段の一つになると考えられる.

近年, 日本における高校トップレベルの男子長距離走者は, トラック種目である5,000 m走において, シニア長距離走者のレベルに近いパフォーマンスを発揮している. 今日まで, 5,000 m走を13分台で走った高校生は, 総勢で50名以上もいる. このような高校トップレベルの長距離走者においても, 前述のように, 最大酸素摂取量およびランニングエコノミーがどちらも高値を示すことが予想される.

一方, 最大酸素摂取量やランニングエコノミーとは異なる観点でも, 長距離走者のパフォーマンスが検討されている. その一つとして挙げられるのが, 走動作のパ

パフォーマンスに大きく関与することが示唆されている大腰筋である^{8,9)}。大腰筋は、腰椎と大腿骨に付着しているため、股関節の屈曲動作に大きく貢献している筋である¹⁰⁾。短距離走者を対象にした先行研究において、股関節の屈曲力が大きいほど走動作のパフォーマンスが高いことが報告されている¹¹⁾。また、パフォーマンスと大腰筋の関係性が検討されており、そこでは、短距離走者の最大スピードと大腰筋の筋横断面積が関係性を有することが示されている⁸⁾。一方、長距離走者においてもこの大腰筋に着目した研究が行われている。それらの先行研究では、大腰筋の横断面積の量的評価が行われており、ジュニア長距離走者では約 9 cm^2 の値⁹⁾を、エリートシニア長距離走者では $13.9 \pm 2.8 \text{ cm}^2$ の値¹²⁾をそれぞれ示したことから、長距離走のパフォーマンスが高いエリートシニア長距離走者における大腰筋の筋横断面積がジュニア長距離走者と比べて大きいことが明らかとなっている。さらに、吉岡ら¹²⁾は、ケニア人走者と日本人走者の形態面および体力面の比較を行っており、その中で、高い長距離走のパフォーマンスを有するケニア人走者の大腰筋の横断面積 (18.0 cm^2) が日本人走者 ($13.9 \pm 2.8 \text{ cm}^2$) よりも顕著に大きかったことを報告しているが、長距離走のパフォーマンスと大腰筋の横断面積の関係性を検討していない。また、吉岡ら¹³⁾は、日本人エリート走者 (10,000 m 走パーソナルベスト: 28分42秒38-30分38秒09) を対象として、10,000 m 走パーソナルベストと大腰筋の筋横断面積について検討した結果、両変量間に関係性が見られなかったことを報告している。このように、大腰筋の筋横断面積と長距離走のパフォーマンスの関係性について検討している研究は未だ少ないが、高速化が進んでいる長距離走界で日本人長距離走者が国際的に活躍するために、スピードを生み出す原動力となると考えられる大腰筋に着目して長距離走者のパフォーマンスについて検討を重ねる必要があると考えられる。さらに、シニア長距離走者のレベルに近いパフォーマンスを発揮しているジュニア期のトップレベル長距離走者を対象にした、大腰筋と長距離走のパフォーマンスの関係性が検討されていない。ジュニア期における長距離走のパフォーマンスと大腰筋の筋量の関係性を明らかにすることで、日本トップレベルの高校長距離走者のハイパフォーマンスの要因についても検討することができると考えられる。

そこで本研究では、高校トップレベル男子長距離走者のパフォーマンスを、大腰筋の筋サイズ、最大酸素摂取量およびランニングエコノミーの観点から検討することを目的とした。

方 法

分析対象 本研究では、国立スポーツ科学センターが公

益財団法人日本陸上競技連盟と連携し、2011年から2015年の期間において実施された高校生長距離走者を対象とした体力測定で得られたデータを分析した。対象としたのは、高校トップレベルの男子長距離走者37名であった。年齢、身長、体重およびBMIは、それぞれ、 $18.2 \pm 0.5 \text{ year}$, $170.4 \pm 5.1 \text{ cm}$, $55.3 \pm 3.7 \text{ kg}$ および 19.5 ± 0.8 であった。対象者の競技会における5,000 m 走のシーズン最高タイム (seasonal best: SB) の平均値は、14分04秒11 \pm 7秒25 (13分53秒64-14分16秒15) であった。本研究では、5,000 m 走のSB (5,000 m-SB) を長距離走のパフォーマンスとした。また、高校トップレベルと日本シニアトップレベルの比較を行うために、日本シニアトップレベルのマラソン走者5名の値を参照値として用いた。日本シニアトップレベル走者に関するデータについても、国立スポーツ科学センターが公益財団法人日本陸上競技連盟と連携し、2013年に実施された体力測定時のデータを分析した。日本シニアトップレベルの対象選手の年齢、身長、体重、BMIおよび5,000 m 走の自己最高タイムの平均値は、 $29.2 \pm 3.0 \text{ year}$, $174.5 \pm 9.0 \text{ cm}$, $62.3 \pm 6.9 \text{ kg}$, 20.4 ± 0.6 および 13分50秒11 \pm 15秒02であった。対象者には、予め本研究の趣旨および内容を説明し、実験参加の同意を得た。日本シニアトップレベル走者と比較する際、これと同様の方法で測定を実施した高校トップレベル走者24名 ($n=24$, $18.2 \pm 0.6 \text{ year}$, $170.7 \pm 5.3 \text{ cm}$, $55.5 \pm 3.7 \text{ kg}$, 5,000 m-SB: 14分06秒85 \pm 7秒57) のデータのみを用いた。本研究は、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倫理審査委員会 (承認番号: 021号) の承認を得て実施した。

測定項目および測定方法 体幹下部における筋横断面積を得るために、核磁気共鳴画像法 (magnetic resonance imaging: MRI) 装置 (2011-2013: 1.5-T Magnetom Symphony, シーメンス, 2014-2015: 3.0-T Magnetom Verio, シーメンス) を用いて、仰臥位姿勢における体幹下部を撮影した。撮影の際には、撮像シークエンスとしてグラディエントエコー法を用いた。撮像条件は、2011年から2013年においては、繰り返し時間: 98 ms, エコー時間: 4.28 ms, 撮像領域: $380 \times 380 \text{ mm}$, matrix: 256×256 , フリップ角: 75 deg , 積算1回, スライス厚: 10 mm, 撮像時間: 24秒を採用し、2014年から2015年においては、繰り返し時間: 90 ms, エコー時間: 2.46 ms, 撮像領域: $380 \times 380 \text{ mm}$, matrix: 512×512 , フリップ角: 55 deg , 積算1回, スライス厚: 10 mm, 撮像時間: 23秒を採用した。撮像の間、被験者に対して息止めの指示を行い、撮影中に呼吸によって筋形状が変化しないようにした。その後、撮影で得られた画像をコンピューターに取り込み、骨盤上端 (ヤコビーライン) レベルにおける筋横断面積を、解析ソフト (ISIS, 日立メディコ) によっ

て算出した。本研究では、左右の筋の平均値を筋横断面積とした。解析で得られた筋横断面積 (cm^2) は 2 乗次元の指標であるため、先行研究¹²⁾を基に、3 乗次元の形態指標である体重の 3 分の 2 乗で除することにより相対化した ($\text{cm}^2 \text{kg}^{-0.67}$)。

有酸素性能力の測定として、トレッドミルを用いて 5 ステージにおける乳酸カーブランニングテストを実施した。プロトコルは、2011 年では、3 分走行、1 分休息を 1 ステージとし、走速度を 280, 310, 340, 370, 400 m min^{-1} とした。2012 年では、4 分走行、2 分休息を 1 ステージとし、走速度を 260, 290, 320, 350, 380 m min^{-1} とした。2013 年以降では、4 分走行、1 分休息を 1 ステージとし、走速度を 270, 300, 330, 360, 390 m min^{-1} とした。各ステージにおいて、酸素摂取量および換気量は呼気ガス分析装置 (Vmax, Sensor Medics) を用いて breath-by-breath で測定し、心拍数はテレメータ装置 (ZS-910P, 日本光電) を用いて連続測定した。呼気ガス分析器のガス校正および量の校正は、2 種類の濃度の標準ガス (16% O_2 -4% CO_2 balance, 26% O_2) および 2.46 l のシリンジをそれぞれ用いて実施した。各ステージにおける酸素摂取量および換気量は、ステージ終了直前の 1 分間の平均値を用いた。また、乳酸カーブランニングテスト時の酸素摂取量、換気量および心拍数の最高値は、30 秒毎に算出した平均値から抽出した。血中乳酸濃度は、1 分もしくは 2 分間のインターバル休息の間に、指先から微量の血液を採取し、血中乳酸濃度分析器 (Lactate Pro, Arkray) を用いて測定した。日本シニアトップレベル走者の参照値は、2013 年以降と同様のプロトコルにて得た。また、乳酸カーブテストの各ステージの走速度に対する血中乳酸濃度および酸素摂取量から最小二乗法を用いてそれぞれ回帰直線の式を導き出し、その式から血中乳酸濃度が 2 mmol l^{-1} となる乳酸性作業閾値 (Lactate Threshold: LT) 時の走速度および酸素摂取量を算出した。本研究では、全対象者の中で最も低い LT 時の走速度を確認し、その該当走速度に対する酸素摂取量をランニングエコノミーの指標とした。なお、ランニングエコノミーに該当する走速度を乳酸カーブランニングテスト時において実際に走行していない場合、実際に実施した 5 ステージの走速度と酸素摂取量から得ら

れる回帰直線を用いて、該当走速度に対する酸素摂取量の推定値を算出した。また、1 名の被験者は、最初のステージにおける血中乳酸濃度が 2 mmol l^{-1} を超えていたため、ランニングエコノミーに関する分析にはこの被験者を除いた 36 名のデータを用いた。

基礎的な形態指標として、体脂肪率の測定を行った。体脂肪率は、空気置換法による体脂肪率測定機 (BOD-POD, LMI) を用いて体重、体積および肺容量を測定し、18 歳以上の長距離走者には Brozek¹⁴⁾ の式によって、18 歳未満の長距離走者に対しては Loman¹⁵⁾ の式によって算出した。

統計 全ての測定値は、平均 \pm 標準偏差で示した。統計処理には、統計処理ソフトウェア (SPSS19.0.0 for Windows) を用いた。本研究では、5,000 m-SB を従属変数に、本研究において得られた全ての測定項目を独立変数とし、ステップワイズ法を用いて重回帰分析を実施した。危険値 (P) が 0.05 未満を有意検定の基準とした。

結 果

空気置換法によって計測された体脂肪率は、 $9.6 \pm 2.7\%$ であった。体幹下部のヤコビーラインレベルにおける大腰筋の筋横断面積は $16.0 \pm 1.7 \text{ cm}^2$ であり、体重の 3 分の 2 乗で除した値は $1.10 \pm 0.12 \text{ cm}^2 \text{kg}^{-0.67}$ であった。

5 段階設けた乳酸カーブランニングテストにおける酸素摂取量、換気量、心拍数および血中乳酸濃度の最高値は、それぞれ $4.25 \pm 0.36 \text{ l min}^{-1}$ ($76.9 \pm 5.8 \text{ ml min}^{-1} \text{kg}^{-1}$)、 $137.9 \pm 16.9 \text{ l min}^{-1}$ 、 $195.1 \pm 6.4 \text{ beat min}^{-1}$ および $10.6 \pm 2.1 \text{ mmol l}^{-1}$ であった (Table 1)。また、乳酸カーブランニングテストの結果から算出した LT 時の走速度および酸素摂取量は、それぞれ、 $307 \pm 15 \text{ m min}^{-1}$ ($270\text{--}331 \text{ m min}^{-1}$) および $3.39 \pm 0.35 \text{ l min}^{-1}$ ($59.7 \pm 11.2 \text{ ml min}^{-1} \text{kg}^{-1}$) であった。個々に算出した LT に対する走速度の最低値は 270 m min^{-1} であったため、本研究では、走速度が 270 m min^{-1} における酸素摂取量をランニングエコノミーの指標とした。

高校トップレベルの男子長距離走者のパフォーマンスには、どの要素が関与しているかを明らかにするために重回帰分析を実施した。その結果、長距離走者のパ

Table 1. The peak values of oxygen uptake, ventilation, heart rate and blood lactate concentration during blood lactate curve test.

The peak values during blood lactate curve test	Oxygen uptake [l min^{-1}]	4.25 ± 0.36
	Oxygen uptake [$\text{ml min}^{-1} \text{kg}^{-1}$]	76.9 ± 5.8
	Ventilation [l min^{-1}]	137.9 ± 16.9
	Heart rate [beat min^{-1}]	195.1 ± 6.4
	Blood lactate concentration [mmol l^{-1}]	10.6 ± 2.1

パフォーマンスは、大腰筋の筋横断面積、最高酸素摂取量の2変数を独立変数とする有意な回帰式が得られた ($Y=901.030-1.665x_1-0.394x_2$, x_1 : 大腰筋横断面積, x_2 : 最高酸素摂取量, $F=5.534$, $p=0.008$). その寄与率および推定値の標準誤差は、それぞれ、25.1% ($R=0.501$) および 6.61 sec であった。また、5,000 m-SB に対する大腰筋横断面積の標準化偏回帰係数は、有意な値 (-0.396 , $P<0.05$) を示したが、最高酸素摂取量の標準化偏回帰係数は、有意な値を示さなかった (-0.307 , $P=0.050$)。一方、5,000 m-SB は、乳酸カーブランニングテスト時における 270 m min^{-1} に対する酸素摂取量と関係性が認められなかった。

長距離走のパフォーマンスが高いシニアトップレベル走者と、シニア走者と同様のプロトコルを実施した高校トップレベル (ジュニア) 走者において、乳酸カーブテストの5ステージ中4ステージまでの同一負荷運動に対する酸素摂取量および血中乳酸濃度を比較した (Fig. 1A)。同一運動負荷時の酸素摂取量は、ジュニア走者の方がシニア走者よりも高い傾向を示した。また、同一運動負荷時の血中乳酸濃度は、ジュニア走者の方がシニア走者よりも高い傾向を示した (Fig. 1B)。

考 察

本研究では、高校トップレベルの男子高校長距離走者のパフォーマンスと大腰筋の筋横断面積、最高酸素摂取量およびランニングエコノミーとの関係について検討した。5,000 m-SB を従属変数とし、重回帰分析を実施した

結果、5,000 m-SB には、大腰筋の筋横断面積および乳酸カーブランニングテストで得られた最高酸素摂取量が有意な関係性を持つことが認められた。一方、5,000 m-SB は、走速度が 270 m min^{-1} における酸素摂取量と関係性が認められなかった。

本研究において、5,000 m-SB を従属変数として、測定で得られた各項目を独立変数として重回帰分析を実施した結果、5,000 m-SB は体幹下部の大腰筋の筋横断面積と有意な関係性が認められた。この結果は、日本人シニアエリート長距離走者 ($n=18$, 10,000 m average time: $29:39.74 \pm 32.54$) を対象に行った先行研究¹³⁾の結果とは異なるものとなった。これまで、運動パフォーマンスと大腰筋の筋横断面積の関係が検討されたのは、短距離系種目を対象としたものが多い。ジュニア期における陸上競技短距離走者では、大腰筋の筋横断面積が100 m 走時における最大スピードに関与していることが報告されている⁸⁾。また、衣笠ら¹⁶⁾は、100 m レース時の平均疾走速度と大腰筋の筋横断面積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。また、陸上競技だけではなく、自転車競技短距離種目の研究においても、自転車エルゴメータにおけるパフォーマンスが大腰筋の筋横断面積と相関関係を示したことから、高負荷において回転数を上げるために大腰筋の筋横断面積の重要性が指摘されている¹⁷⁾。さらに、様々な競技を行っている高校生を対象に大腰筋の筋横断面積を測定した先行研究において、陸上短距離種目以外に、サッカーやバスケットボールなどの走動作がその競技パフォーマンスに直結している競技種

Table 2. Results of the multiple regression analysis that derives the 5,000m-SB from the cross-sectional area of the psoas major and peak oxygen uptake during lactate curve test.

Variables	<i>B</i>	SEB	β	<i>r</i>
<i>step 1</i>				
cross-sectional area of the psoas major	-1.666	0.662	-0.396*	-0.396
SEE	6.91			
R^2	0.157			
<i>step 2</i>				
cross-sectional area of the psoas major	-1.665	0.633	-0.396*	-0.396
peak oxygen uptake	-0.394	0.194	-0.307	-0.307
SEE	6.61			
R^2	0.251			

B: unstandardized regression coefficient
 SEB: standard error of the regression coefficient
 β : standard partial regression coefficient
r: correlation coefficient
 SEE: standard error of the estimate value
 R^2 : coefficient of determination
 *: $P < 0.05$

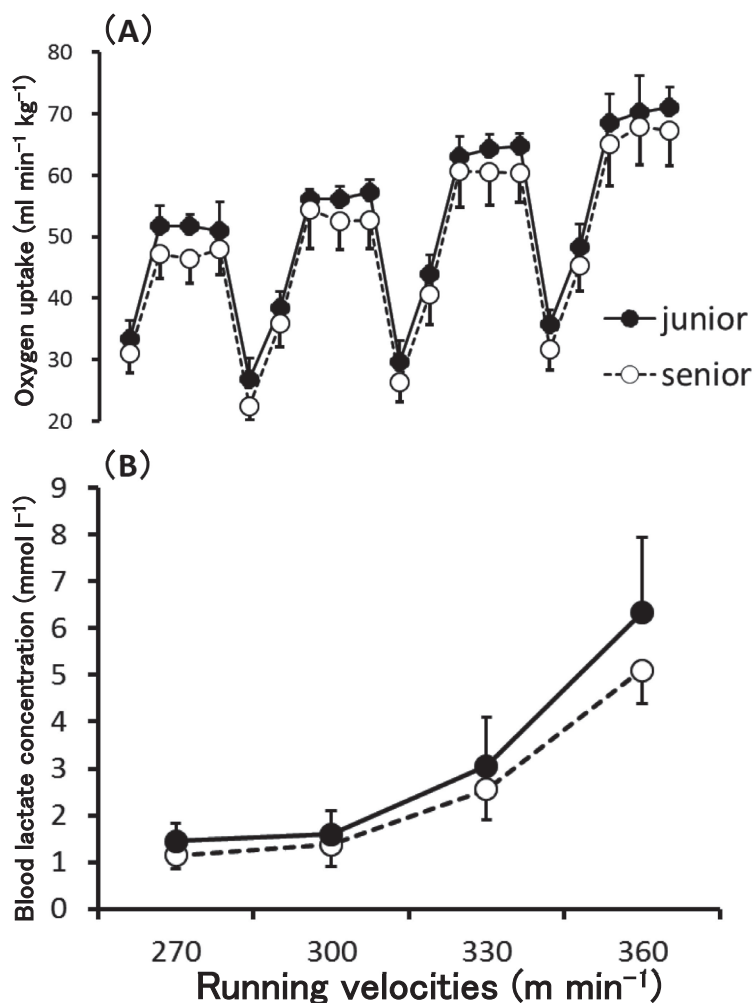


Fig. 1 Changes in oxygen uptake (A) and blood lactate concentration (B) in junior (filled circles, $n = 24$) and senior (open circles, $n = 5$) athletes during a blood lactate curve test.

目では、走動作が競技パフォーマンスに関与しないバドミントン、バレーボールおよびバレーなどの競技種目と比較して、大腰筋の筋横断面積が大きかったことを報告している⁹⁾。つまり、競技種目は異なるが、陸上短距離種目やサッカーといった走スピードが要求される種目において、股関節の屈曲に貢献していると考えられる大腰筋¹⁰⁾の筋横断面積が競技パフォーマンスを発揮するために重要であることが考えられる。一方、長距離走者の研究においても、ケニア人長距離走者と日本人長距離走者を比較した研究も行われており、そこでは、世界的に活躍しているケニア人長距離走者 (18.0 cm^2 , $n=1$) と比較して日本人長距離走者では大腰筋が小さい値 ($13.9 \pm 2.8 \text{ cm}^2$, $n=10$) を示している¹²⁾。大腰筋の筋横断面積の分析部位として、本研究ではヤコビーライン上、先行研究では腰椎の第4-5の中間点での分析を採用しており、撮像部位が異なるため単純に比較することはできないが、大腰筋の筋横断面積は、本研究で対象としたジュニア長距離走者の方が、同世代の一般ジュニア長距離走

者 (約 9 cm^2 の値⁹⁾) よりも、さらにはエリートシニア走者 ($13.9 \pm 2.8 \text{ cm}^2$ の値¹²⁾) よりも高値を示した。先行研究^{8,16)}では、大腰筋の筋横断面積が大きいほど、スプリント能力が高いと考えられているため、本研究で対象としたジュニア長距離走者の方が、先行研究¹³⁾で対象としたエリートシニア走者よりもスプリント能力が高いと考えられる。このことから、本研究では、スプリント能力が高いと考えられる高校トップレベルの男子高校長距離走者を対象としたため、先行研究¹³⁾とは異なり大腰筋の横断面積と5,000 m-SBの間に有意な関係性が認められたと考えられる。従って、短距離走者と異なり競技中に最大速度を持続するわけではないが、5,000 m走中に高い速度を維持させるといった長距離走の競技種目においても、股関節の屈曲力に貢献している大腰筋をより多く保有していることが、高いパフォーマンスを発揮する上で重要となる可能性がある。

乳酸カーブランニングテスト時における酸素摂取量の最高値は $4.30 \pm 0.36 \text{ l min}^{-1}$ であり、体重で除した最高酸

素摂取量は $76.9 \pm 5.8 \text{ ml min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ であった。本研究で得られた値は、先行研究¹²⁾で報告された10,000 m走における平均タイムが29分台の日本人シニア長距離走者の値($76.3 \pm 2.4 \text{ ml min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$)とほぼ同等であった。しかしながら、世界のトップを牽引しているケニア人走者の値($82.0\text{--}85.0 \text{ ml min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$; Saltin et al.¹⁾)と比較すると低い値であった。本研究におけるジュニア長距離走者の最高酸素摂取量の平均値はケニア人走者よりも低い傾向であったが、個々の値で見ると、世界トップレベルの走者と同等のレベルである最高酸素摂取量が $80 \text{ ml min}^{-1} \text{ kg}^{-1}$ を超える走者が12名いた。つまり、本研究に参加した高校トップレベル長距離走者の中には、有酸素性能力が非常に優れている走者もいたことが分かる。

先行研究において、最大酸素摂取量と長距離走のパフォーマンスには関係性があることが報告されている¹⁸⁾。本研究において、重回帰分析を実施した結果、5,000 m-SBは大腰筋の筋横断面積および最高酸素摂取量との間に有意な関係性が認められた。一方、5,000 m-SBに対する最高酸素摂取量の標準化偏回帰係数は有意ではなかった($P=0.050$)。先行研究では、高い最大酸素摂取量レベルや高いパフォーマンスレベルを有している被験者のみを対象とした場合、最大酸素摂取量とパフォーマンスの間に有意な相関関係が認められないことが示唆されている¹⁹⁾。本研究においても、高校トップレベル長距離走者という限られた範囲の被験者群であったため、最高酸素摂取量は5,000 m-SBと有意な関係性が認められなかった($P=0.050$)。単独では関係性が認められなかったが、重回帰分析の結果、5,000 m-SBには、大腰筋の筋横断面積の次の要素として最高酸素摂取量が有意に関連することが明らかとなった。さらに、本研究の対象者は、シニアトップレベル走者と同等の最高酸素摂取量の値を示したことから、高校トップレベルの長距離走者においても、高い最高酸素摂取量が、高い長距離走のパフォーマンスを生み出す要因の一つとなる可能性もある。

長距離走において高いパフォーマンスを発揮するためには、ランニングエコノミーも重要であることが、多くの研究で明らかにされている^{1,6,7)}。つまり、長距離走者にとって、同一の運動負荷に対してより低い酸素摂取量で遂行できることが、高いパフォーマンスを発揮するための要素の一つとなる。しかしながら、本研究における高校トップレベル長距離選手では、5,000 m-SBとランニングエコノミー(走速度が 270 m min^{-1} に対する酸素摂取量)には関係性が認められなかった。先行研究で提唱されているように、いかに効率よく走れるかということが長距離走のパフォーマンスに重要となってくるが、本研究の対象である高校生トップレベル走者にはこれが当てはまらない可能性がある。そこで、長距離走のパフォーマンスが高いシニアトップレベル走者とジュニア

トップレベル走者の同一運動負荷に対する酸素摂取量を比較した。その結果、乳酸カーブテスト時における全ステージにおいて、ジュニア走者の酸素摂取量がシニア走者よりも高くなる傾向を示した。また、同一運動負荷時の血中乳酸濃度は、ジュニア走者の方がシニア走者よりも高い傾向を示した。先行研究において、アフリカ人ランナーはランニングエコノミーが高く、同一運動負荷に対する血中乳酸濃度が低値を示すと報告されている²⁰⁾。また、同一運動負荷に対する脂質の利用効率²¹⁾においても、ジュニア走者とシニア走者の間に差異があったと考えられる。つまり、ある運動負荷に対して酸素摂取量が低く、かつ、血中乳酸濃度の値が低ければ、脂質を利用した有酸素性代謝能が優れていると考えられるが、本研究において、ジュニア走者の方がシニア走者よりもランニング時の酸素摂取量が高く、かつ、血中乳酸濃度の値も高かったため、ジュニア選手はシニア選手よりも脂質を利用したエネルギー効率が低かったと考えられる。このように、ランニングエコノミーを決定するものとして、エネルギーの利用効率が要因の一つとなる可能性もある。一方、ランニングエコノミーの優劣に影響する要因として、生理学・解剖学的な要因だけでなくバイオメカニクスの側面から検討されており、そこでは、地面反力の鉛直成分²²⁾や水平成分²³⁾が関与していることが明らかにされている。今後、長距離走者のパフォーマンスを明らかにしていく上で、ランニングエコノミーに対する疾走動作の関与も同様に検討していくことが重要となると考えられる。

本研究の結果から、本研究で対象とした高校トップレベル長距離走者には、高いスピードで走るために必要な大腰筋の筋量を維持するトレーニングをするとともに、最高酸素摂取量を高め、加えて、ランニングエコノミーを向上できるような有酸素性のトレーニングを実施することによって、さらなる競技力向上が望まれると考えられる。しかしながら、本研究で明らかとなった5,000 m-SBに対する大腰筋の筋横断面積と最高酸素摂取量の寄与率は、25%程度であった。そこで、5,000 m走のパフォーマンスに影響を及ぼす他の要因として、競技会時のレース戦略がその一つに挙げられる。1922年から2004年の間において、5,000 m走の世界記録を更新した長距離走者のレースペースを分析した結果、4 kmまでは高速度であるがイーブンペースで進み、ラスト1 kmのスピードが4 kmまでのスピードから急激に増加したことが報告されている²⁴⁾。このように、高いパフォーマンスを発揮するためには、体力面において高いスプリント能力および有酸素性能力を有するとともに、優れた記録が出るようなレースを展開できる冷静な判断力も重要な要素となると考えられる。

本研究の結果から、高校トップレベルの長距離走者に

において、股関節の屈曲動作に関連している大腰筋の筋横断面積および最高酸素摂取量が長距離走のパフォーマンスと有意な関係性を示した。また、ジュニア期からシニア期にかけてのさらなるパフォーマンス向上には、同一の運動負荷に対する酸素摂取量をいかに低くすることができるかというランニングエコノミーも重要な要素となる可能性がある。

利益相反自己申告：申告すべきものはなし

引用文献

- 1) Saltin B, Larsen H, Terrados N, Bangsbo J, Bak T, Kim CK, Svedenhag J, Rolf CJ. Aerobic exercise capacity at sea level and at altitude in Kenyan boys, junior and senior runners compared with Scandinavian runners. *Scand J Med Sci Sports* 5: 209-221, 1995.
- 2) Laursen PB and Jenkins DG. The scientific basis for high-intensity interval training. *Sports Med* 32: 53-57, 2002.
- 3) Smith TP, McNaughton LR, Marshall KJ. Effects of 4-wk training using V_{\max}/T_{\max} on $\dot{V}O_{2\max}$ and performance in athletes. *Med Sci Sports Exerc* 31: 892-896, 1999.
- 4) 山地啓司, 池田岳子, 横山泰行, 松井秀治：最大酸素摂取量から陸上中長距離走, マラソンレースの競技記録を占うことが可能か, ランニング学研究, 1: 7-14, 1990.
- 5) Daniel J, Fitts R, Sheehan G. Conditioning for distance running. The scientific aspects. John W and Sons Inc., 25-31, 1978.
- 6) Larsen HB. Kenyan dominance in distance running. *Comp Biochem Physiol A Mol Integr Physiol* 136: 161-170, 2003.
- 7) Lucia A, Esteve-Lanao J, Oliván J, Gómez-Gallego F, San JAF, Santiago C, Pérez M, Chamorro-Viña C, Foster C. Physiological characteristics of the best Eritrean runners-exceptional running economy. *Appl Physiol Nutr Metab* 31: 530-540, 2006.
- 8) Hoshikawa Y, Muramatsu M, Iide T, Uchiyama A, Nakajima Y, Kanehisa H, Fukunaga T. Influence of the psoas major and thigh muscularity on 100-m times in junior sprinters. *Med Sci Sports Exerc* 38: 2138-2143, 2006.
- 9) 星川佳広, 飯田朝美, 村松正隆, 内山亜希子, 中嶋由晴：高校生スポーツ選手の競技種目別の大腰筋断面積, 体力科学, 55: 217-228, 2006.
- 10) Bogduk N, Pearcy M, Hadfield G. Anatomy and biomechanics of psoas major. *Clin Biomech* 7: 109-119, 1992.
- 11) Misjuk M, Rannama I, Niglas E. Relationship between lower limb isokinetic strength and 60m sprint running time. *Lase J Sport Sci* 4: 159-167, 2013.
- 12) 吉岡利貢, 中垣浩平, 中村和照, 向井直樹, 鍋倉賢治：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, 2012.
- 13) 吉岡利貢, 中垣浩平, 向井直樹, 鍋倉賢治：筋の形態的特徴が長距離走パフォーマンスに及ぼす影響, 体育学研究, 54: 89-98, 2009.
- 14) Brozek J, Grande F, Anderson JT, Keys A. Densitometric analysis of body composition: Revision of some quantitative assumptions. *Ann N Y Acad Sci* 110: 113-140, 1963.
- 15) Lohman TG. Applicability of body composition technique and constants for children and youths. *Exerc Sport Sci Rev* 14: 325-357, 1986.
- 16) 衣笠竜太, 加藤謙一, 麻場一徳, 久野譜也：日本のトップスプリンターの大腰筋横断面積と疾走速度との関係, 日本体育学会大会号, 52: 312, 2001.
- 17) 池田祐介, 高嶋 渉, 本間俊行, 高橋英幸, 村田正洋：男女一流自転車競技選手における筋の形態的特徴と自転車エルゴメータのパワー発揮能力との関係, 体育学研究, 58: 539-555, 2013.
- 18) Farrell PA, Wilmore JH, Coyle EF, Billing JF, Costill DL. Plasma lactate accumulation and distance running performance. *Med Sci Sports Exerc* 11: 338-344, 1979.
- 19) Costill DL, Fink WJ, Pollock ML. Muscle fiber composition and enzyme activities of elite distance runners. *Med Sci Sports* 8: 96-100, 1976.
- 20) Weston AR, Karamizrak O, Smith A, Noakes TD, Myburgh KH. African runners exhibit greater fatigue resistance, lower lactate accumulation, and higher oxidative enzyme activity. *J Appl Physiol* 86: 915-923, 1999.
- 21) Bassett DR and Howley ET. Limiting factors for maximum oxygen uptake and determinants of endurance performance. *Med Sci Sports Exerc* 32: 70-84, 2000.
- 22) Chang YH, Huang HW, Hamerski CM, Kram R. The independent effects of gravity and inertia on running mechanics. *J Exp Biol* 203: 229-238, 2000.
- 23) Chang YH, Kram R. Metabolic cost of generating horizontal forces during human running. *J Appl Physiol* 86: 1657-1662, 1999.
- 24) Tucker R, Lamber MI, Noakes TD. An Analysis of pacing strategies during men's world-record performances in track athletics. *Int J Sports Physiol Perform* 1: 233-245, 2006.