

ウォーミングアップがパフォーマンスと有酸素 および無酸素性エネルギー代謝に及ぼす影響

共 愛 学 園 後 藤 真 二
女子短期大学

(共同研究者) 筑波大学 池 上 晴 夫

Effects of Warming-up on Performance and Energy Metabolism

by

Shinji Goto

Kyoai Gakuen Women's Junior College

Haruo Ikegami

Institute of Health and Sports Science, University of Tsukuba

ABSTRACT

This study was made to examine the effects of warming up (W-up) on performance and energy metabolism during 6-minutes bicycle exercise. Four healthy male adults participated in the study. Two of them were studied two times. Criterion task (CT) consisted of 5-minutes submaximal exercise followed by 1-minute maximal exercise. The intensity of 10-minutes W-up was a work load corresponding to the anaerobic threshold.

Work rate during the maximal exercise of W-up experiments was 14.8% ($P < 0.05$) higher than that of control experiments. Total work was significantly higher (4.3%) during CT after W-up compared with CT without W-up. These results indicate that this kind of W-up is beneficial to performance of this type of exercise.

Oxygen uptake in the earlier part of CT was significantly higher during W-up conditions. Total oxygen consumption of W-up experiments was 4.3% higher than that of control experiments ($P < 0.05$).

Deferences in lactate before and after CT (Δ LaIII) was found to be significantly lower in experiments with W-up compared with control one. These results suggest that part of the lactate produced during W-up can be used as an energy source during CT.

要 旨

本研究は、ウォーミングアップが6分間自転車運動中のパフォーマンスとエネルギー代謝に及ぼす影響を検討することを目的とした。被験者は4名の健康な成人男子であり、彼らのうち2名は実験を2回繰り返した。主運動は5分間最大下運動とそれに続く1分間最大運動から構成した。10分間ウォーミングアップの強度は無酸素性作業閾値強度に相当するものとした。

主運動の全力運動中の仕事率は、ウォーミングアップ実験で14.8% ($P < 0.05$) 高かった。主運動中の総仕事量もウォーミングアップ実験でコントロール実験に比べて有意に(4.3%)高かった。これらの結果は、このようなウォーミングアップはこのタイプの運動のパフォーマンスに有効であることを示す。

主運動前半の酸素摂取量はウォーミングアップ実験で有意に高かった。ウォーミングアップ実験の総酸素消費量はコントロール実験よりも4.3%高かった。主運動前後の血中乳酸濃度の差(Δ La III)はコントロール実験に比べて、ウォーミングアップ実験で有意に低かった。以上の結果はウォーミングアップ中に生産された乳酸の一部が主運動中にエネルギー源として利用される可能性を示唆する。

1. 緒 言

一般に激しいスポーツや競技の前には、より高いパフォーマンスを発揮する目的でなんらかの準備運動を実施することが通常行われており、これ

はウォーミングアップと呼ばれている。

ウォーミングアップがその後の運動のパフォーマンスに及ぼす効果に関しては、これまでに多くの研究がなされている。しかしながらそれらの結果は必ずしも一致しておらず、ウォーミングアップを実施することによってその後の運動のパフォーマンスを高めるためには、ウォーミングアップの内容、すなわち運動様式、パターン、強度、持続時間、およびウォーミングアップと主運動の間の休息を主運動によって考慮する必要のあることが示唆されている^{4,16,17,21}。

一方ウォーミングアップがその後の運動中の生理学的パラメータに与える影響についても、これまでに少なからず研究がなされている。それらの報告では、ウォーミングアップがその後の運動中の生理学的パラメータ、中でも有酸素エネルギーに関連するパラメータには好ましいと考えられる影響を与えることが認められた例が多い^{8,13,14,18,22,23}。

しかしパフォーマンスと生理学的パラメータの両面からウォーミングアップの効果を検討した研究は多くなく、両者の関係についてはまだ不明な点も少なくない^{1,2,3,9,15}。特に無酸素エネルギーに関連するパラメータも含めてウォーミングアップの効果を検討した報告は少ない^{5,6,12}。

ところで筆者らは80% $\dot{V}_{O_{2max}}$ 強度で5分間の自転車運動を行う場合に、事前にウォーミングアップを行うと、行わなかった場合に比べて血中乳酸蓄積速度が遅くなることを報告した¹¹。このことはウォーミングアップはこれまで多く報告されてきた有酸素性代謝に対してばかりでなく、無

酸素性代謝にたいしても影響を与え、運動中の血中乳酸蓄積速度を遅くし、パフォーマンスにも有効に作用することが推察される。

そこで本研究ではウォーミングアップが主運動のパフォーマンスと有酸素およびこれまであまり検討されていない無酸素エネルギー代謝にどのような影響を与えるかを検討することを目的とした。

2. 研究方法

被験者は健康な成人男子4名であった。彼らの身体的特性は表1に示した。

運動には自転車エルゴメータを用いた（モナーク社製）。

最大酸素摂取量および無酸素性作業閾値は以下の方法で、負荷漸増法によって決定した。ペダル回転数は毎分60回転とし、初めの2分間は0ワットの負荷で運動を行い、以後疲労困憊に至るまで2分ごとに30ワットづつ負荷を増加した。呼気ガスパラメータは自動呼気ガス分析装置（アニマ社製RM-1500）によって1分ごとに測定し、同時に心拍数を胸部双極誘導の心電図法によって記録した。無酸素性作業閾値は、負荷強度を横軸に、各負荷強度の後半1分間の分時換気量を縦軸にとって作図して、換気量が非直線的に急増加する点をもって決定した。

主運動は6分間の自転車運動とし、5分間の最

大下運動と、それに続く1分間の最大努力運動とで構成した。5分間の最大下運動の負荷は80% $\dot{V}O_{2max}$ （ペダル回転数は60回転/分）とし、最大努力運動時には自転車エルゴメータの重りの重さは最大下運動時と同一として被験者にできるだけ速くペダルを回転するように指示し、ペダル回転数を自作タコメータによって記録して1分間の仕事率を算出し、パフォーマンスの指標とした。

ウォーミングアップ実験では、ウォーミングアップとして主運動の前に無酸素性作業閾値強度での10分間自転車運動（60回転/分）を行い、ウォーミングアップと主運動の間に5分間の休息をはさんだ。一方コントロール実験では、主運動の前は被験者に安静を保持させた。

実験はそれぞれ別の日の午前中に実施し、被験者には前日より激しい身体活動をひかえ、とくに実験当日は起床後できるだけ身体活動をひかえるよう指示した。それぞれの実験は少なくとも48時間以上の間隔を取って実施し、実験の順序はランダムとした。なお被験者K. N.とK. K.の2名はそれぞれの実験を2回ずつ実施した。

実験中の呼気ガスパラメータは前述の自動呼気ガス分析装置を用いて、30秒ごとに測定した。心拍数も最大酸素摂取量測定時と同様の方法で実験中を通して記録した。コントロール実験では安静、主運動5分目、主運動終了後1分、3分、5分、7分、および30分目に、ウォーミングアップ実験

表1 Physiological characteristics of subjects

subject	age (years)	height (cm)	weight (kg)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg·min)	AT (% $\dot{V}O_{2max}$)
K. N.	22	175.0	66.5	52.6	60.4
K. K.	26	165.0	63.5	58.0	57.1
Y. I.	24	169.5	74.0	50.1	66.0
K. T.	22	162.0	59.0	56.1	62.7
Mean	23.5	167.9	65.8	54.2	61.5
S. D.	±1.9	±5.7	±6.3	±3.5	±3.4

ではそれに加えてウォーミングアップ終了後2分30秒目と主運動直前に肘静脈から採血して、血中乳酸濃度を乳酸分析器 (Loche 社製 Model 640) で測定した。

3. 研究結果

ウォーミングアップの8分目から10分目の酸素摂取量は平均 $2422 \pm 126 \text{ ml}$ ($66.1 \pm 4.7\% \dot{V}_{O_{2max}}$) で、無酸素性作業閾値の酸素摂取量 2263 ml よりもやや高かった。なおその際の心拍数は 155.2 ± 14.7 拍/分であった。

主運動の最後の1分間の仕事率はウォーミングアップ実験では $2030.0 \pm 245.3 \text{ kpm/min}$ でコントロール実験の $1767.6 \pm 318.9 \text{ kpm/min}$ に比べて14.8%高かった ($P < 0.05$)。6分間の総仕事量はコントロール実験で $8437 \pm 680 \text{ kpm}$ とコントロール実験の $8089 \pm 713 \text{ kpm}$ よりも4.3%高かった ($P < 0.05$)。

主運動中の呼気ガスパラメータの変化は表2および図1, 2に示した。酸素摂取量はウォーミン

グアップ実験において主運動開始から3分目まで有意に高い値を示した。しかし最大努力運動時のそれは両実験でほとんど差がなかった。主運動6分間の総酸素消費量は、ウォーミングアップ実験では $16.1 \pm 1.1 \text{ l}$ で、コントロール実験の $15.4 \pm 0.6 \text{ l}$ に比べて4.3%高かった ($P < 0.05$)。

分時換気量は主運動前半にはウォーミングアップ実験で高い傾向を示し、1分目では有意に高かった。一方二酸化炭素排出量および呼吸商には有為差は認められなかった。

心拍数の変化は図3に示した。主運動直前の心拍数はウォーミングアップ実験で約20拍/分高かった ($P < 0.05$)。主運動中もウォーミングアップ実験で有意に高値を示したが、両者の差は時間とともに小さくなる傾向にあった。

血中乳酸濃度の変化は表3および図4に示した。安静時の血中乳酸濃度は両実験で有意差は認められなかった。ウォーミングアップを行うと血中乳酸濃度は増加して、ウォーミングアップ終了後2分30秒目で $4.14 \pm 1.63 \text{ mmol/l}$ 、主運動直

表2 Conditions in respiratory gas parameters with or with or without warming up

Parameter	Conditions	Rest	Pre-Ex.	~1'	~2'	~3'	~4'	~5'	~6'
\dot{V}_{O_2}	Control Mean	266	277	1385	2407	2667	2825	2941	3186
	S. D.	± 17	± 83	* ± 107	* ± 90	* ± 152	± 101	± 75	± 246
	W-up Mean	270	388	1668	2587	2830	2907	2912	3180
	S. D.	± 53	± 131	± 292	± 164	± 148	± 164	± 187	± 327
\dot{V}_{CO_2}	Control Mean	214	222	1044	2322	2832	2964	2969	3365
	S. D.	± 15	± 69	± 176	± 212	± 279	± 295	± 245	± 302
	W-up Mean	230	370	1343	2400	2904	2967	2938	3436
	S. D.	± 57	± 142	± 355	± 364	± 320	± 287	± 300	± 226
RQ	Control Mean	0.81	0.81	0.75	0.96	1.06	1.05	1.01	1.06
	S. D.	± 0.08	± 0.08	± 0.11	± 0.09	± 0.08	± 0.08	± 0.06	± 0.02
	W-up Mean	0.85	0.95	0.80	0.92	1.03	1.02	1.01	1.09
	S. D.	± 0.07	± 0.07	± 0.10	± 0.10	± 0.11	± 0.09	± 0.11	± 0.08
\dot{V}_E	Control Mean	9.4	9.4	34.9	69.5	87.1	97.8	102.0	131.8
	S. D.	± 0.7	± 2.4	* ± 3.7	± 5.7	± 9.9	± 15.2	± 15.2	± 19.7
	W-up Mean	9.2	15.3	45.5	73.1	91.9	97.9	100.8	134.5
	S. D.	± 1.7	± 4.3	± 10.3	± 7.8	± 14.3	± 18.6	± 20.8	± 28.7

* ; $P < 0.05$

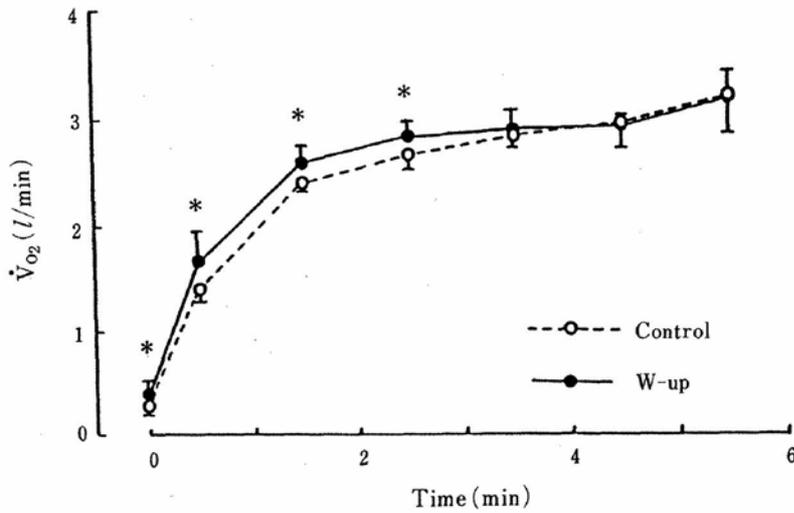


図1 Changes in oxygen uptake during 6-minutes exercise with or without warming up. Asteriks indicate statistically significant differences between two experiments.

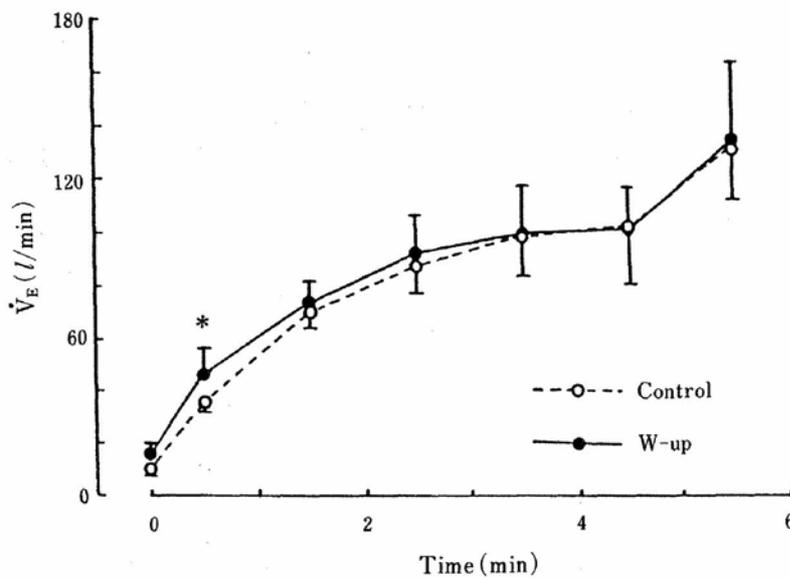


図2 Changes in ventilation during 6-minutes exercise with or without warming up. Asteriks indicate statistically significant differences between two experiments.

前では $3.58 \pm 1.21 \text{ mmol/l}$ といずれも安静値に比べて有意に高かった。主運動を行うと血中乳酸濃度はいずれの実験でも増加し、主運動5分目の血中乳酸濃度はウォーミングアップ実験で $6.37 \pm 1.13 \text{ mmol/l}$ とコントロール実験の $5.20 \pm 0.82 \text{ mmol/l}$ に比べて高い傾向を示したが差は有為ではなかった。主運動5分目の血中乳酸濃度

と主運動前の値との差 (以下 $\Delta \text{La I}$ と略す) はウォーミングアップ実験では $2.79 \pm 0.19 \text{ mmol/l}$ であり、コントロール実験の $4.40 \pm 0.88 \text{ mmol/l}$ に比べて有意に低値であった。

主運動後の血中乳酸濃度の最高値 (以下ピーク La と略す) は両実験ではほぼ等しかった (コントロール実験 vs. ウォーミングアップ実験; 11.96

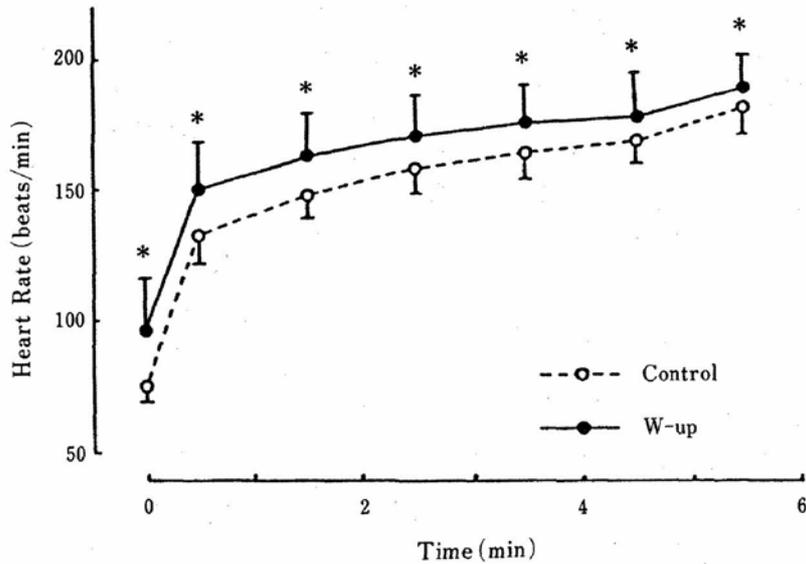


図3 Changes in heart rate during 6-minutes exercise with or without warming up. Asterisks indicate statistically significant differences between two experiments.

表3 Datas of blood lactate concentratio with or without warming up.

Conditions	Rest	Pre-Exer	5 minuts	La peak	Δ La I	Δ La II	Δ La III
Control Mean	0.80	0.80	5.20	11.96	4.40	6.76	11.16
S. D.	± 0.22	* ± 0.22	± 0.82	± 1.66	* ± 0.88	± 1.30	* ± 1.60
W-up Mean	0.91	3.58	6.37	11.47	2.79	5.10	7.89
S. D.	± 0.33	± 1.21	± 1.13	± 1.73	± 0.19	± 1.04	± 1.04

* ; $P < 0.05$

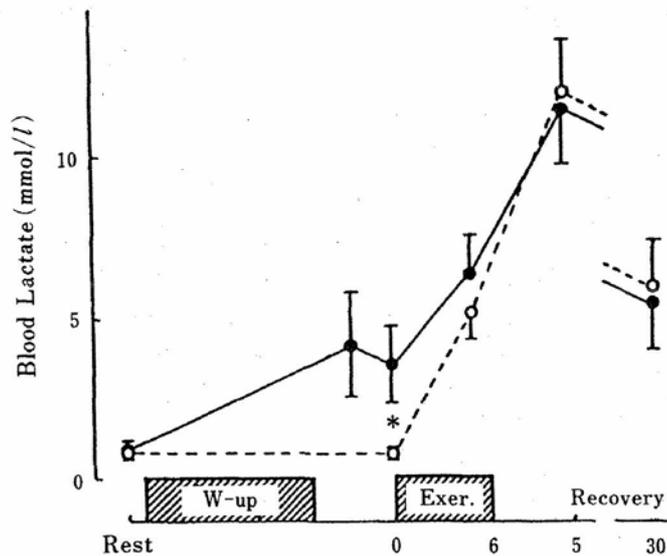


図4 Changes in blood lactate values with or without warming up. Asteriks indicate statistically significant differences between two experiments.

$\pm 1.66 \text{ mmol/l}$ vs. $11.47 \pm 1.73 \text{ mmol/l}$). またピーク La 出現時間も両実験で差はなかった (4.7 ± 1.5 分 vs. 4.7 ± 0.8 分). なお運動終了後の血中乳酸濃度の消失速度は両実験で同様であり, 運動終了後 30 分目の値はほぼ等しかった ($5.94 \pm 1.44 \text{ mmol/l}$ vs. $5.47 \pm 1.44 \text{ mmol/l}$).

ピーク La と主運動 5 分目の血中乳酸濃度の差 (以下 ΔLaII と略す) はウォーミングアップ実験 ($5.10 \pm 1.04 \text{ mmol/l}$) の方がコントロール実験 ($6.76 \pm 1.30 \text{ mmol/l}$) よりも有意に低い値を示した. またピーク La と主運動前のその差 (以下 ΔLaIII と略す) もウォーミングアップ実験で有意に低値であった ($11.16 \pm 1.60 \text{ mmol/l}$ vs. $7.89 \pm 1.04 \text{ mmol/l}$).

4. 考 察

最大努力運動時の仕事率はウォーミングアップ実験で 14.8% 高かった ($P < 0.05$). また, 6 分間の総仕事量もウォーミングアップ実験で 4.3% 高かった ($P < 0.05$). したがって本研究で用いた, 無酸素性作業閾値程度の強度における 10 分間のウォーミングアップは, 5 分間の最大下運動とそれに続く 1 分間全力運動のパフォーマンスに有効であると考えられる. このパフォーマンスの改善は, ウォーミングアップが有酸素および無酸素エネルギー代謝の両者に及ぼした影響の結果と考えられる.

有酸素代謝に関連するパラメータに関しては, ウォーミングアップ実験で酸素摂取量が主運動 1 分目から 3 分目にかけて有意に高く, 総酸素消費量も 4.3% 高かった ($P < 0.05$). したがってウォーミングアップを行った場合には主運動の前半において酸素摂取量の立ち上がりが加速され, より多くの有酸素エネルギーを利用できる可能性が示唆される. これはこれまでのいくつかの報告と一致するものであり, この程度の強度と時間のデサントスポーツ科学 Vol.12

ウォーミングアップは, 運動初期の有酸素性エネルギー利用を高めるために有効であると考えられる.

主運動中の心拍数は, ウォーミングアップ実験で主運動中を通して有意に高い値を示していた. このことが酸素摂取量の立ち上がりの加速に対して有効に作用していることが考えられる. 一方分時換気量はウォーミングアップ実験で主運動 1 分目に有意に高かったが, それ以外では有為差は認められず, 両実験における差は心拍数に比べると小さいものであった. しかし酸素摂取量の変化と分時換気量のそれがよく類似していることを考慮すると, 酸素摂取量の立ち上がりの加速に分時換気量の立ち上がりの加速が密接に関連している可能性が考えられる.

両実験における主運動中の総仕事量, 総酸素消費量, および主運動前後の血中乳酸の差 (ΔLaIII) は図 5 に示した. 主運動の総仕事量はウォーミングアップ実験で 4.3% 高かった. また主運動中の総酸素消費量もウォーミングアップ実験で 4.3% 高かった. 主運動の効率が, 一過性の運動であるウォーミングアップを行ったことによって大きく変化することは考えにくいので, 仕事量と酸素摂取量の関係から推察すると, 無酸素性エネルギーの指標とした血中乳酸もそれらと同様にウォーミングアップ実験で 4.3% ほど高くなって良いものと考えられる. しかし今回の結果は, ピーク La と主運動直前値の差である ΔLaIII はコントロールの 11.16 mmol/l に比べてウォーミングアップ実験では 7.83 mmol/l と約 30% も低い値を示していた.

両実験の運動の効率が同じであったと仮定すると, 総仕事率および総酸素消費量の関係から ΔLaIII も 4.3% 高いと考えられる. そうすると,

$$11.16 \times 1.043 = 11.63 \text{ (mmol/l)}$$

がウォーミングアップ実験での ΔLaIII と推定され, ピーク La は主運動直前の値にこれを加え

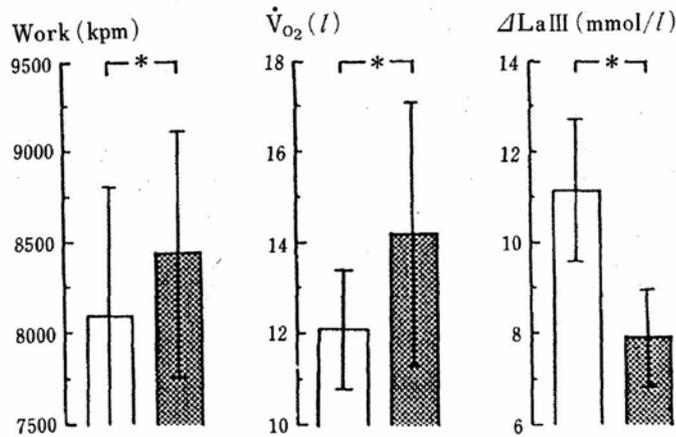


図5 Total work (kpm in 6-min), oxygen consumption ($\dot{V}O_2$: l in 6-min), and ΔLa_{III} (mmol/l) in control (open rectangles) and warming up experiment (closed rectangles) (n=6).

たものとなるので、これは、

$$3.58 + 11.63 = 15.21 \text{ (mmol/l)}$$

となる。しかし本研究で得られたウォーミングアップ実験のピーク La は平均 11.47 mmol/l でありこれは上述の値よりも 3.74 mmol/l 少ないものであった。

Rieu ら²⁰⁾は約 170% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の 45 秒間超最大運動を 9 分間の休息をはさんで繰り返すと、各運動の前後での血中乳酸の差は運動を繰り返すほど小さくなることを報告し、これは 1 回目の運動で生産された乳酸の一部が、2 回目の運動でエネルギー源として利用されたことによる可能性のあることを示唆した。

後藤と池上¹¹⁾は 80% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の 5 分間自転車運動を行う際に、事前に無酸素性作業閾値強度で 10 分間のウォーミングアップを行うと、行わなかった場合に比べて主運動後のピーク La および血中乳酸の主運動前後の差が有意に低くなることを報告した。またわれわれは片足自転車運動を用いて、この血中乳酸蓄積速度の低下は、おもに筋内の代謝の変化による可能性を示唆するデータを得ている (未発表)。

これらのことから、ウォーミングアップは無酸素性代謝にも影響を及ぼし、筋内の代謝を変化させて、筋における乳酸のエネルギー源としての利用を促進する可能性が考えられる。したがって今回ウォーミングアップ実験でピーク La が推定値よりも低かったことは、この分 (3.74 mmol/l) の乳酸が主運動中にエネルギー源として利用された可能性を示唆するものと考えられる。

Donovan と Brooks⁷⁾はラットに 5 週間の走トレーニングを行わせ、トレーニングは安静時および運動時の乳酸の生産には影響しなかったが、運動中の乳酸クリアランスを有意に高めたことを報告した。また Mole ら¹⁹⁾はラットを走運動によって 12 週間トレーニングすると、ピルビン酸をアラニンに転換する酵素活性が高まることを報告している。これらのトレーニング実験の結果から今回のような一過性の運動の場合の乳酸の生産および除去に関する代謝の影響を推定することはできないが、少なくとも本研究の結果は、一過性の運動であるウォーミングアップがその後の主運動の筋中での乳酸のエネルギー源として利用された結果として、主運動中の乳酸蓄積を低下した可能性

を示唆するものかもしれない。

したがって本実験で用いたようなウォーミングアップは有酸素代謝だけでなく無酸素代謝にも影響を与える。有酸素代謝に対しては、心臓や肺の運動に対する適応を加速し、運動初期の酸素摂取量の立ち上がりを加速して有酸素エネルギーの利用を促進する。一方このようなウォーミングアップを行うと、血中乳酸濃度は増加するが、この増加はパフォーマンスに悪影響を及ぼすものではなかった。それらの結果として、今回採用したウォーミングアップは、5分間の最大下運動に続く1分間の最大運動のパフォーマンスを高めたものと考えられる。

しかし運動中の有酸素および無酸素エネルギー代謝の関連は複雑であり、両者の関係とさらにそれらとパフォーマンスとの関係に関してはまだ不明な点が多い。

まとめ

ウォーミングアップが有酸素および無酸素性エネルギー代謝に及ぼす影響と、それらの結果としてもたらされるパフォーマンスに対する効果を検討することを目的として実験を行った。被験者は4名の健康な成人男子であり、彼らのうち2名は実験を2回繰り返して実施した。主運動は5分間最大下運動とそれに続く1分間の最大運動とし、ウォーミングアップは無酸素性作業閾値に相当する強度での10分間の自転車運動とした。このウォーミングアップを行った場合と行わなかった場合とで、主運動中の仕事量、呼気ガスパラメータ、および血中乳酸濃度の変化を検討し、次のような結果を得た。

1) 主運動の最後の1分間の全力運動中の仕事率は、ウォーミングアップ実験で14.8%高く ($P < 0.05$)、主運動中の総仕事量もウォーミングアップ実験で4.3%高かった。したがって本実験で用いたウォーミングアップは5分間最大下運動

とそれに続く1分間最大運動のパフォーマンスに有効と考えられる。

2) ウォーミングアップ実験で、主運動前半の酸素摂取量が有意に高く、総酸素消費量は4.3%高かった。したがって今回のウォーミングアップは呼吸循環機能の運動に対する適応を加速し、有酸素エネルギー利用であると考えられる。

3) ウォーミングアップを行うと、血中乳酸濃度を増加した。それは主運動中両実験において増加したが、 ΔLa_{III} (運動後の血中乳酸濃度の最高値と主運動直前のそれとの差) はウォーミングアップ実験で有意に低かった。

4) 仕事量、酸素摂取量、および血中乳酸濃度の関係より、ウォーミングアップを行うことによる血中乳酸濃度の増加は、主運動中の無酸素性エネルギーの利用を制限するものではなく、主運動中に乳酸のエネルギー源としての利用があった可能性を示唆するものかもしれない。

文 献

- 1) Andzel, W. D. and B. Gutin ; Prior exercise and endurance performance : A test of mobilization hypothesis, *Res. Quart.*, **47**, 269-276 (1976)
- 2) Andzel, W. D. ; The effect of moderate prior exercise and varied rest intervals upon cardiorespiratory endurance, *J. Sports Med.*, **18**, 245-252 (1978)
- 3) Asmussen, E. and O. Boje ; Body temperature and capacity of work, *Acta. Physiol. Scand.*, **10**, 1-22 (1945)
- 4) Bonner, H. W. and A. Bonen ; Preliminary exercise : a two factor theory, *Res. Quart.*, **45**, 138-147 (1974)
- 5) De Bruyn-Prevost, P. ; The effect of various warming up intensities and durations upon some physiological variables during an exercise corresponding to the WC 170, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **43**, 93-100 (1980)
- 6) De Bruyn-Prevost, P. and F. Lefebure ; The effect of various warming up intensities and durations during a short maximal anaerobic exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **43**, 101-

- 107 (1980)
- 7) Donovan, C. M. and G. A. Brooks ; Endurance training affects lactate clearance, not lactate production, *Am. J. Physiol.*, **244** (Endocrinol, Metab. 7), E 83-E 92 (1983)
 - 8) Elbel, E. R. and W. J. Mikols ; The effects of passive or active warm-up upon certain physiological measures, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **31**, 41-52 (1972)
 - 9) Genovely, H. and A. Stamford ; Effects of prolonged warm-up exercise above and below anaerobic threshold on maximal performance, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **48**, 323-330 (1982)
 - 10) 後藤真二, 池上晴夫 ; ウォーミングアップがパフォーマンスおよびエネルギー生産能力に及ぼす効果—1分間および5分間運動の場合—, いばらき体育・スポーツ科学, **2**, 24-32 (1987)
 - 11) 後藤真二, 池上晴夫 ; 運動中の血中乳酸動態に対するウォーミングアップの影響, 体力科学, **36**, 78-84 (1987)
 - 12) Gutin, B., J. E. Wilkerson, S. M. Horvath, and R. D. Rochelle ; Physiologic response to endurance work as a function of prior exercise, *Int. J. Sports Med.*, **2**, 87-91 (1981)
 - 13) 日比敬行 ; Warming-up の生理学的研究 (その4) —体温の変動と運動時の酸素消費量におよぼす Warming-up の影響—, 体力科学, **13**, 205-209 (1964)
 - 14) 飯塚由之 ; Warming-up の生理学的研究 (その2) —Warming-up の運動代謝に及ぼす影響について—, 体力科学, **13**, 198-201 (1964)
 - 15) Inber, O. and O. Bar-Or ; The effect of intermittent warm-up on 7-9 year-old boys, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **34**, 81-89 (1975)
 - 16) 石河利寛 ; ウォーミング・アップの生理学, 体育学研究, **18**, 1-8 (1975)
 - 17) Karpovich, P. V. and W. E. Sinning ; Physiology of muscular activity. 7th. Ed. W. B. Saunders Company, Philadelphia, U. S. A., pp.29-32 (1971)
 - 18) Martin, B. J., S. Robinson, D. L. Wiegman, and L. H. Aulick ; Effect of warm-up on metabolic responses to strenuous exercise, *Med. Sci. Sports*, **7**, 146-149 (1975)
 - 19) Mole, P. A., K. M. Baldwin, R. Terjung, and J. O. Holloszy ; Enzymatic pathways of pyruvate metabolism in skeletal muscle adaptation to exercise, *Am. J. Physiol.*, **96**, 289-305 (1976)
 - 20) Rieu, M., A. Duvallet, L. Scharapan, L. Thioulart, and A. Ferry ; Blood lactate accumulation in intermittent supramaximal exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **57**, 235-242 (1988)
 - 21) Sedgwick, A. W. and H. R. Whalen ; Effect of passive warm-up on muscular strength and endurance, *Res. Quart.*, **35**, 45-59 (1964)
 - 22) 竹村長生 ; Warming-up の生理学的研究 (その3) —運動時の血中乳酸ならびに焦性ブドウ酸の消長におよぼす Warming-up の影響について—, 体力科学, **13**, 202-204 (1964)
 - 23) Watt, E. D. and J. L. Hodgson ; The effect of warm-up on total oxygen cost of a short treadmill run to exhaustion, *Ergonomics*, **18**, 397-401 (1975)