

## 女子長距離選手との比較からみたマラソン世界選手権入賞経験のある 女子選手の形態および生理学的特性

原村未来<sup>1)</sup>, 高井洋平<sup>2)</sup>, 松村勲<sup>2)</sup>, 奥島大<sup>1)</sup>, 福永裕子<sup>2)</sup>, 隅野美砂輝<sup>2)</sup>,  
山本正嘉<sup>2)</sup>, 前田明<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup> 鹿屋体育大学大学院体育学研究科

<sup>2)</sup> 鹿屋体育大学

キーワード: 身体組成, 有酸素性作業能力, 力発揮能力, 無酸素性作業能力

### 【要 旨】

本研究は, マラソン世界選手権入賞経験を持つ女子長距離選手(マラソン一流選手)の形態的および生理学的な特徴を, トラック競技における長距離選手との比較から明らかにすることを目的とした。マラソン一流選手 1 名に加えて, 国内の実業団および大学に所属する女子長距離選手 17 名を対象とした。17 名の選手は, 5000m 走の自己ベストの記録に基づいて, 記録上位群と下位群に分けられた。すべての被検者を対象に, 形態, 身体組成, 筋力, 無酸素性および有酸素性作業能力を測定した。マラソン一流選手の値は, 記録上位群および下位群それぞれの平均値 $\pm 1SD$ 、平均値 $\pm 2SD$  の値と比較された。マラソン一流選手の下腿囲は, 記録上位群の平均値 $-1SD$  よりも小さかった。大腿後部筋厚および背筋力では, マラソン一流選手は記録上位群の平均値 $+1SD$  より高い値であった。有酸素性作業能力の指標である最大酸素摂取量には群間に差が認められなかった。血中乳酸濃度が $4\text{mmol}$ 以上になる地点である OBLA 時の走速度は, マラソン一流選手は記録上位群の平均値 $+2SD$  より高かった。最大筋力・パワーおよび跳躍能力には群間に有意な差は認められなかった。以上のことから, 女子のマラソン世界選手権で入賞をする選手は, トラック競技における長距離選手と比較して OBLA 時の走速度が優れており, 力発揮能力の身体資源として大腿後部筋厚および背筋力が高い特徴を持っていることが明らかとなった。

スポーツパフォーマンス研究, 6, 99-112, 2014 年, 受付日:2013 年 9 月 17 日, 受理日:2014 年 7 月 18 日  
責任著者:原村未来 〒891-2393 鹿児島県鹿屋市白水町 1 鹿屋体育大学 haramura@nifs-k.ac.jp

\*\*\*\*\*

**Morphological and physiological characteristics in a woman  
marathon runner who had won a prize in the world marathon  
championship in comparison with women long-distance runners**

Miki Haramura<sup>1)</sup>, Yohei Takai<sup>1)</sup>, Isao Matsumura<sup>2)</sup>, Dai Okushima<sup>1)</sup>,  
Yuko Fukunaga<sup>2)</sup>, Misaki Sumino<sup>2)</sup>, Masayoshi Yamamoto<sup>2)</sup>, Akira Maeda<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>Graduate School, National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

<sup>2)</sup>National Institute of Fitness and Sports in Kanoya

Key Words: body composition, aerobic working capacity, force generating capacity,  
anaerobic working capacity

### **[Abstract]**

The present study aimed to clarify the morphological and physiological characteristics of a top class marathon runner who had won a high-ranking prize in the world marathon championship. In addition to one top class marathon runner, 17 woman long-distance runners belonging to domestic business corporations and universities were involved. The 17 runners were divided into a higher-ranked group and a lower-ranked group, based on their best records in 5000-meter competition. For all the subjects, form, body composition, force generating capacity, anaerobic and aerobic working capacities were measured. The lower girth of the top class marathon runner was smaller than the average value -1SD for those of the higher-ranked group. The high posterior muscles thickness and the trunk extension strength of top class marathon runner were higher than the average values +1SD of the higher-ranked group. In the maximum oxygen intake which is an index of aerobic working capacity, no difference was observed among the groups. The running speed at OBLA of the top class marathon runner where the blood lactate concentration exceeded 4 mmol was higher than the average +2SD of the higher-ranked group. There were no significant differences in the maximum muscle strength, power, and jumping ability among groups. Those results suggest that the woman marathon runner who had won at the world championship is superior to the national level woman long distance runners in running speed at OBLA, thigh posterior muscle thickness and thigh extreme strength.

## I. 緒言

長距離走の競技成績に関連する生理学および形態学的要因について検討した先行研究は多く存在する。生理学的观点では、長距離走選手は体重当たりの最大酸素摂取量が多いこと (Costill, 1967; 金子ほか, 1973; Daniel et al., 1977) や、ランニング中の酸素摂取量を高く維持できること (Conly and Krahenbuhl, 1980; Sjödin et al, 1985; 山地, 1995)、ランニングの経済性を示すランニングエコノミー (RE) が優れており (Costill and Winrow, 1970; Daniels, 1985)、それらの有酸素能力は競技成績に影響する。形態学的观点では、長距離走選手の体脂肪量が一般成人に比べて非常に低いことが示されている (Novac et al., 1968; Sprynarova and Parizkova, 1971; Wilmore, 1983)。しかし、その知見の多くは対象者が男子選手に限定されていることや、競技成績との関連を検討する際に有酸素性作業能力に特化したものであり、体脂肪率や筋厚などの身体組成や無酸素性作業能力を含めた力発揮能力を包括的に検討した研究はこれまでのところなされていない。また、これまでの先行研究では、長距離走選手と一般成人との比較によって長距離選手の形態的および生理学的な特徴を明らかにしたものが多く、長距離走の競技水準の違いが身体組成、力発揮能力および有酸素性能力に与える影響を検討した研究は少ない。

多くの女子マラソン選手は、トラックでの長距離競技 (5000m, 10000m など) を経験した上で、マラソン競技に参加している。したがって、形態的および生理学的な体力特性について、一流マラソン選手とトラックでの長距離競技を行っている選手を比較することで、今後マラソンを目指す長距離選手に対する貴重な資料を本研究は提供できると考えられる。そこで本研究は、マラソン世界選手権入賞経験を持つ女子長距離選手 (一流選手) の形態的および生理学的な特徴を明らかにすることを目的とした。

## II. 研究方法

### 1. 対象者

対象者は、女子長距離選手 18 名であった。その内訳は世界選手権入賞選手 1 名、国内の実業団に所属する女子長距離選手 9 名および大学女子長距離選手 8 名であった。5000 m の自己ベスト記録に基づいて、被検者を 3 群に分けた。それぞれの群は、世界選手権入賞選手 1 名 (以下、マラソン一流選手)、記録上位群 8 名および下位群 9 名であった。現在 (2014 年) の国内女子における 5000m 歴代 10 傑は、14 分 53 秒 22 から 15 分 13 秒 01 である。本研究でのマラソン一流選手は、歴代 10 傑には入らないが 15 分 21 秒と上位レベルに位置する選手であった。記録上位群は 16 分台、下位群は 17 分台とそれぞれ約 1~2 分程度遅い記録であった。なお、本研究は鹿屋体育大学倫理委員会の承認を得たうえで行われた。対象者には、事前に本研究の主旨や測定内容、測定時の危険性などに関する説明を行い、実験への参加について書面での同意を得た。

### 2. 測定項目

#### (1) 身体形態

身長は、身長計を用いて 0.1cm 単位で測定した。体重および体脂肪率は、インピーダンス式体重体脂肪測定装置(Body Composition Analyzer DC-320, TANITA 社製)で計測した。大腿および下腿部の周径囲は、大腿長の 50%部位および下腿長の近位から 30%部位をそれぞれ測定した。測定には布製のメジャーを用いて、0.1 cm 単位で計測した。

## (2) 身体組成の測定

B モード法超音波診断装置(Prosound 2, ALOKA 社製)を用いて、大腿前部、大腿後部、下腿前部、下腿後部、腹部の計 5ヶ所の皮下脂肪厚および筋厚を測定した。それぞれの筋厚の測定位置は、先行研究の方法(安部・福永, 1995)と同様であった。すなわち、被検者の測定時の姿勢は立位とし、測定部位は大腿前および後部では大腿長(大転子から膝皺までの距離)の近位から 50%部位、下腿前および後部では下腿長(膝皺から外果までの距離)の近位から 30%部位とした。腹部は、臍点横部位とした。探触子プローブの超音波発振周波数は 7.5 MHz であった。印刷された超音波画像から定規を用いて 0.5 mm 単位で筋厚を算出した。大腿部の筋厚は、皮下脂肪組織と筋組織との境界線を示す反射波から骨までとし、腹部ではその反射波から腹腔までとした。

## (3) 最大随意筋力およびパワー

### 1) 握力

デジタル握力計(T.K.K.5401, 竹井機器工業株式会社製)を用いて、最大努力による握力を測定した。被検者は立位姿勢で力発揮を行った。測定の前に、対象者には十分な練習を行わせた後、左右交互に 2 回ずつ測定した。試技間には、最低 1 分間の休息を設けた。なお、測定値は左右それぞれ 2 回のうちの最高値を採用し、左右の平均値を代表値として採用した。体格の影響を規格化するために、体重および除脂肪体重の 2/3 乗で除した。

### 2) 背筋力

デジタル背筋力計(T.K.K5402, 竹井機器工業株式会社製)を用いて、最大随意背筋力を測定した。被検者は、背筋力計の上に立ち牽引鎖の長さを調節し、上体の前傾角度が鉛直に対して 10° 程度となる姿勢を保持させ、その状態を維持したまま全力による筋力発揮を行わせた。測定の前には、対象者は十分練習を行った後、2 回試技を行った。試技間には、最低 1 分間の休息を設けた。なお、各被検者とも脊柱や膝が屈曲しないように努めさせた。測定値は 2 回のうちの最高値を採用した。体格の影響を規格化するために、体重の 2/3 乗で除し、相対値で表した。

### 3) 等速性脚伸展パワー

脚筋力出力測定装置(KICK FORCE, 竹井機器工業株式会社製)を用いて、等速性脚伸展パワーを測定した。被検者は、装置上で膝関節を 90 度屈曲させた座位姿勢から、両脚で脚伸展による力発揮を行わせた。動作速度は 80 cm/s とした。試技は 5 回行った。5 回のうちの最高値を採用

した。体格の影響を規格化するために、体重および除脂肪体重の2/3乗で除し、相対値で表した。

#### (4) 跳躍能力

##### 1) 垂直跳び高

被検者はマットスイッチ計測システム(マルチジャンプテスト, DKH 社製)の上で、腰に両手を当てた姿勢で垂直跳びを行った。被検者にはできるだけ高く跳ぶように指示した。跳躍高は、滞空時間から次式を用いて算出した:  $\text{跳躍高} = 1/8 \times g \times t_a^2$  (岩竹ほか, 2008)。試行回数は 2 回であった。試行間には、最低 1 分間の休息を設けた。なお、測定値は、2 回のうちの最高値を採用した。

##### 2) リバウンドジャンプ指数 (RJindex)

被検者はマットスイッチ計測システム(マルチジャンプテスト, DKH 社製)の上で、腰に両手を当てた姿勢でリバウンドジャンプを行った。被検者には、リバウンドジャンプを連続で 5 回行わせ、その際に接地時間をできるだけ短く、かつできるだけ高く跳ぶように指示した。試行回数は 2 回であった。RJindex は、滞空時間から算出された跳躍高を接地時間で除して算出した (Asmussen and Bonde, 1974)。なお、測定値は、2 回の測定のうちの最高値を採用した。

#### (5) 有酸素性作業能力

有酸素性作業能力測定には、トレッドミル (BM-1120, Biomill 社製) を用いて、速度漸増負荷試験を実施した (Pannier et al., 1980)。すべての被検者は、180 m/min から開始した。速度は 3 分間で 30 m/min ずつ速度を増加させ走行させた。各ステージ間には、1 分間の休息を設けた。運動中の酸素摂取量、呼吸交換比は自動呼気ガス分析装置 (VmaxS-229, Sensor Medics 社製) を用いて Breath-by-Breath 法で測定し 30 秒間の平均値を算出した。自動呼気ガス分析装置は、測定前に流量校正器と校正ガスによるキャリブレーションを実施した。血中乳酸濃度は、安静時、各ステージの 1 分間の休息時、運動終了直後の計 7 回、指尖より採血し、携帯型乳酸濃度測定器 (Lactate Pro, ARKRAY 社製) を用いて測定した。得られた血中乳酸濃度から、乳酸性作業閾値 (LT) および血中乳酸蓄積開始点 (OBLA) を算出した。LT は、分析ソフト (MEQNET LT Manager, Lactate Pro 社) を用いて、運動強度およびその時の血中乳酸濃度から、LT ポイントを算出した。ランニングの経済性を評価するために、トレッドミル走行時の酸素摂取量のラスト 1 分間の平均値を算出した (Daniels, 1974)。このとき、1 分間の酸素摂取量が定常状態であることを確認した。

#### (6) 無酸素性作業能力

無酸素性作業能力の測定には、自転車エルゴメータ (POWERMAX VII, コンビウエルネス社製) を用いて 10 秒間全力ペダリング運動を行った (Wasserman et al., 1973)。被検者は、測定前に十分なウォーミングアップを実施した。負荷は対象者の体重の 7.5% とし、自転車エルゴメータ上で算出された最大パワーを採用した。測定は 15 分間の休憩をはさんで、2 回行った。

### 3. 統計処理

すべての測定値は平均値および標準偏差(SDs)で表した。また、一流選手の測定値が、上位群および下位群とどの程度離れているかを評価するために、上位群および下位群の平均値 $\pm$ 1SD および平均値 $\pm$ 2SD を基準にして評価した。上位群と下位群との間の測定変数の差を検討するために、対応のないt検定を行った。トレッドミル走行中のRE, RQ およびLaでは、2元配置分散分析(群 $\times$ 速度)を用いて主効果および交互作用を確認した。有意な主効果が認められた場合、Bonferroni法による多重比較を行った。有意水準は危険率5%未満とした。すべての統計処理は、統計処理ソフト(IBM SPSS Statics 22)を用いて行った。

## III. 結果

各群の5000 m走のタイムは、マラソン一流選手で15分21秒、記録上位群で16分20 $\pm$ 13.6秒、記録下位群で17分01 $\pm$ 13.9秒であった。一流選手のタイムは、記録上位群の平均値 $-$ 2SDよりも短かった。記録上位群のタイムは、記録下位群と比較して有意に短かった。

### 1. 形態・身体組成

表1は、各群の形態および身体組成の値を示す。身長および体重に群間に差は認められなかった。体脂肪率では、上位群は下位群よりも有意に低かった。マラソン一流選手の下腿囲は、上位群および下位群の平均値 $-$ 1SDよりも小さい値であった。大腿直筋および大腿後部の筋厚では、マラソン一流選手は上位群および下位群の平均値+1SDよりも高かった。上位群と下位群との間に有意な差は認められなかった。大腿部に対する下腿部の筋厚比は、記録上位群と下位群との間には有意な差は認められなかった。マラソン一流選手の大腿前部に対する大腿直筋の筋厚の割合は、下位群と比較してマラソン一流選手は平均値+1SD以上大きく、記録上位群は下位群に比べ有意に大きかった。マラソン一流選手の大腿前部に対する中間広筋の占める割合は、マラソン一流選手は下位群の平均値 $-$ 1SDよりも小さく、上位群は下位群と比較して有意に小さい値であった。

### 2. 有酸素性作業能力

表2は、各群の有酸素性作業能力の値を示す。最大酸素摂取量、体重当たりの最大酸素摂取量および乳酸性作業閾値には群間に差は認められなかったが、OBLAでは一流選手は上位群の平均値+2SDよりも高く、記録上位群は下位群よりも有意に高かった。血中乳酸濃度では、記録上位群および下位群との間に差はなかったが、マラソン一流選手では、180および210 m/minで上位群よりも平均値+1SDよりも高く、300 m/minでは一流選手は上位群よりも平均値 $-$ 1SDより低かった。ランニングエコノミーおよび呼吸交換比には群間に差は認められなかった。

### 3. 最大随意筋力、跳躍能力および無酸素性作業能力

表 3 は, 各群の筋力, 跳躍能力および無酸素性作業能力の値を示す. マラソン一流選手の体重当たりの背筋力は, 上位群の平均値+1SD よりも高く, 下位群の平均値+2SD よりも高く, 上位群と下位群との間には有意な差が認められた. 垂直跳びおよび RJindex では, マラソン一流選手は記録上位群と比較して, 平均値-1SD よりも低かった. 上位群と下位群との間には有意な差は認められなかった. 脚伸展パワーおよび無酸素性作業能力には群間差は認められなかった.

表 1. 一流選手, 記録上位群, 下位群の形態および身体組成

測定項目		一流選手 (n = 1)	上位群 (n = 8)	下位群 (n = 9)
年齢 (歳)		32.4	25.7 ± 3	20.3 ± 1.1
身長 (cm)		152.4	158.9 ± 5.7	156.5 ± 5.1
体重 (cm)		43.0	45.4 ± 3.7	46.7 ± 3.4
体脂肪率 (%)		17.3	14.7 ± 3.6	18.3 ± 1.7*
除脂肪量 (kg)		39.4	39.1 ± 3.7	36.6 ± 2.2
周径圍 (cm)	大腿圍	34.0	42.4 ± 2.8	45.5 ± 3.8
	下腿圍	31.4	33.4 ± 1.9	34.2 ± 1.0*
	腹圍	66.8	65.2 ± 1.2	67.6 ± 3.6
筋厚 (cm)	大腿直筋	2.4	2.5 ± 0.3	2.2 ± 0.1
	大腿前部	4.7	4.7 ± 0.2	4.8 ± 0.2
	中間広筋	2.3	2.2 ± 0.4	2.6 ± 0.2
	大腿後部	6.0	5.5 ± 0.4	5.5 ± 0.3
	下腿前部	2.6	2.6 ± 0.2	2.6 ± 0.2
	下腿後部	6.1	6.5 ± 0.5	6.3 ± 0.2
	腹部	1.2	1.2 ± 0.1	1.3 ± 0.2
筋厚 / 除脂肪量 (cm/kg <sup>2/3</sup> )	大腿直筋	0.7	0.7 ± 0.1	0.7 ± 0.0
	大腿前部	1.4	1.4 ± 0.1	1.4 ± 0.1
	中間広筋	0.1	0.1 ± 0.0	0.1 ± 0.0
	大腿後部	1.8	1.6 ± 0.1	1.6 ± 0.1
	下腿前部	0.8	0.8 ± 0.1	0.8 ± 0.1
	下腿後部	1.8	1.9 ± 0.1	1.9 ± 0.0
	腹部	0.4	0.4 ± 0.0	0.4 ± 0.1
大腿部 / 下腿部	1.5	1.4 ± 0.1	1.4 ± 0.1	
大腿前部 / 大腿直筋	51.4	52.9 ± 7.7*	46.4 ± 3.2	
大腿前部 / 中間広筋	48.6	47.1 ± 7.8	53.6 ± 3.2*	

\* は上位群との下位群との比較 ( $P < 0.05$ )

平均値 ± 標準偏差

表 2. 一流選手, 記録上位群, 下位群の有酸素性作業能力

測定項目	一流選手 (n = 1)	上位群 (n = 8)	下位群 (n = 9)
最大酸素摂取量 (L/min)	2.7	3.0 ± 0.2	3.0 ± 0.3
最大酸素摂取量 (ml/kg/min)	61.7	66.4 ± 5.1	66.2 ± 4.5
乳酸性作業閾値 (m/min)	241.8	243.3 ± 3.5	241.8 ± 4.4
OBLA (m/min)	308.4	276.2 ± 11.6*	266.5 ± 8.2
血中乳酸濃度 (mmol/L)	180 (m/min)	2.0	1.5 ± 0.4
	210 (m/min)	1.4	1.1 ± 0.2
	240 (m/min)	1.6	1.8 ± 0.6
	270 (m/min)	2.2	3.3 ± 1.2
	300 (m/min)	4.0	6.8 ± 1.5
ランニングエコノミー (ml/kg/min)	180 (m/min)	39.6	39.6 ± 4.5
	210 (m/min)	42.0	42.6 ± 4.4
	240 (m/min)	47.5	50.0 ± 3.9
	270 (m/min)	53.3	56.8 ± 4.1
呼吸交換比	180 (m/min)	0.9	0.9 ± 0.1
	210 (m/min)	0.9	0.9 ± 0.1
	240 (m/min)	1.0	1.0 ± 0.1
	270 (m/min)	1.0	1.0 ± 0.1
	300 (m/min)	1.1	1.1 ± 0.1

\* は上位群との下位群との比較 ( $P < 0.05$ )

平均値 ± 標準偏差

表 3. 一流選手, 記録上位群, 下位群の筋力, 跳躍能力および無酸素性作業能力

測定項目	一流選手 (n = 1)	上位群 (n = 8)	下位群 (n = 9)
垂直跳び高 (cm)	24.1	28.5 ± 3.6	30.3 ± 2.9
リバウンドジャンプ指数	1.3	1.8 ± 0.4	1.6 ± 0.3
脚伸展パワー (W)	1220.0	1320.0 ± 208.6	1020.0 ± 289.4
脚伸展パワー / 体重 (W / kg <sup>2/3</sup> )	99.4	103.8 ± 15.6	80.8 ± 23.0
無酸素性パワー (W)	333.0	349.8 ± 52.4	364.3 ± 42.5
無酸素性パワー / 体重 (W / kg)	7.7	7.7 ± 0.8	8.1 ± 0.7
握力 (kg)	27.0	27.0 ± 3.0	25.7 ± 1.9
握力 / 体重 (kg / kg <sup>2/3</sup> )	2.2	2.1 ± 0.3	2.0 ± 0.2
背筋力 (kg)	97.5	89.6 ± 12.8*	74.9 ± 8.6
背筋力 / 体重 (kg / kg <sup>2/3</sup> )	7.9	7.0 ± 0.9*	5.8 ± 0.6

\* は上位群との下位群との比較 ( $P < 0.05$ )

平均値 ± 標準偏差

#### IV. 考察

##### 1. 競技成績と形態との関係

本研究では, マラソン一流の下腿囲は記録上位群の平均値-1SD よりも低く, 記録上位群も下位群に比べ有意に小さかった. 吉福(1990)は, 下腿部の横断面積が大きいことは, 下肢の慣性モーメントを増大するためパフォーマンスが低下すると報告している. これは, 下肢全体の質量が同じで



あっても遠位に質量の中心がある選手は、走運動時に下肢を動かすために費やされるモーメントが大きくなることを意味している。つまり、マラソン一流選手および記録上位群は、下肢を動かす時に起こる慣性モーメントを小さくするような形態を有していることを意味している。

マラソン一流選手の大腿後部筋厚は、上位群の平均値+1SDより大きかった。走運動時の膝屈曲筋群(e.g.,ハムストリングス)は遊脚相後半で膝関節伸展のブレーキとして働き、接地時に大腿四頭筋とともに膝関節の固定を行った後、立脚期で股関節伸展および膝関節屈曲に貢献する(吉岡ら, 2009)。すなわち、ハムストリングスは、立脚相における前方への加速の中心的役割を担う筋であり、長距離走でも短距離走と同様、走速度に直接寄与する可能性が高いことが考えられる。

大腿直筋では、マラソン一流選手は下位群の平均値+2SDより大きかった。また、大腿前部に対する大腿直筋の割合も、マラソン一流選手は下位群より平均値+1SDより大きく、記録上位群は下位群に比べ有意に大きかった。小山ら(2010)は、陸上長距離選手を大腿直筋(RF)と中間広筋(VI)の割合によって、RF群とVI群の2群に分類し走動作と合わせて検討したところ、5000m記録において両群間に有意な差は認められなかったが、レース中の両群の股関節と膝関節の伸展および屈曲動作の角度・角速度に相違が認められたとしている。吉岡ら(2009)は、日本人エリート長距離選手を対象に、10000m記録と筋の形態との関係について調べたところ、大腿直筋の横断面積が大きい者ほど10000m走記録が低く、有意な正の相関関係( $r=0.632$ )が認められ、大腿四頭筋との間にも同様の相関関係( $r=0.613$ )が認められたとした。本研究で対象とした、一流選手および記録上位群においては、記録下位群よりも大腿直筋の占める割合が大きく、この知見を支持しない結果であった。今回、対象とした長距離選手は女子選手であったため、このような差異をもたらす要因の詳細について本研究の結果から検討することは出来ない。

## 2. 競技成績と有酸素性作業能力との関係

### (1) 最大酸素摂取量, ランニングエコノミー, 呼吸交換比について

記録上位および下位群の最大酸素摂取量, ランニングエコノミー, 呼吸交換比, 乳酸性作業閾値に有意な差はなかった。マラソン一流選手のOBLAは記録上位群および下位群の平均値+2SDより高い値であった。エリート女子陸上長距離選手の最大酸素摂取量は、海外の報告では68.2ml/kg/min(Brown and Wilmore, 1971), 国内では、江橋(1987)のアジア大会優勝者などの値(上位の平均値 $60.78 \pm 5.29$ ml/kg/min; 優勝者67.1ml/kg/min)が報告されている。本研究では、体重当たりの最大酸素摂取量は一流選手では61.7ml/kg/min, 記録上位群では $66.5 \pm 5.1$ ml/kg/min, 下位選手は $66.3 \pm 4.5$ ml/kg/minを示した。本研究で得られた $\dot{V}O_2\max$ は、先行研究で報告されているトップランナーの値と類似したものであった。非常に鍛錬された長距離選手を対象とした場合、最大酸素摂取量が持続的運動パフォーマンスと関連しないとする報告がある(Conely and Krahenbuhl, 1980; Hagberg and Coyle, 1983; Sjödín and Svedenhag, 1985)。言い換えると、最大酸素摂取量が同じ選手を比較したとしても、同じパフォーマンス(タイムや持続時間)になるとは限らない(Basset and Howly, 1997; Costill and Winrow, 1970; Costill et al., 1973)。本研

究でも, 5000 m 走記録は一流選手と記録上位群および下位群選手間で有意に差があり(921s vs. 962.8±13.6s vs. 1002.4±13.9s), その差は平均値-2SD 以上離れていたことから, 本研究で対象とした選手の競技レベルの範囲では, 最大酸素摂取量が競技パフォーマンスに影響する可能性が小さいことを示している. ここでの最大酸素摂取量は, 今回対象とした被検者間の差を説明する要因ではなかったといえる.

## (2) 乳酸性作業閾値, OBLA, 血中乳酸濃度

本研究で, 乳酸性作業閾値は記録上位群および下位群との間に有意な差は認められず, 一流選手の値も記録上位群および下位群の平均値±1SD 以内であった. 血中乳酸濃度では, 一流選手は 180, 210m/min の速度で上位群の平均値+1SD より高く, 300m/min で記録上位群の平均値-1SD より低かった.

最大下運動中の血中および筋中乳酸濃度は, トレーニングによって低下する(Holloszy and Booth, 1976; Hurley et al, 1984). トレーニングによって生じる最大下運動中の乳酸値の低下は, より多くの脂質を優先的に代謝することができるようになる(Hoffman, 2011). それに加えて, トレーニングによるミトコンドリアの増加がピルビン酸から乳酸への変換を減少させることも, 運動中の乳酸値を低下させる要因である. 解糖系によって産出されるピルビン酸が, 乳酸になる前にミトコンドリアに運ばれ有酸素性代謝に利用される. つまり, 血中乳酸濃度の低下に関与するもう 1 つのメカニズムは乳酸除去速度の上昇である(Holloszy, 1988). 遅筋タイプでは酸化能力が高く血中乳酸の産生レベルが低い(Baldwin et al., 1972). このことから, ST 線維の多い選手は血中乳酸の除去速度が速く, より高強度の負荷まで低い血中乳酸で走れることが考えられる. このことから, 一流選手は記録上位群および下位群に比べ, 同じ速度や運動強度で運動するときも血中乳酸が増えにくく, より少ない血中乳酸で運動できる強度が高いということが考えられる.

一方で, OBLA 時の走速度は, 記録上位群と下位群との間に有意な差が認められ, 一流選手の値も記録上位群・下位群の平均値+2SD より高かった. 松生ら(2001)は, 5000m 平均スピードとその速度に対する OBLA スピードの割合は約 90~101%の範囲に分布しているとしており, 5000m 成績に影響を及ぼすことを示した. Sjödin and Schele(1979)の報告では, 5000m 走速度と OBLA 速度との間に  $r = 0.94$  の高い相関関係が示されている. Lacour et al.(1990)は, OBLA と 800m から 5000m までのレース走速度との関係について調べ, 1500m 以上の距離の走速度と相関があったことを示している. OBLA が現れる運動強度( $\% \dot{V}O_{2max}$ )は, トレーニングにより変化する. 非鍛錬者では, 血中乳酸の蓄積は, 最大有酸素能力の  $55\% \dot{V}O_{2max}$  以上で見られるが(Davis et al., 1979), 鍛錬者では  $80\sim 90\% \dot{V}O_{2max}$  程度である(Martin and Coe, 1997). また, 乳酸性作業閾値レベルの高強度のトレーニングを多く取り入れることにより乳酸性作業閾値や OBLA が上がることも報告されている(八田, 2004). Sjödin and Jacobs(1981)は, マラソンの競技成績は OBLA 時の走速度とレース中の走速度の能力と密接に関係していると報告しており, マラソン競技成績に OBLA 時の走速度が関与していることを示唆している.

以上のことから、300m/min 時の血中乳酸濃度で、一流選手は記録上位群および下位群の平均値+2SD より離れている要因は、一流選手が記録上位群および下位群よりも長く OBLA ペースで走ることができることや記録上位群および下位群選手に比べ、より高い乳酸除去速度であったことが推察される。また、本研究で対象とした上位群および下位群のような、現在 5000m を専門としている選手が、今後マラソンを目指すうえで、OBLA 時の走速度を向上させる必要があることを示唆している。

### 3. 競技成績と背筋力との関係

本研究で、背筋力の絶対値と体重当たりの値において記録上位群は下位群に比べ有意に高い値であった。陸上男子長距離選手の筋力について、高校生、大学生、実業団の 3 群に分け体幹筋力(屈曲・伸展筋力)を比較した研究では、背筋力について大学生は高校生・実業団選手に比べて有意に高い値であった(川崎, 2006)。また、3 群の体重あたりの体幹伸展筋力を中速度の 120deg/sec で比較すると、大学生・実業団選手は高校生選手に比べて有意に高い値であったとしており、中速度における体重当たりの体幹の伸展筋力を高めることは、競技力向上のための一要因になると報告している。また、一流選手の体重当たりの背筋力と除脂肪体重当たりの背筋力はそれぞれ 7.9kg と 9.0kg と記録上位群および下位群に比べ高い値であった。これらのことから考えると、体幹の伸展筋力の高さは競技成績に影響する可能性がある。

### 4. 競技成績と最大無酸素パワーとの関係

本研究で、最大無酸素パワーは記録上位群および下位群との間に有意な差は認められず、一流選手の値も記録上位群および下位群の平均値±1SD 以内であった。高橋(2005)は女子選手を対象とし、競技種目別に体力測定を行い自転車ペダリング運動による最大無酸素パワー(MAnP)の測定を行った。その結果、陸上中・長距離選手は $429 \pm 90.7W$ であった。本研究の値は、先行研究よりも低いものであった。川崎(1990)は、中・長距離男子選手を競技レベル別に 3 群に区分し、無酸素性パワーの比較を行った。結果、競技成績の優れた群は、ほかの 2 群よりも有意に最大無酸素パワーが大きかったと報告しており、中長距離の疾走能力を高めるためには反復的な回転運動で出力できるパワーが必要となると述べている。

## V. 要約

本研究は、マラソン世界選手権入賞経験を持つ女子長距離選手の形態的および生理学的な特徴を明らかにすることを目的とした。その結果、一流選手の下腿囲は、記録上位群の平均値-1SD よりも低かった。大腿後部筋厚および背筋力では、一流選手は記録上位群の平均値+1SD より高い値であった。有酸素性作業能力の指標である最大酸素摂取量には群間に差が認められなかったが、一流選手の OBLA は記録上位群の平均値+2SD より高かった。握力、脚伸展パワー、跳躍能力および無酸素性作業能力には群間に差は認められなかった。したがって、競技年数の高い

女子陸上長距離ランナーでは最大酸素摂取量には有意な違いはないが、一流選手では、他の選手よりも大腿後部筋厚および背筋力が高く、OBLA時の走速度が優れていることが明らかとなった。

#### 参考文献

- 安部 孝, 福永 哲夫(1995)日本人の体脂肪と筋肉分布. 杏林書院:東京, p91-108.
- Asmussen, E., and Bonde-Petersen F.(1974) Storage of elastic energy in skeletal muscles in man. *Acta Physiol Scand*, 91: 385-392.
- Baldwin, K.M., Klinkerfuss, G.H., Terjung, R.L., Molé, P.A., and Holloszy, J.O. (1972) Respiratory capacity of white, red, and intermediate muscle: adaptative response to exercise. *Am J Physiol.*, 222 (2): 373-378.
- Basset, D.R., and Howly, E.T.(1997) Maximal oxygen uptake. “Classical” versus “Contemporary” viewpoints. *Med Sci Sports Exerc.*, 29 (5): 591-603.
- Conley D.L., and Krahenbuhl G.S.(1980) Running economy and distance running performance of highly trained athletes. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 12 (5): 357-360.
- Costill D.L.(1967) The relationship between selected physiological variables and distance running performance. *J. Sports. Med. Phys. Fitness.*, 7 (2): 61-66.
- Costill, D. L., and Winrow, E. (1970) A comparison of two middle-aged ultramarathon runners. *Res Q*, 41 (2): 135-139.
- Costill, D.L., Thomason, H., and Roberts E.(1973) Fractional utilization of the aerobic capacity during distance running. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, 5 (4): 248-252.
- Daniels, J., Krahenbuhl G., Foster C., and Gilbert Daniels S.(1977) Aerobic responses of female distance runners to submaximal and maximal exercise. *Ann. N Y. Acad. Sci.*, 301: 726-733.
- Daniels, J.T. (1985) A physiologist’s view of running economy. *Med. Sci. Sports. Exerc.* 17 (3):332-338.
- Davis, J.A., Frank, M.H., Whipp, B.J., and Wasserman, K.(1979) Anaerobic threshold alterations caused by endurance training in middle-aged men. *J Appl Physiol.*, 46 (6): 1039-1046.
- 江橋 博(1987) 一流マラソン選手の体力特性. *J J Sports Sci.*, 6 (11): 703-711.
- Hagberg, J.M., and Coyle, E.F.(1983) Physiological determinants of endurance performance as studied in competitive racewalkers. *Med Sci Sports Exerc.*, 15 (4): 287-289.
- 八田 秀雄(2004) エネルギー代謝を活かしたスポーツトレーニング. 講談社:東京, p65.
- Hoffman J.[著], 福林 徹[監訳], 小西 優, 佐藤 真葵[訳](2011), スポーツ生理学からみたスポーツトレーニング. 大修館書店:東京, 43-44.

- Holloszy, J.O. (1988) Metabolic consequence of endurance exercise training. In *Exercise, Nutrition, and energy metabolism*. Ed. E.S. Horton and R.L. Terjung, Macmillan: America, 116-131.
- Holloszy, J.O., and Booth, F.W. (1976) Biochemical adaptations to endurance exercise in muscle. *Annu Rev Physiol.*, 38: 273-291.
- 岩竹 淳, 山本 正嘉, 西菌 秀嗣, 川原 繁樹, 北田 耕司, 関子 浩二 (2008) 思春期後期の生徒における加速および全力疾走能力と各種ジャンプ力および脚筋力との関係. *体育学研究*, 53:1-10,
- 金子 公宥, 豊岡 示朗, 宮側 敏明: 種々負荷強度のトレーニングが全身持久性に及ぼす効果 (1973). *大阪体育大学紀要*, 5:15-21.
- 川崎 勇二 (1990) 陸上競技選手のアネロビックパワーに関する一考察 : 中長距離選手の競技能力に及ぼす影響について. *中央学院大学教養論叢*, 3(1), 65-78.
- 川崎 勇二 (2006) 陸上競技長距離選手の筋力特性について : 体幹筋力と競技能力の関連性. *中央学院大学人間・自然論叢* (23), 3-16.
- Lacour, J.R., Padilla-Magunacelaya, S., Barthélémy, J.C., and Dormois, D. (1990) The energetics of middle-distance running. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, 60(1): 38-43.
- Martin, D.E., and Coe, P.N. (1997) *Better training for distance runners*. 2nd ed, Champaign, IL, Human Kinetics.
- 松生 香里, 福嶋 利浩, 和田 光代, 豊岡 示朗 (2001) 男子長距離ランナーの OBLA スピード推定簡易法. *大阪体育大学紀要*, 32:33-39.
- Novak, L.P., Hyatt, R.E., and Alexander, J.F. (1968) Body composition and physiologic function of athletes. *J.A.M.A.*, 205(11): 764-770.
- 小山 桂史, 仲村 明, 柳谷 登志雄 (2010) : 大腿直筋と中間広筋の筋厚比が陸上競技における長距離走選手の走動作に及ぼす影響. *トレーニング科学*, 22(4), 347-355.
- Pannier, J.L., Vrijens, J., and Van Cauter, C. (1980) Cardiorespiratory response to treadmill and bicycle exercise in runners. *Eur J Appl Physiol Occup Physiol.*, 43(3): 243-251.
- Sjödin, B., Jacobs, I., and Svedenhag, J. (1985) Changes in onset of blood lactate accumulation (OBLA) and muscle enzymes after training at OBLA. *Eur J Appl Physiol. Occup Physiol.*, 49(1): 45-57.
- Sjödin, B., and Jacobs, I. (1981) Onset of blood lactate accumulation and marathon running performance. *Int J Sports Med.* 2(1), 23-26.
- Sjödin, B. and Schele, R. (1979) Anaerobic Threshold .In: *Exercise and Sports Biology*. International Series on Sports Science. 12, IL, 43-75.
- Sprynarová S., and Parízková J. (1971) Functional capacity and body composition in top weight-lifters, swimmers, runners and skiers. *Int Z Angew Physiol*, 29(2): 184-194.

- 高橋 篤志 (2005) 女子選手の競技種目別にみた最大無酸素パワー並びに最大有酸素パワー. 大阪城南女子短期大学研究紀要 39, 35-46.
- Wasserman, K., Whipp, B.J., Koyl, S.N., and Beaver, W.L. (1973) Anaerobic threshold and respiratory gas exchange during exercise. J Appl Physiol., 35(2): 236-243.
- Wilmore J.H. (1983) Body composition in sport and exercise: directions for future research. Med Sci Sports Exerc., 15(1): 21-31.
- 山地 啓司 (1995) 最大酸素摂取量の科学. 杏林書院: 東京, 56-73.
- 吉福 康郎 (1990) スポーツ上達の科学. 講談社: 東京, p208.
- 吉岡 利貢・中垣 浩平・向井 直樹・鍋倉 賢治 (2009) 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(1): 89-98.