有酸素及び無酸素的作業能の性差に関する研究

----同一 performance を持つ男女の比較----

名古屋工業大学 大 桑 哲 男 (共同研究者) 同 字津野 年 一

A Study of Sex Differences
in
the Aerobic and Anaerobic Work Capacity
—Comparison of Male and Female
with Similar Performance—

by

Tetsuo Ohkuwa and Toshikazu Utsuno Nagoya Institute of Technology

ABSTRACT

Seven male and seven female subjects with similar performance were selected to run 400m and 3,000m in order to examine the difference between the sexes in anaerobic and aerobic work capacity. The mean velocity of 400m and 3,000m runs was $5.3\pm0.3\text{m}\cdot\text{sec}^{-1}$ and $3.5\pm0.3\text{m}\cdot$ \sec^{-1} for males and $5.5\pm0.2 \text{m}\cdot \text{sec}^{-1}$ and $4.0\pm0.3 \text{m}\cdot \text{sec}^{-1}$ for females, re-There was no significant difference in the running velocity of males or females in either the running of 400m and 3,000m. lactate level after the 400m and 3,000m runs in males was a little higher than in females, but no significant difference existed between males and A correlation of r=0.76 (p<0.05) and r=0.85 (p<0.02) was found between velocity of 400m run and peak blood lactate concentration in the males and females. The glycerol concentration after 400m and 3,000m run did not differ significantly between male and female groups. In all subjects a high correlation coefficient (r=0.62, p<0.05) was observed between the running velocity at 3,000m and the concentration of glycerol in the blood. In the 400m and 3,000m runs there was

no significant difference in the catecholamine in the blood.

From these results, it is suggested that the energy supply of aerobic and anaerobic exercise may be identical qualitatively, but not quantitatively, in both male and female subjects with respect to lactate, glycerol and catecholamine in blood.

要 旨

performance の等しい男女に 400m および 3,000m 疾走を行わせ,乳酸,グリセロール,アドレナリンおよびノルアドレナリンから無酸素および有酸素的運動でのエネルギー供給機構の性差を検討した。400m 疾走での男子の平均スピードは $5.3\pm0.3\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{sec}^{-1}$,女子では $5.5\pm0.2\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{sec}^{-1}$,3,000m 疾走では男子が $3.5\pm0.3\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{sec}^{-1}$,女子が $4.0\pm0.3\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{sec}^{-1}$ であり,両疾走とも平均スピードにおいて性差は認められなかった.

乳酸濃度は、400m疾走および3,000m疾走後、ともに男子の方が少し高い値を示したが、有意な差ではなかった。また、400m 疾走において、乳酸濃度は平均スピードと高い相関関係が認められた(男子は r=0.76, p<0.02, 女子は r=0.85, p<0.02).

グリセロール濃度も乳酸同様、性差は認められなかった、3,000m疾走において、グリセロール濃度は平均スピードとの間に r=0.62 (p<0.05) と、有意な相関関係が認められた.

カテコールアミンも 400m および 3,000m 疾走後に有意な性差は認められなかった。 400m 疾走後,アドレナリンは,乳酸と密接な関係が認められた(r=0.62,p<0.02).

以上の結果から、performance の等しい男女の 無酸素的運動および有酸素的運動に対するエネル ギー供給機構は、少なくとも質的には同じである と言えよう.

緒 言

作業能力の性差に関するこれまでの研究は,男女の世界記録や日本記録を比較したもの 16 ,同年代の一般男女を比較したもの 2,6,15,19 ,同じ程度のトレーニングを規則的に行っている男女選手を対象にした報告 3 ,などがある.これらの結果は,いずれも男子の方が女子に比べ優れていると報告されている.

一方、Davies 6^3 は、一定スピードでの疾走中の酸素摂取量($\dot{V}O_2$)に性差は認められなかったと報告し、Favier 6^6)は、最大酸素摂取量($\dot{V}O_2$ max)の80%強度での自転車作業において、 $\dot{V}O_2$ とホルモンに性差は認められなかったが、血中遊離脂肪酸(FFA)は女子の方が高かったと述べている。このように、体力差を考慮して性差を検討する試みもなされてきた。

鈴木ら $^{21)}$ は,一般男女大学生を対象に12分間走 テストを実施し,疾走能力の等しい男女について $\dot{\mathbf{V}}O_2$ max を測定したところ, $\dot{\mathbf{V}}O_2$ max に有意な 性差が認められなかったと報告している. しかし ながら,最大努力での有酸素的運動および無酸素 的運動において,同一 performance を持つ男女 について,エネルギー供給物質とそれらを制御しているホルモンから性差を検討した報告は見当たらない.

そこで本研究は、等しい疾走能力を持つ男女を対象に、400m および 3,000m 全力疾走を行わせ、カテコールアミン、乳酸、グリセロールから、エネルギー供給機構の性差を検討した。

実験方法

被検者は、日常規則的な運動を行っていない、 男子 7名(年齢 23 ± 3 歳、身長 170.0 ± 5.9 cm、 体重 67.6 ± 7.3 kg)と、実業団ハンドボールチームに所属する女子選手 7名(年齢 20 ± 2 歳、身長 162.6 ± 7.0 cm、体重 59.9 ± 4.8 kg)である。女子選手はハンドボール技術練習および体力トレーニングを週 6 日、1 日 $3\sim4$ 時間、 $4\sim7$ 年間行っている。400m および 3,000m 全力疾走は、400m トラックを使用し、別々の日に行った。実験はほとんど風のない日を選んで実施し、各走行タイムは、ストップウォッチで測定した。なお、女子における 3,000m 疾走は 5 名であった。

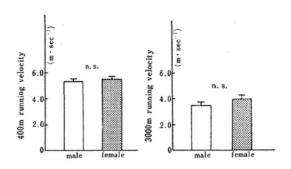
血液は、400m および3,000m 疾走後1分目に 15ml, その後3分、5分、7.5分、10分に 5ml ず つ採取し、各測定項目において、各個人5回の測定値のうち最も高い値を各項目の peak 値とした. なお、Hagberg ら⁹)は、運動後1分目にカテコールアミンの peak 値が得られると報告していることから、本研究では、各疾走後1分目の値を peak 値とした. カテコールアミンは、HPLC-THI 法¹⁷)(High pressure lipid chromatographytrihydroxy indole)、乳酸は Hohorst¹¹)による酵素法、グリセロールは、Eggstein ら⁵)の変法によって測定した.

食事は、走行 4 時間前に摂取させ、走行前に十分 warming up を行わせた. 各測定項目の 男女の有意差検定は、t 検定を用いて行った.

実験結果

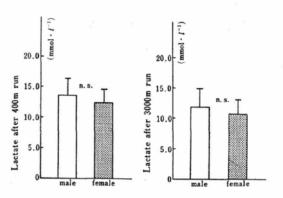
図1には、400m および3,000m 疾走スピード を男女について示した。

400m疾走における スピード の平均値と標準偏差は、 男子が $5.3\pm0.3\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{sec}^{-1}$ 、 女子 が $5.5\pm0.2\,\mathrm{m}\cdot\mathrm{sec}^{-1}$ とほぼ同じ値を示し、両者の間には統計的な有意差は認められなかった. $3,000\,\mathrm{m}$ 疾



Sex differences in 400m and 3,000m running velocity

走スピードの 平均値と 標準偏差は、 男子 $3.5\pm$ 0.3m·sec^{-1} 、 女子 $4.0\pm0.3\text{m·sec}^{-1}$ であり、 両 群に有意差は認められなかった.



Sex differences in blood lactate concentration after 400m and 3,000m run

図 2 は、400m および 3,000m 疾走後の血中乳 酸濃度の peak 値を両群について比較したもので ある.

400m疾走における血中乳酸濃度の peak 値は、男子 13.6 ± 2.8 mmol· l^{-1} 、女子 12.4 ± 2.2 mmol· l^{-1} と、わずかに男子の方が女子のそれと比べ高い値を示したが、統計的に有意な差は認められなかった。また、3,000m 疾走では、男子 12.0 ± 3.1 mmol· l^{-1} 、女子 10.8 ± 2.4 mmol· l^{-1} とほぼ等しい値を示し、これも有意差は認められなかった。

図3は、400m 疾走後の乳酸濃度 peak 値と疾走スピードの関係を示したものである.

男子の相関係数 (r) は0.76,女子では0.85,彼検者全員では0.63であり、いずれも2%あるい

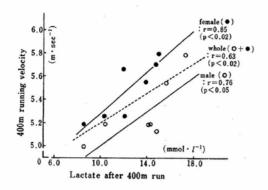


図3 Relationship between 400m running velocity and blood lactate concentration after 400m run

は 5%水準で有意な関係が認められた。しかしながら、3,000m 疾走でのスピードと乳酸 peak 値との間には、有意な相関関係は認められなかった。

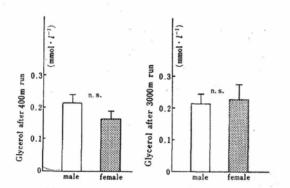


図4 Sex differences in blood glycerol concentration after 400m and 3,000m run

図 4 は、400m と 3,000m 疾走におけるグリセロール peak 値の平均値と標準偏差を示したものである。

400m疾走では、男子 0.214 ± 0.026 mmol· l^{-1} 、女子 0.165 ± 0.027 mmol· l^{-1} であり、両群間に有意差は認められなかった。また、3,000m 疾走においては、男子 0.216 ± 0.031 mmol· l^{-1} 、女子 0.234 ± 0.044 mmol· l^{-1} と、わずかに女子が高値を示したが、有意差は認められなかった。

図5には、3,000m疾走でのグリセロール peak 値と疾走スピードの関係を示した.

男子は r=0.63 (p>0.05), 女子は r=0.51 (p

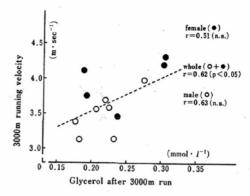


図5 Relationship between 3,000m running velocity and blood glycerol concentration after 3,000m run

>0.05) であったが、被検者全員では r=0.62 と、5%水準で有意な相関係数が得られた.

一方,400m疾走においては,男子 r=0.50 (p>0.05),女子 r=0.60 (p>0.05),全員ではr=-0.28 (p>0.05) であった.

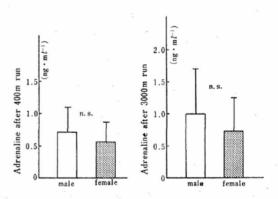


図 6 Sex differences in adrenaline after 400m and 3,000m run

図6は、400m および3,000m 疾走後のアドレナリン濃度を両群で比較したものである.

400m 疾走 および 3,000m 疾走ともに男女差は 認められなかった.

図7は、400m および3,000m 疾走後のノルアドレナリン濃度を両群で比較したものであり、両疾走とも性差は認められなかった.

考 察

これまでに身体作業能力の性差に関する報告は 数多くなされている. これらは、男女の per-

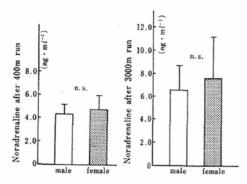


図7 Sex differences in noradrenaline after 400m and 3,000m run

formance¹⁶⁾ および resources^{2,6,15,19)} を比較したものや,体力差を考慮し,相対的に同じ負荷を加え,男女を比較したものがある^{3,6)}. 鈴木ら²¹⁾は,12分間走テストでの performance の等しい男女の体重当りの $\dot{\mathbf{V}}\mathbf{O}_2$ max には性差は認められなかったと報告している.

本研究では、無酸素的運動である 400m 全力疾 走と有酸素的運動 で ある 3,000m 疾走を、performance の等しい男女被検者に行わせ、 ホルモ ン および エネルギー 供給物質から 性差を検討し た.

400m 疾走は、glycolysis による エネルギーを主に利用して運動を遂行していることはよく知られている 8,10 . 本実験では、400m スピードと乳酸 peak 値との間には、男子 10 r=0.76 (10 0.05)、女子 10 1 ともに有意な相関関係が認められた(図3). この結果から、乳酸生成能力の高い人は、高い performance を発揮することが可能であると言える. しかしながら、図3に示すように、同一スピードに対する男子の血中乳酸濃度は、女子に比べ高い傾向にあった.

Donavan と Brooks は、最近、乳酸濃度に対するトレーニング効果は、乳酸の生成ではなく、消却に認められると報告している。本実験における女子の被検者は、毎日トレーニングを行っていることから、男子に比べ乳酸の消却能力が高く、そのために、同一スピードに対する乳酸濃度が低

くなったことが考えられる.しかしながら,図2に示したように,400m 疾走後の乳酸 peak 値に 男女差が認められなかったことから,同一 performance を持つ男女の400m 疾走での解糖系のエネルギー供給には性差がないものと 考えられる.

長時間にわたる最大下運動において、脂肪はエネルギー供給に重要な役割を果すことが知られている^{7,13)}. これは、本実験結果(図 5)、すなわち400m全力疾走のような無酸素的運動において、グリセロールとスピードとは有意な関係は認められなかったが、3,000m疾走において、グリセロールは疾走スピードと密接な関係(r=0.62、p<0.05)が認められたことと一致している。グリセロールは脂肪分解の良い指標である¹²⁾ことから、最大運動においても脂肪分解能力の高い者ほど高いスピードで走行できると言える。これは、持久的なトレーニングを行うと、脂肪を酸化する能力が高まるとする Costill ら¹⁾ の報告にも一致している。

ところで、エネルギー基質の供給と動員は、ホルモンによって制御されている 14,18)。Lehmannら 14)及び Pequignot 18)らは、最大下運動において、アドレナリンおよびノルアドレナリンは乳酸と密接な関係を有することを認めている。本実験でも、400m疾走において、アドレナリンと乳酸は有意な相関関係(r=0.62、p<0.02)が認められた(表1)。

これは、短時間の激しい運動において、アドレナリンはグリコーゲン分解を促し、エネルギー供給に重要な役割を果していることを示唆するものである.

一方、Pequignot ら 18 は、ノルアドレナリンと 乳酸およびグリセロールとは高い相関関係を有することを報告しているが、本研究では、400m疾 走において、ノルアドレナリンは乳酸とは r=

Lactate	Glycerol	Adrenaline	N or adrenaline		
0.63**	-0.26	0.26	0.18		
	0.28	0.62**	0.35		
_	_	0.19	-0.12		
_	_	_	0.55*		
	0.63**	0.63** -0.26	0.63**		

表 1 Inter-correlation between physiological parameters measured after 400m run (n=14)

表2 Inter-correlation between physiological parameters measured after 3000m run (n=12)

		0.0000			
	Lactate	Glycerol	Adrenaline	Noradrenaline	
Velocity	0.29	0.62*	-0.13	0.36	
Lactate	_	0.53	0.44	0.33	
Glycerol	_		0.33	0.17	
Adrenaline	_			0.32	

^{*=}p<0.05

0.35, グリセロールとは r=-0.12と, 両群間に有意な関係は認められなかった. さらに 3,000m 疾走においても,ノルアドレナリンは乳酸との間に r=0.33, グリセロールとの間に r=0.33, グリセロールとの間に r=0.17 と,いずれも有意な関係は認められなかった(表 1,2).

こうした違いは、Pequignot ら¹⁸⁾は、最大下運動でしかも漸増負荷で運動を行っているのに対し、本実験では、一定スピード(強度)で運動しているためと考えられる。さらに他の要因として、Hagberg⁹⁾も述べているように、カテコールアミンは副腎髄質あるいは交感神経から放出された後、すぐにそれ自体が生合成、再摂取されたりすることとも関係しているものと考えられる。こうしたことから、カテコールアミン、乳酸、グリセロールは、運動の質や量によって、それらの反応も異なってくることが予想され、さらに検討する必要があろう。しかしながら、本研究において、400m および3,000m 疾走後のカテコールア

ミン,乳酸,グリセロールに性差は認められなかったことから,performanceの等しい男女の無酸素的運動および有酸素的運動に対するエネルギー供給機構は,少なくとも質的には同じであると言えよう.

文 献

- Costill, D.L., Fink, W.J., Getchel, L.H., Ivy, J.L. and Witzmann, F.A.; Lipid metabolism in skeletal muscle of endurance-trained males and females. J. Appl. Physiol. 47 (4): 787-791 (1979)
- Cureton, K.J., and Sparling, P.B.; Distance running performance and metabolic responces to running in men and women with excess weight experimentally equated. *Med. Sci. Sports.* 12

 (4): 288—294 (1980)
- Davies, C.T.M., Thompson, M.W.; Aerobic performance of female marathon and male ultramarathon athletes. Eur. J. Appl. Physiol. 41: 233-245 (1979)
- 4) Donovan, C.M., Brooks, G.A.; Endurance training affects lactate clearance, not lactate pro-

^{*=}p<0.05, **=p<0.02

- duction. Am. J. Physiol. 244: E83-E92 (1983)
- Eggstein, M. and Kreutz, F.H.; Eine neue Bestimmung der Neutralfette im Blutserum und Gewebe. Klin. Wschr. 44: 262-267 (1966)
- 6) Favier, R., Pequignot, J.M., Desplanches, D., Mayet, M.H., Lacour, J.R., Peyrin, L., and Flandrois, R.; Catecholamines and metabolic responses to submaximal exercise in untrained men and women. Eur. J. Appl. Physiol. 50: 393-404 (1983)
- Felig, P., and Wahren, J.W.; Fuel homeostasis in exercise. N. Engl. J. Med. 293: 1078-1084 (1975)
- Fujitsuka, N., Yamamoto, T., Ohkuwa, T., Saito, M., and Miyamura, M.; Peak blood lactate after short periods of maximal treadmill running. Eur. J. Appl. Physiol. 48: 289-296 (1982)
- Hagberg, J.M., Hickson, R.C., Mclane, J.A., Ehsani, A.A., and Winder, W.W.; Disappearance of norepinephrine from the circulation following strenuous exercise. J. Appl. Physiol. 47 (6): 1311-1314 (1979)
- Hermansen, L., and Vaage, O.; Lactate disappearance and glycogen synthesis in human muscle after maximal exercise. Am. J. Physiol.
 233 (5): E422—E429 (1977)
- 11) Hohorst, H.J.; L-Lactat Bestimung mit Lactat-Dehydrogenase und DPN. In: Methods of enzymatic analysis weiheim, West Germany; Verlag Chemie, pp. 266—270 (1962)
- 12) Keul, J., Kohler, B., Glutz, G., Lüthi, U., Berg, A., and Howald, H.; Biochemical changes in a 100km run: carbohydrates, lipids, and hormones in serum. Eur. J. Appl. Physiol. 47: 181—189 (1981)
- 13) Lavoie, J.-M., Cousineau, D., Péronnet, F., and Provencher, P.J.; Metabolic and hormonal re-

- sponses of elite swimmers during a regular training session. Eur. J. Appl. Physiol. 50: 173—177 (1983)
- 14) Lehmann, M., Keul, J., Berg, A., and Stippig, S.; Plasmacatecholamine und metabolishe Veränderungen bei Frauen während Laufbandergometrie. Eur. J. Appl. Rhysiol. 46: 305 —315 (1981)
- 15) Macnab, R.B., Conger. P.R., Taylor, P.S.; Differences in maximal and submaximal work capacity in men and women. J. Appl. Physiol. 27 (5): 644-648 (1969)
- 16) 松井秀治,小林寛道; V章スポーツ活動とスタミナ,講座現代スポーツ科学6 スポーツとスタミナ,松井秀治編著,大修館書店, pp. 164-174 (1978)
- 17) 守和子;カテコールアミンの高速液体クロマトグラフィーによる分析(第2報)キャパシティーファクターにおよぼす移動相とカラム温度の影響,産業医学 16:494-495 (1974)
- 18) Pequignot, J.M., Peyrin, L., and Peres, G.; Catecholaminefuel interrelationships during exercise in fasting men. J. Appl. Physiol. 48 (1): 109— 113 (1980)
- 19) Quirk, J.E., and Sinning, W.E.; Anaerobic and aerobic responses of males and females to rope skipping. Med. Sci Sports. 14 (1): 26-29 (1982)
- 20) Sparling, P.B., and Cureton, K.J.; Biological determinants of the sex difference in 12-min run performance. *Med. Sci. Sports.* **15** (3): 218-223 (1983)
- 21) 鈴木邦雄,久米秀作,安田正純;性差からみた有酸素的作業能の検討一同一のパフォーマンスを持つ男女のリソースについて一,体育の科学,32,(5):371-373 (1982)