

ウォーミング・アップによる体温上昇は最大酸素 摂取量にいかなる影響を及ぼすか

横浜国立大学 森 本 茂

(共同研究者) 同 高 橋 静

同 東 香

同 加 茂 美 冬

Hyperthermia Induced by Warming-up Exercise makes Good Effects on Physical Activity, or Not ?

by

Shigeru Morimoto, Shizuka Takahashi,

Kaoru Higashi, Mifuyu Kamo

Yokohama National University, Faculty of Education

ABSTRACT

The effect of warming-up exercise on the respiratory and circulatory responses, i. e., $\dot{V}_{O_{2max}}$, \dot{V}_E and HR, to an incremental exercise to exhaustion was investigated in track and field athletes.

We employed four experimental conditions to obtain the relationship between body temperatures and respiro-circulatory responses ;

1) face fanning during submaximal ($50\% \dot{V}_{O_{2max}}$) prolonged exercise using the cycle-ergometer.

2) warming-up running prior to the incremental treadmill-running, at the fixed intensity of $40\% \dot{V}_{O_{2max}}$ for 12 min.

3) warming-up running at the conditioned intensity under the subject's experience and body condition.

4) comparison in the change of body temperatures induced by the

warming-up between in the experimental condition and in the actual field condition.

Obtained results were as follows :

1) The cycling exercise with face fanning was done with low values of \dot{V}_{O_2} , HR, \dot{V}_E and RR compared to the exercise with non face fanning. It could not be seen the significant difference in the temperature change in rectal temperature (T_{rect}) and skin temperature at the thigh, but tympanic temperature (T_{ty}) decreased / increased during exercise with / without face fanning, respectively.

2) With the warming-up running at the fixed exercise intensity, T_{rect} and mean skin temperature (\bar{T}_s) increased 0.2 degrees and T_{ty} decreased 0.2 degrees. However, we failed to find any favorable effect of hyperthermia caused by warming-up exercise on $\dot{V}_{O_{2max}}$, \dot{V}_E , HR and RR.

3) When the subject was requested to warm-up prior to the incremental exercise test at the intensity which was decided by his experience, the intensity was in the range between 50 and 68% $\dot{V}_{O_{2max}}$, and the duration was from 9 to 19 min. All subjects showed the increment in T_{rect} and mean body temperature (\bar{T}_b). There could be seen no relationship between the intensity and the change in body temperatures. During incremental exercise test after warming-up, all subjects showed low value in \dot{V}_E and RR compared to the test without warming-up.

4) To obtain the body temperature changes in the actual warming-up exercise at the track and field, the subject was requested to warm-up similar to the warming-up in the actual competition. The measured (T_{rect} and T_{ty}) and calculated (\bar{T}_s and \bar{T}_b) body temperatures after the warming-up showed considerable increase compared with the data which was obtained from the warm-up in the room.

はじめに

生体は摂取した栄養素や生体内に蓄積しているエネルギー源を酸化過程に供給することによって、構成細胞、組織が直接利用可能な化学的エネルギーに、遊離可能なリン酸化合物 (ATP) を得

ている。安静状態、睡眠状態のようなエネルギー需要が低い状態にあっても、このエネルギー産生過程は働き続けている。これは、ATPの分解から得られるエネルギーによって、熱力学的な平衡状態に生体が陥ることを防いでいる、すなわち非平衡状態を保っていることを意味するものである。

体温も生体外部環境と非平衡状態にある生命現象の一つである。この体温をつくり出す熱は、ATP合成・分解過程で発生するものである。ATP分解によって発生するエネルギーは、種々の細胞の仕事に用いられるが、エネルギー効率が1ではないため、熱へと変換されることになる。この熱が、われわれの体温をつくり出している。生体での一定体温は、上記の熱産生による体温と生体外部温度との温度較差にともなう消極的な熱の散逸で保たれているのではなく、体温調節機構による積極的な調節に裏付けられている。産熱機構と放熱機構とがちょうど天びんの両端にあり、それぞれの機構の促進と抑制が行われることによって一定体温が保たれている。

生体が仕事（運動）を行うことによって、エネルギー要求量は仕事量に比例して飛躍的に増大する。したがって、エネルギー需要増大に比例して熱の産生も増大し、その結果体温の上昇をもたらす。高体温は低体温に比べ、生存の可能性からみた体温の上限が狭い範囲に限定されていると考えられている²⁰⁾。運動時には、より積極的な放熱機構が活性化し、体温の上昇を防ぐ必要性が生じてくる。放熱機構には呼吸・循環器系の機能高進が大きな役割を演じている。

競技選手は競技開始前に、運動準備状態を作るためにウォーミング・アップを日常的に取り入れている。ウォーミング・アップの目的は、種々意見の分かれるところであるが、結果として、安静状態と比較して高体温状態がつくられることに対する異論はないものと考えられる。この高体温に対する放熱機構の活性化が、呼吸・循環器系において行われることは、競技に対する呼吸・循環器系機能の応答にいかなる影響を及ぼすか興味あるところである。

本研究は3つの観点から、体温上昇と呼吸循環器系機能の検討を試みた。

1) 運動時に顔面を風で冷却し、顔面静脈—海

面静脈洞系による脳内流入動脈血の冷却効果を期待して、運動時の体温上昇と鼓膜温度からみた脳温と呼吸循環器系機能の関係を検討する。

2) 規定されたウォーミング・アップを被験者に負荷し、体温上昇と呼吸循環器系の機能の関係を検討する。

3) 実験室内で被験者の経験的な判断に基づいた強度でのウォーミング・アップを負荷し、2)との比較を行うとともに、実際のフィールドにおけるウォーミング・アップとの体温変化の比較を行う。

1. 実験1 運動時の顔面冷却と体温、呼吸循環器機能

1.1 緒言

運動時に消費されるエネルギーは、骨格筋において化学的なエネルギーから運動エネルギーへと変換されるとともに、その他の部分は熱へと変換される。この熱は体温上昇へと働きかけることになる。運動強度と消費エネルギーは比例関係にあることから、運動強度が大きくなることで熱産生の増大、ひいては体温のさらなる上昇へと結果する。しかし、体温調節機構の働きによって放熱量の増大を誘発し、熱の体内での貯留を防ぎ体温上昇を抑制する。

体温調節機構の働き方に関して Hammel¹²⁾ は、Adjustable Setpoint Theory を仮説として提唱した。すなわち、種々の温度に関係する情報によってある基準に体温調節中枢が体温を設定し、その設定温度と実際の体温との差を修正する方向に、熱の産生と放熱が行われ体温が設定温度に調節されるものである。その後この説は修正されてきたが、基本的には基準体温の設定の存在から体温調節機構が考えられている。

体温調節中枢の存在が考えられている間脳視床下部は、頭蓋部静脈系の作用—内頸動脈血との逆向熱交換—によって冷却を受けて、深部体温と

して用いられる食道温や直腸温よりも低い温度となっている内頸動脈血温が基準設定温度に影響を及ぼしているとも考えられている²¹⁾。

この静脈系による冷却効果は、運動時においても作用していると考えられるが、活動筋の熱発生によりその効果の減弱を推測させる。すなわち、体温調節中枢での基準設定温度と実際の体温との差が小さくなり、放熱機構の作用が抑制されることが考えられる。ここにおいて顔面を冷却することで頭蓋部静脈血を冷却し、内頸動脈血との逆流熱交換の効果を利用し、基準設定温度と体温との差を大きくすることによって、運動時の体温調節に対して影響が及ぶものと考えられる。

本実験の目的は、中等度の強度での持続的運動時に、顔面冷却を積極的に行うことが体温調節と呼吸循環器系機能に及ぼす影響を検討することである。

1.2 実験方法

被験者は21～37歳の健康成人男女5名（男性4名、女性1名）であった。実験に先立ち、被験者の自転車エルゴメータでの負荷漸増法による最大酸素摂取量を計測した。被験者の身体特性と最大酸素摂取量を表1に示した。

実験は環境温 25 ± 2 度、相対湿度 50 ± 10% にて行った。

被験者は半袖のTシャツ、ランニングショーツとランニングシューズを着用し、実験開始前40～60分のあいだ椅座位にて安静を保った。この間にサーミスター、心電図導出用電極、呼気ガス採取用マスクの装着を行った。その後被験者は自

転車エルゴメータ上にて安静時（15分間）の測定を行った後、運動負荷試験に入った。持久的な運動負荷は、60 rpm のペダル回転数で、各被験者の最大酸素摂取量の50% ($50\% \dot{V}_{O_{2max}}$) の強度とし、これを40分間持続することとした。50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ の強度の設定は、前もって測定された酸素摂取量-心拍数関係より、心拍数から算定した。一回目の実験で用いた負荷強度は絶対強度とし、各非験者で実験期間を通じて一定とした。運動負荷後の回復期は10分とし、そのまま自転車エルゴメータ上に被験者を置いて測定した。

《測定項目》

体温に関する測定項目はつぎの3項目とした。

①皮膚温：冷却のための風が直接あたる前額部皮膚温度と活動筋の一つとなる大腿直筋上（右脚）部の皮膚温度を測定した。

②鼓膜温：運動にともなう体動があっても、安定した鼓膜温を測定できる点に利点がある Masuda & Uchino¹⁹⁾ が開発した高感度鼓膜温測定装置を用いた。

③直腸温

これらのセンサーは自動精密温度測定器（宝工業、K 722）に接続し記録した。

呼吸に関する酸素摂取量、換気量などの各種指標は、自動呼気ガス分析装置（ミナト医科学、MG-360, RM-300）を用いて分析した。

心電図は、心電図モニター（日本光電、2E32）に表示し5秒間隔でR-R間隔を計測記録した。

運動中に頭部および顔面を冷却するための方法は、エルゴメータ上の被験者の顔面前1mに置い

表1 Physical characteristics of the subject

Subject	Age(yrs)	Height	Weight	$\dot{V}_{O_{2max}}$ (ml/kg/min)
J. S.	22	178.0	70.0	66.23
K. O.	21	170.0	55.5	62.34
S. M.	37	169.0	64.0	45.78
T. S.	22	183.0	74.0	61.28
T. W.	21	165.5	52.0	48.37

た扇風機を用いて行った。この時、風速は約 4 m/s であり、頭部および顔面以外の身体部分に風があたらぬように障壁を施した。

冷却実験と非冷却実験は、被験者ごとに順不同に行った。また、同一被験者で実験間隔は 5 日以上とり、累積的な効果を避けた。

1.3 実験結果

1.3.1 運動時の呼吸循環器系機能と冷却効果

呼吸循環器系機能に関する測定項目の一部について、頭部冷却時と非冷却時での典型例として被験者 K. O. の結果を図 1 に示した。50% $\dot{V}_{O_{2max}}$ の強度で 40 分間の運動負荷期間において図 1 に

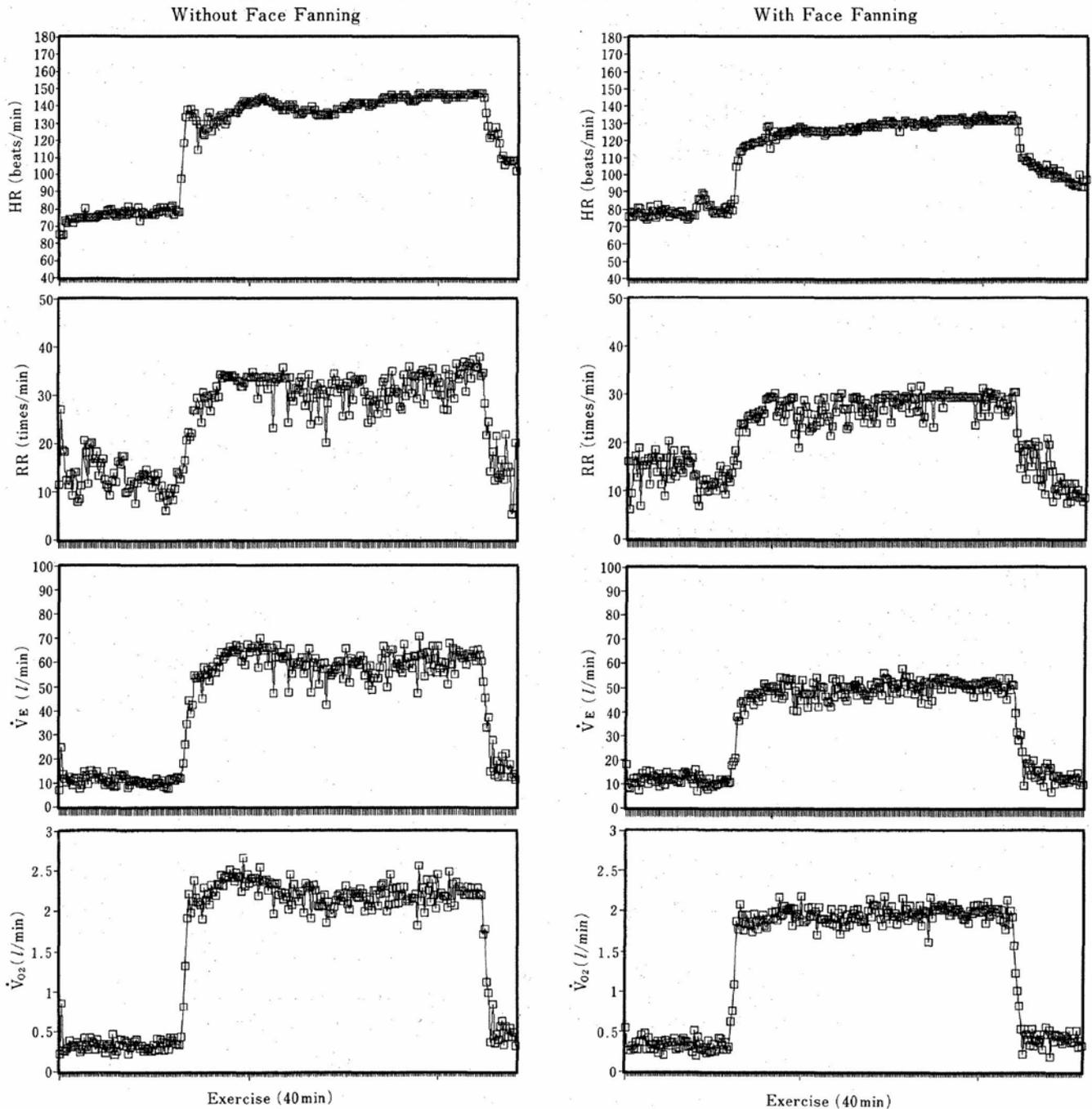


図 1 Typical responses in the respiratory and circulatory function during submaximal cycle ergometer exercise with (right column) and without (left column) face fanning. Figure from top to bottom shows HR, RR, \dot{V}_E and \dot{V}_{O_2} , respectively

あげた4パラメータでの平均値と標準偏差は、

(非冷却時)

分時換気量 (l/min) : 59.94 ± 5.25
 呼吸数 (times/min) : 31.71 ± 3.18
 酸素摂取量 (ml/min) : 2229 ± 145.25
 心拍数 (beats/min) : 140.5 ± 5.63

(冷却時)

分時換気量 (l/min) : 49.55 ± 3.44
 呼吸数 (times/min) : 27.68 ± 2.5
 酸素摂取量 (ml/min) : 1952.1 ± 100.23
 心拍数 (beats/min) : 128.73 ± 3.0

であった。非冷却時と冷却時の間での各パラメータには危険率1%の有意差を持って、冷却時に低値が認められた。

他の被験者における上述の4パラメータについてまとめたものを表2に示した。すべての被験者のすべてのパラメータで、非冷却に比較して冷却時に低値を示した。被験者 S. M. の心拍数で5%水準、被験者 T. S. の呼吸数で3%水準であった以外、2%あるいはそれ以下の水準を持って有意差が認められた。

1.3.2 運動時の体温変動と冷却効果

深部体温の指標として、鼓膜温度 (T_{ty}) と直腸温度 (T_{rect})、表層温度として、前額部皮膚温度 (T_{head}) と大腿部皮膚温度 (T_{thigh}) の運動時における変動についての一例を図2に示した。運動時

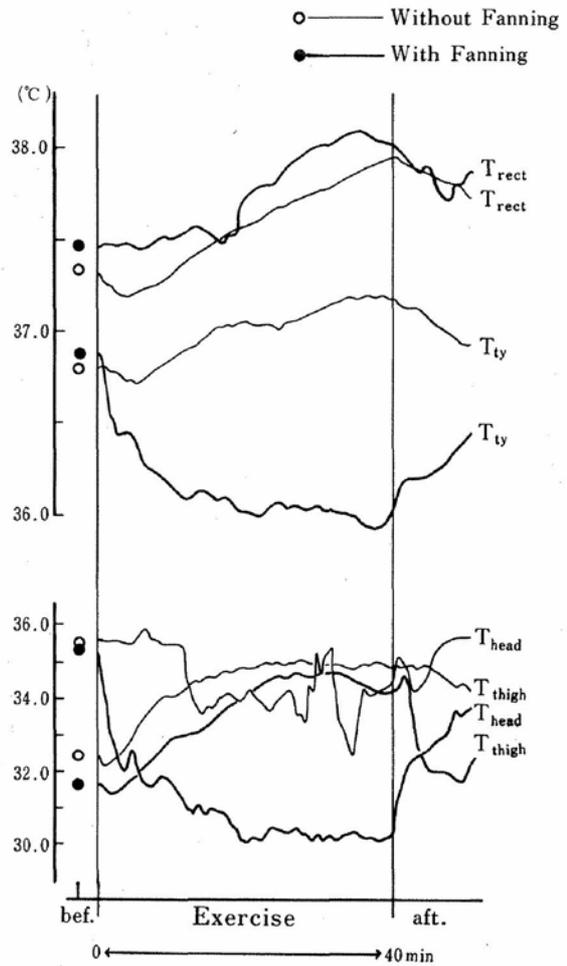


図2 Typical data of the body temperature response during submaximal prolonged cycle ergometer exercise with (thick lines) and without (thin lines) face fanning. Open and closed circle shows mean value of the temperature at the resting period (before)

表2 Respiratory and circulatory response during submaximal prolonged cycling exercise with and without face fanning. Value means mean value and S.D. during exercise

Subject	T. W.		S. M.		T. S.		J. S.	
	With	Without	With	Without	With	Without	With	Without
HR (beats/min)	138.22 10.06	128.73 5.7	141.01 5.4	139.99 2.12	132.41 3.32	128.44 3.79	118.06 3.14	115.44 4.52
RR (times/min)	35.58 3.71	32.48 2.65	31.74 3.02	29.47 2.33	31.27 4.64	30.02 3.74	23.57 3.23	22.53 3.09
\dot{V}_{O_2} (ml/min)	1736.91 233.56	1598.16 76.26	1844.26 93.36	1684.31 71.77	2172.75 146.97	1972.08 110.24	2049.8 139.25	1962.88 131.4
\dot{V}_E (l/min)	48.57 6.39	42.92 2.43	52.54 3.77	49.72 2.75	62.74 6.81	59.74 4.92	49.34 4.92	47.7 4.03

の T_{rec} には、時間にもなった上昇傾向が冷却時、非冷却時ともに共通して観察された。しかし、冷却時の T_{rec} には不規則な揺らぎをともなっており、また非冷却時では運動終了後に最高値を取る傾向にあったのに対し、運動終了前に最高値を示す傾向がみられた。

T_{rec} に対して T_{ty} は、冷却時と非冷却時とでは相反する変化動態を示した。すなわち、非冷却時

では運動継続とともに T_{ty} は漸次上昇し、運動終了後低下した。これに対し、冷却時では運動中 T_{ty} は低下をし、運動終了後に上昇を示した。

T_{thigh} は二通りの実験条件下において大きな差異がみられず、運動継続にともなう上昇がみられ、20分前後でほぼ定常値をとる傾向にあった。

T_{head} は運動時に低下する傾向にあったが、冷却

を加えた場合、その低下は速やかな大きな低下であった。非冷却時には運動開始から少しの時間遅れを持って低下した。また被験者 T. W. (女性) (図2) において観察された一例であったが、 T_{head} に大きな不規則な動揺が観察された。アーチファクトの混入も考えられるが、図2にデータとして示してはいるが安静時、回復期には安定した温度測定が可能であったこと、その他の温度測定項目は、他の被験者と同傾向であったことから、性特異性などの観点から再実験等の考慮が必要となる(本報告では考察から省略した)。

被験者 T. W. を除いた他の4名について、運動時の体温の平均値で表した(図3)。 T_{thigh} は運動中に温度測定用センサーがはずれるなど、すべての被験者で測定点に時間的なズレがあったため示していない。冷却時において、 T_{ty} に温度低下の大きな影響が及ぼされており、 T_{rec} との温度差が非冷却時と比べて大きくなっていった。同様に T_{head} の温度低下も大きくなっていった。

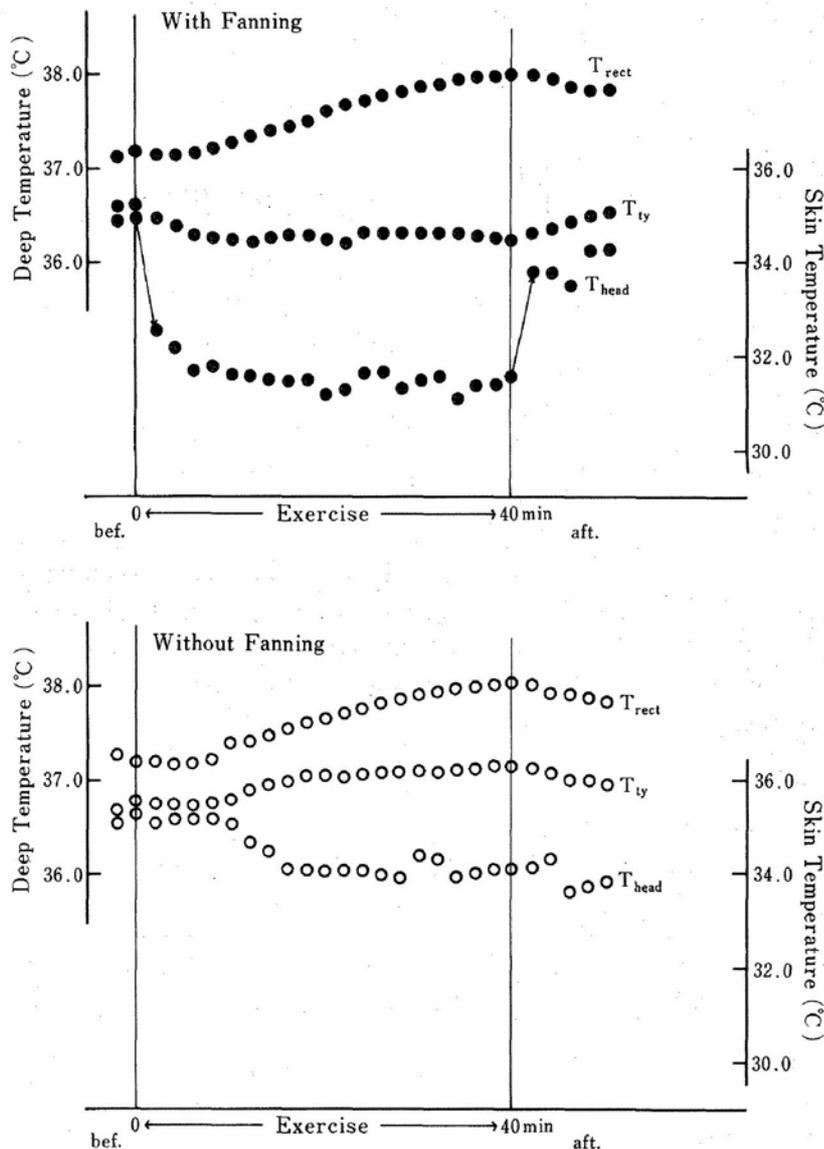


図3 Measured body temperature during submaximal prolonged cycling exercise with (closed circle) and without (open circle). Circle means mean value of four subjects

1.4 考 察

筋運動はATPが分解される時に遊離される化学的エネルギーを運動エネルギーに変換することによってなされる。この時、化学的エネルギーのすべてを運動エネルギーに変換できるのではなく、最大に見積っても20%程度とされている。他のエネルギーは熱となって体温の上昇に寄与する。運動強度が高くなるほど、運動継続時間の延長にともなって体温の上昇が大きくなる結果、体温の平衡状態からの偏差が大きくなり、体温調節機構による放熱作用が重要となる。

本報告で用いた風による顔面、頭部冷却は、直接に冷却部分での放熱量を大きくすることを、目的としたのではなく、脳内に流入する動脈血温を間接的に冷却することを目的とした。内頸動脈血は、頭蓋内を上行する時、海面静脈洞血と逆流熱交換によって温度変化を受けて視床下部に達する。海面静脈洞は、錐体静脈洞、蝶形頭頂静脈洞等からの静脈血が出入りすることから、顔面や頭部で温度変化を受けた静脈血が、間接的に内頸動脈血温に影響を与え、視床下部に温度変化をもたらすことが考えられる。

本実験²¹⁾で得られた運動時冷却による鼓膜温の低下は、以上の事実から引き起こされた結果であることが考えられる。また、鼓膜温度は視床下部温度（内頸動脈血温度）の良き指標となる^{3,4)}。したがって、顔面冷却は体温調節中枢が存在する視床下部へ、体温低下（内頸動脈血温度の低下）の情報を伝える結果となることが考えられる。修正は受けつつある概念ではあるが、Hammel¹²⁾以来の“基準体温の設定”は、温感覚情報と冷感覚情報との相対的な量関係で設定されるとされている。躯幹部深部温を代表できる直腸温は、冷却時においても非冷却時と同様の上昇がみられた。また、活動筋上の皮膚温度も同様の結果が得られた。顔面冷却は運動時直腸温、活動筋上皮膚温の上昇に影響を及ぼさないとした、内野²¹⁾の結果を

支持するものであった。

この顔面冷却時の結果は、視床下部に対して、内頸動脈血の冷情報と躯幹部からの温情報が同時に入力されることも考えられる。顔面冷却時に体温調節が如何に行われるかは、本実験では測定パラメータが少ないため、体温の面から論議することは不可能である。平均皮膚温、平均体温および直腸温とから計算可能な貯熱量、発汗量など多くの指標を用いて論議する必要があると考える。

内野は、冷却時でも鼓膜温の上昇は起こり、その上昇程度が非冷却時に比べ小さいことを報告している。本報告では、鼓膜温の上昇は観察されず低下を示した。被験者は風の強度はかなり強かったと報告していることから、内野の結果との相違は風の影響の程度差にあったと考えた。

呼吸循環器系機能に及ぼす運動時の冷却効果は顕著な結果が得られた。被験者個人に対する運動負荷強度は冷却時、非冷却時で同強度であったにも関わらず、酸素摂取量は冷却時で有意に低い値をしめした。ふたつの実験条件下で直腸温、活動筋上の皮膚温の上昇がほぼ同じであった結果と、仕事量が同じであったことから、測定パラメータが少ないための危険性が考えられるが、活動筋でのエネルギー消費、エネルギー効率は同等であったと推察できる。直接に仕事に対するエネルギー消費以外にエネルギー消費の行われる部分に関してつぎのように考えた。換気量に冷却時と非冷却時に差異がみられ、冷却時に低い値を持つことから、呼吸筋系の活動量の低下に起因する消費量の低下が原因することが示唆された。

中程度の運動強度における換気高進は、①筋一腱における張力変化受容性求心性刺激、②物質代謝にともなうCO₂を含む代謝産物による化学受容器への刺激、とともに③運動による体温上昇が末梢性温熱受容器、視床下部の温熱受容器を刺激することによるとの考えが存在する⁹⁾。①の因子は両実験条件で同じ運動強度であり無視できる。

血液中の CO_2 濃度は測定していないため②の因子は考察ができないが、冷却時と非冷却時において大きな差異が生じる因子と考えられるものは T_{iv} の差異で、視床下部の温熱受容器に達する上行性の動脈血温度と考えられる。この点から、非冷却時には筋活動により暖められた血液が上行性に視床下部に達し、温熱受容器を刺激することによって換気量の増大が生じると推測できる。換気量の増大は、呼吸筋の活動の高進によりなされ、この活動高進分のエネルギー消費が高められることが示唆される。

運動時に冷却を行うことで、負荷漸増法での Exhaustion までに至る時間が延長したなど、顔面冷却によって運動能力が増大するといった報告がみられる^{5,14)}。本報告では運動持続時間などの運動パフォーマンスに関しては観察していないが、冷却にともなう任意の絶対運動強度下における \dot{V}_{O_2} が、非冷却時に比較して低値を示したことから、運動持続時間の延長は考え得ることである。この点に関して疑問は、筋運動で暖められた血液が、脳内に流入することが最大酸素摂取量にどのような影響を及ぼすかにある。

2. 実験2 ウォーミング・アップによる体温上昇と最大酸素摂取量

2.1 緒言

実験1において顔面、頭部を風で冷却することによって、Submaximal な強度での持久走中の酸素摂取量は非冷却時に比較して、絶対運動強度が同等であっても、低い水準となった。冷却により視床下部に流入する内頸動脈血液温度の上昇が、運動時においても抑制された結果、換気応答が非冷却時に比して低いレベルに保持するように働いたものと考察した。すなわち、冷却時の低い \dot{V}_{O_2} は、呼吸筋の活動水準が低く保たれた結果と推察した。筋活動による体温上昇は、脳内（視床下部）に流入する血液温度に上昇を来し、呼吸

循環器系機能に影響を及ぼす一因となることを示唆した。

競技に際して選手が行うウォーミングアップは、多様な目的をめざして行われる。その目的か、または、結果はさておいても体温上昇が引き起こされる。ウォーミングアップによる体温上昇は、身体生理機能の高進に働くとした報告²⁾や、持久性運動において制限因子となる報告^{1,17)}があり、一致した見解がみられない。

ウォーミングアップには強度、持続時間、運動形態等に種々のパターンがあり、その組合わせにその後の生理機能が依存することも考えられる。本報告では、ウォーミングアップの強度と時間を実験条件から規定した場合と、被験者の経験から強度と時間を任意に設定させた場合との比較を、体温変化動態と呼吸循環器系機能から検討することを目的とした。

2.2 実験方法

2.2.1 ウォーミング・アップの強度を規定した場合

被験者は20～24歳の成人男子6名で陸上競技経験者を用いた。被験者の身体特性、最大酸素摂取量および最高心拍数を表3に示した。この時の最大酸素摂取量と最高心拍数の値は、実験に際して前もって測定したものである。

実験は室温21～25°C、相対湿度40～60%の環境下で行った。

測定項目、測定機器は実験1と同様であった。しかし、体温関係に関しては平均皮膚温、平均体温を求める目的で Hardy & DuBois¹⁸⁾ の方法（7点測定法：前額部、胸部、上腕部、手背部、大腿部、下腿部および足背部）にそった皮膚温の測定点を追加した。

運動負荷はトレッドミルを用いて行った。被験者には入室後30分程度、椅座位安静を保たせた。その後トレッドミル上にて、ランニングシューズのみで椅座位20分程度の安静を保

表3 Physical characteristics of the subjects participated in the Exp. 2

Subject	Height (cm)	Weight (kg)	$\dot{V}_{O_{2max}}$ (ml/min)	Peak HR (beats/min)
M. E.	177	72.6	3714.9	189.4
M. T.	170	56.9	3164.2	211.7
T. S.	183	73.3	4067.4	204.5
M. S.	172	59.5	3834.8	178.2
Y. I.	186	70.8	4143.9	187.5
M. M.	167	57.9	3333.3	187.5

ち、この間に測定用の用具を装着した。10分間（測定値に不安定性がみられたときは安定性がみられるまで）の安静時の測定を行い、その後ウォーミングアップを行った（W-up）。ウォーミングアップは100 m/min、0%の傾斜の負荷強度で12分間ランニングを行うこととした。ウォーミングアップ後10分間の安静の後、負荷漸増法による最大運動までの負荷試験を行った。各被験者で、ウォーミングアップを実施した後に、行う最大運動負荷と、実施しない（W/O-W）場合では、順不同で5日以上の間隔をおいて行った。

2.2.2 ウォーミング・アップの負荷強度を規定しない場合

被験者は陸上競技部所属の健康成人男子4名（20～21歳）を用いた。ウォーミングアップはトレッドミル走とし、その速度、傾斜は各被験者の主観によって決定した。ただし、ウォーミングアップは競技出場に即した状態を想定して行うことを指示した。被験者は陸上競技経験者であったため、走行スピードは一応の目安として400 mあたりに換算した所用時間を、時事刻々被験者に伝えた。この実験の場合、ウォーミングアップ、負荷試験中は走行運動に支障を来さないように、体温測定用のセンサーをはずし、体温関係の測定は行わないこととした。その他、実験条件、プロトコールは**実験1**と同様とした。

2.3 実験結果

2.3.1 ウォーミング・アップ強度を規定した場合

ウォーミングアップを実施した場合（W-up）としない場合（W/O-W）で行われた、最大運動負荷実験における呼吸循環器系機能の各パラメータの値を表4に示した。ウォーミングアップ後の回復期（Recovery）は最大運動負荷前2分間の平均値、運動負荷時（Exercise）はその間における最大値とした。

各被験者について、ウォーミングアップ実験にいちばん近い時期に行われたW/O-Wでの最大運動負荷実験で得られた、最大酸素摂取量からみたウォーミングアップの相対的強度は、37～47% $\dot{V}_{O_{2max}}$ の範囲にあった。しかし、同一被験者において、同一負荷強度のウォーミングアップであっても酸素摂取量に差異があり、被験者M. E. においては% $\dot{V}_{O_{2max}}$ に換算して37%と47%とであり、10%の差異がみられた例もあった。

ウォーミングアップ有で、最大酸素摂取量（複数の実験値を持つ場合はその平均値）が低下した例は6例中4例であった。最大酸素摂取量の測定の誤差を、最高の8%程度²²⁾とした時、ウォーミングアップ後において測定された最大酸素摂取量に無と比較して差異をもった例は、被験者Y. I. (8.7%の上昇)のみであった。ウォーミングアップ強度と最大酸素摂取量の増減との間には、一定傾向の関係を見い出せなかった。同様に、最大の分時換気量においても、測定誤差を8%とした時、ウォーミングアップの影響と考えられる一定傾向を示す結果は観察されなかった。最高心拍数も同様の結果であった。同一被験者について複数回実験を行った場合でも、その結果には再現性が観られなかった。

図4にウォーミングアップ有無の2条件での運動負荷における、体温の変化動態の典型例を示した。各被験者において、体温の上昇と下降の程度

表4 Perk value of the respiratory and circulatory responses during incremental exercise to exhaustion with and without warming-up of the fixed intensity and mean value and S.D. at preexercise period and recovery phase after warming-up

		Subject	M. T.	M. T.	M. T.	T. S.	Y. I.	M. S.	M. S.	M. M.		M. E.	M. E.
W/O-W	Before	\dot{V}_{O_2}	222.72	382.00	414.00	299.00	321.10	270.32	277.67	233.39		312.70	302.00
		\dot{V}_E	9.22	17.82	12.34	10.13	9.86	8.43	6.78	8.60		11.33	1.50
		HR	100.53	82.91	87.39	74.97	54.84	57.46	51.02	55.61		59.58	56.71
		RR	16.11	16.25	12.38	18.40	19.51	9.38	6.01	12.65		14.97	17.61
	Exercise	\dot{V}_{O_2}	2962.00	3189.00	3142.00	4117.00	4097.00	3828.00	3706.00	3339.00		3710.00	3611.00
		\dot{V}_E	123.90	114.60	103.10	156.30	149.80	131.30	136.80	130.90		126.90	136.00
		HR	211.70	193.50	214.20	204.50		162.10	178.20	187.50		189.40	189.40
		RR	54.10	47.00	46.50	58.10		55.80	56.50	59.60		57.20	65.80
W-up	Before	\dot{V}_{O_2}	1244.61	1175.05	1169.24	1363.00	1654.98	1536.64	1258.50	1426.38	1329.80	1394.49	1701.76
		\dot{V}_E	33.79	35.46	35.39	38.32	45.32	38.32	36.10	37.04	36.45	49.51	49.76
		HR	141.04	131.71	122.05	106.14	99.01	106.56	87.72	108.18	103.87	104.35	109.88
		RR	26.56	28.89	29.77	26.56	34.55	31.49	26.18	24.27	32.20	25.35	32.79
	Recovery	\dot{V}_{O_2}	325.41	267.15	246.16	362.65	351.66	289.86	258.47	264.03	278.88	316.73	353.66
		\dot{V}_E	13.19	10.01	11.22	14.66	11.86	8.89	9.97	9.40	9.81	13.37	15.50
		HR	100.08	96.85	89.15	88.37	65.44	63.96	51.44	79.12	75.37	72.63	63.42
		RR	22.55	16.24	20.10	19.37	13.01	11.41	11.36	12.99	11.40	17.32	20.73
	Exercise	\dot{V}_{O_2}	2974.00	2878.00	3077.00	4037.00	4452.00	3664.00	3447.0	3381.00	3279.00	3738.00	3612.00
		\dot{V}_E	103.80	109.60	121.30	148.70	159.90	126.40	140.00	129.10	118.00	132.30	130.10
		HR	214.20	209.30	209.30	202.20	173.00	187.50	171.40	191.40	197.80	193.50	187.50
		RR	45.00	44.60	53.90	61.60	63.50	60.20	60.60	59.30	56.90	60.10	64.60

に差異があったが、変化動態はほぼ一致した傾向にあった。ウォーミングアップ開始後、直腸温、鼓膜温ならびに平均皮膚温に一過性の低下がみられた。直腸温と平均皮膚温は、その後漸増し、ウォーミングアップ終了時には安静時の値よりも高い値となった。鼓膜温はその上昇に遅れがあり、終了時でも安静時の値まで上昇せず低い温度であった。W-up を実施した場合における運動負荷試験直前の体温は W/O-W と比べて、直腸温に 0.2 度、平均皮膚温に 0.2 度高く、鼓膜温では 0.2 度低い温度にあった。

運動負荷中、直腸温は負荷時間とともに上昇し Exhaustion 時には W/O-W で 38.0 度、W-up で 38.2 度となった。鼓膜温は、運動開始後、低下した後上昇する傾向が両条件でみられた。この

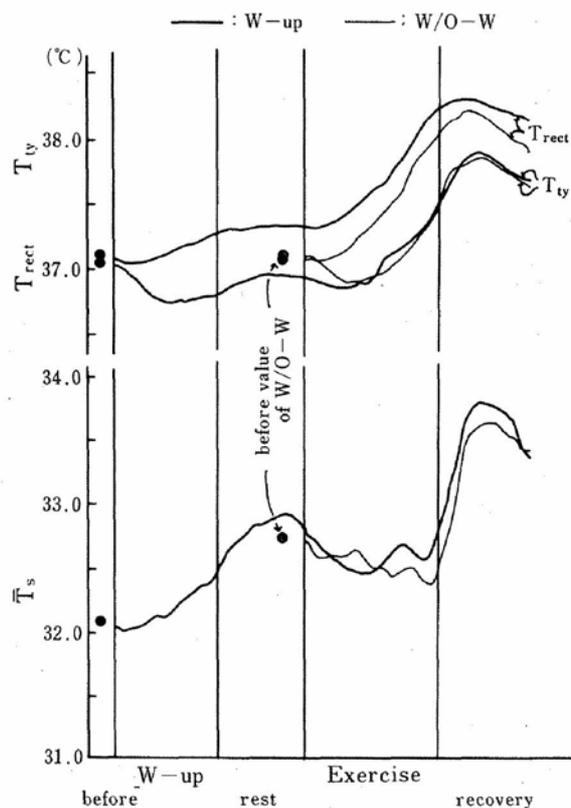


図 4 Measured and calculated temperature during incremental exercise to exhaustion and pre- and post-exercise period with (thick line) and without (thin line) warming-up. Closed circle shows mean value of the pre-exercise period

際、W/O-W での低下が大きかった。平均皮膚温では、動揺を示しながら低下し、運動終了前で上昇した。各温度の最高値は運動終了後に現れ、鼓膜温では両実験条件下で同温度 (37.9 度) となった。直腸温と平均皮膚温では、負荷開始前の温度差が維持されていた。

2.3.2 ウォーミング・アップ強度を規定しない場合

被験者の主観、経験的判断でウォーミングアップの強度を決定した場合、被験者全体としてその強度は W/O-W での最大運動負荷時に得られた $\dot{V}_{O_{2max}}$ に対して、50～68% $\dot{V}_{O_{2max}}$ であり、その持続時間は 9～19 分の範囲にあった。

W-up 後および W/O-W での最大運動負荷を与えた時に得られた呼吸循環器系の各パラメータの最高値を表 5 に示した。表中 $\dot{V}_{O_{2max}}$ と最高心拍数は W/O-W と W-up 間で一定傾向はみられなかったが、分時換気量と呼吸数には W-up 後に低い値にある傾向がみられた。 $\dot{V}_{O_{2max}}$ に関しては、被験者 K. W. と F. J. において W-up での $\dot{V}_{O_{2max}}$ が W/O-W よりも大きな値で得られた。しかし、測定誤差の範囲を考えた時、明らかな増加は被験者 K. W. における 9.6% 増であった。また明らかな減少は、被験者 S. Z. にみられた 13.9% 減であった。ウォーミングアップの強度と各測定パラメータ間には一定傾向がみられなかった。

表 6 に直腸温、鼓膜温、平均皮膚温と平均体温を示した。W-up でのウォーミングアップ前と W/O-W での安静時の体温は平均値で、また最大運動負荷試験で測定された最高値を示した。ウォーミングアップ後の値は、最大運動開始前 2 分間の平均値とした。

ウォーミングアップ後 (負荷試験前 2 分間) の体温は、被験者 K. W. の鼓膜温と平均皮膚温、被験者 F. J. の鼓膜温に、前に比べて不変、あるいは低下がみられた以外、直腸温度と平均体温はす

表5 Respiratory and circulatory response during incremental exercise with and without warming-up exercise. In this experiment, the subject could be able to select the intensity of warming-up exercise followed by his experience. Value is the peak value obtained during incremental exercise

Subjects	Condition	\dot{V}_{O_2} (ml/min)	HR (beats/min)	\dot{V}_E (l/min)	RR (times/min)
K. W.	With	3971.00	195.60	119.90	58.80
	Without	3622.00	197.00	133.70	64.30
F. J.	With	3455.00	211.70	123.80	56.20
	Without	3347.00	209.30	127.00	58.70
S. Z.	With	3226.00	193.50	101.60	53.20
	Without	3749.00	195.30	128.60	61.40
H. D.	With	4079.00	204.50	117.80	77.90
	Without	4298.00	202.10	131.70	91.30

表6 Peak value of measured and calculated body temperature after the incremental exercise. Before and after (post-warming-up exercise) value represents mean and S.D.

Subject		T_{rec}	T_{ty}	\bar{T}_s	\bar{T}_b
K. W.	With W-up : Warm-up Before	37.06 0.01	36.69 0.03	37.5 0.05	37.2 0.06
	After	37.39 0.01	36.69 0.04	37.33 0.3	37.37 0.09
	Peak Value After Max Test	38.11	37.37	38.8	38.32
	W/O W-up : Max Test Before	36.93 0.08	37.17 0.01	37.27 0.2	37.04 0.06
	Peak Value After Max Test	37.75		38.09	37.82
F. J.	With W-up : Warm-up Before	37.43 0.03	37.19 0.01	36.99 0.02	37.3 0.02
	After	37.59 0.01	37.17 0.01	37.4 0.07	37.54 0.02
	Peak Value After Max Test	38.65	38.16	38.44	38.82
	W/O W-up : Max Test Before	37.17 0.01	36.92 0.07	36.51 0.04	36.97 0.02
	Peak Value After Max Test	38.47	37.77	38.46	38.26
S. Z.	With W-up : Warm-up Before	37.23 0.04	36.72 0.03	36.86 0.14	37.12 0.04
	After	37.37 0.01	36.85 0.04	37.11 0.04	37.29 0.07
	Peak Value After Max Test	38.3	37.68	38.67	38.38
	W/O W-up : Max Test Before	37.12 0.11	37 0.09	36.61 1.1	36.97 0.35
	Peak Value After Max Test	38.24	37.53	39.01	38.46
H. D.	With W-up : Warm-up Before	37.47 0.01	37.21 0.03	37.59 0.06	37.5 0.02
	After	37.71 0.01	37.34 0.01	37.72 0.03	37.7 0.01
	Peak Value After Max Test	38.89	38.11	39.02	38.57
	W/O W-up : Max Test Before	37.34 0.03	36.76 0.04	37.31 0.04	37.32 0.01
	Peak Value After Max Test	38.07	37.71	38.24	38.1

すべての被験者に共通して高い値であった。ウォーミングアップの強度と体温の上昇程度には、被験

者数に起因すると考えられるが、意味ある傾向がなかった。

運動終了後での最高値は、被験者間でその発現時間に一致がみられなかったが、直腸温、鼓膜温ではほぼ5分までに、平均皮膚温と平均体温はそれより若干遅れて現れた。

二つの条件間での運動前の安静時温度値に、各被験者で差があったが、その安静値から最高値までの温度上昇は、被験者すべてにおいて直腸温と鼓膜温に W-up で高かった（直腸温：平均 0.41 度、鼓膜温：平均 0.26 度）。また、全被験者で直腸温と鼓膜温の最高値は W-up で W/O-W よりも高い値（直腸温：平均 0.36 度、鼓膜温：平均 0.31 度）となり、 \bar{T}_s と \bar{T}_b では 4 例中 3 例に高い値が認められた。

2.4 考 察

一般的にウォーミングアップは、その後の運動パフォーマンスに対して有利な生理的な状態をつくり出すものであると考えられている。とくに持久的な運動に際して、身体の生理機能をその運動強度に速やかに適合させるために、準備状態をウォーミングアップは必要であると考えられる。しかし、ウォーミングアップの呼吸循環器系に対する効果に肯定的な立場をとる報告^{11,15)}と、効果を見い出せなかったとする報告^{10,16)}とがあり、一致した見解に至ってはいない。本実験結果は、最大酸素摂取量を指標にした時、ウォーミングアップ効果を見い出せなかったとする結果を支持した。

最大酸素摂取量に関しては、二条件間の実験結果に差異はみられなかったが、分時換気量の最高値は実験 2 の W-up において明らかな減少傾向がみられた。70% $\dot{V}_{O_{2max}}$ の強度の持久走を Hypothermia, Normoth Ermia の環境下で行った時、 \dot{V}_E の増加を MacDougall ら¹⁸⁾が報告し、体温上昇よりも水素イオン濃度上昇が Hyperventilation を引き起こす原因となると考察している。

血中乳酸、その緩衝能を測定検討していないため、この点に関して論議できないが、本報告実験

1 において、顔面冷却で脳内に流入する血液温度の上昇を防ぐことで、同負荷強度の運動に対して少ない換気量で応答することを見い出した。また、ウォーミングアップの強度を規定した場合は、 \dot{V}_E の減少がみられず、被験者の主観的、経験的に強度設定した時に低下がみられる点は、矛盾した結果とも捉えられるが、興味ある問題と考える。

Submaximal の持久的運動において、体温上昇（とくに直腸温）は運動耐性の良い指標になると考えられている^{7,18)}。しかし、exhaustion 時の値は測定していないが、同一被験者でも漸増負荷実験後の最高直腸温に差がみられることから、運動の強度、時間とそれらの変化量の差異によって、必ずしも直腸温の上昇が運動継続の制限因子にならないとも考えられる。

本報告実験 2 で、体温上昇の程度と最大酸素摂取量には意味ある関係が見い出せなかった。Chwalbinska ら⁹⁾は、40% $\dot{V}_{O_{2max}}$ で 10 分間のウォーミングアップ後に $\dot{V}_{O_{2max}}$ を測定し、ウォーミングアップの効果はみられなかったが、血中乳酸濃度 4 mmol/l の無酸素性閾値の差に効果を見い出した。そこにおいて、高強度のウォーミングアップは生理機能を減弱する⁸⁾が、弱強度のそれは効果を持たない¹⁰⁾ことが考えられ、運動強度、持続時間、種類と主運動までの休養時間の選択に注意を呼びかけている。

補足実験で、実際の陸上競技場にて実戦に即したウォーミングアップを行わせ、その前後の体温変動を観察した。つぎに示す結果を得た（安静値からの変化量の最高値と最低値）。

直腸温 : 0.7 ~ 1.25 度の上昇

鼓膜温 : 0.14 ~ 0.4 度の上昇

平均皮膚温 : 1.66 ~ 2.06 度の上昇

平均体温 : 0.95 ~ 1.43 度の上昇

実験室内でのウォーミングアップは、フィールドでのそれに比較して、体温に及ぼす影響が明らか

かに小さいことが判明した。実験室で、実際のウォーミングアップでの体温上昇を再現することには困難な点が多いが、体温変動からみるウォーミングアップの効果の検討には必要であり、明らかな効果が得られると考えられる。また、今回の実験では被験者をすべての実験に縦断的に用いることができなかつたため、個々人の総合的な考察が不可能であった。

3. ま と め

運動により生じる熱に由来する高体温は、身体生理機構にいかなる影響を及ぼすかに注目し、最大酸素摂取量、換気量、心拍数を指標とした呼吸循環器系の機能について観察を行った。

1. 顔部と頭部のみを風で冷却しながら、50% \dot{V}_{O_2max} の強度で40分間の自転車エルゴメータ負荷を与えた時、酸素摂取量、換気量、呼吸数および心拍数からみた呼吸循環器系の機能は、冷却しない場合に比べて、運動の絶対強度が同じであっても低い水準であった。この時、直腸温と活動筋の一つである大腿直筋上の皮膚温は、冷却時、非冷却時に差異がなく、時間とともに上昇した。鼓膜温では、非冷却時に漸次上昇傾向であったが、冷却時では低下した。また、前額部皮膚温は二条件とも低下したが、冷却時では低下の程度が大きかった。

冷却時に低い酸素摂取量で運動を遂行したことは、換気量の低下すなわち呼吸筋の活動性が低くなったためと解釈した。

2. トレッドミルでの漸増負荷試験により最大酸素摂取量 (\dot{V}_{O_2max}) を求め、その \dot{V}_{O_2max} に対するウォーミングアップにより生じる高体温の影響を観察した。ウォーミングアップ強度は、実験条件として規定した場合と、被験者の経験的判断とした場合の2種類を用いた。

① 強度を規定した場合

ウォーミングアップ強度は0%、100 m/s で

12分間のトレッドミル走とし、相対強度は被験者間で37~47% \dot{V}_{O_2max} の範囲にあった。負荷試験直前の体温は、ウォーミングアップを行うことで対照よりも平均体温と直腸温で0.2度高く、鼓膜温で0.2度低い温度となった。

負荷試験で測定された呼吸循環器系の各種パラメータには、ウォーミングアップの有無による差異を見出すことができなかった。

② 強度を規定しない場合

ウォーミングアップ強度を被験者の経験に即して行わせた時、その相対強度は50~68% \dot{V}_{O_2max} の範囲にあった。ウォーミングアップの強度と体温の上昇程度に意味ある傾向は観察されなかった。ウォーミングアップでの負荷試験で得られた最高分時換気量、呼吸数は対照に比べて低い値であった。しかし、最大酸素摂取量にはウォーミングアップの有無による一定した傾向がみられなかった。

3. フィールドでの実戦に即したウォーミングアップ前後の体温

実際の競技に即したウォーミングアップを行わせて、その前後での体温変動を観察したところ、実験室で得られた体温上昇とは異なり、大きな体温上昇を示した。

謝 辞

本実験はつぎに掲げる方々の多大なる貢献によって成されました。深甚の謝意を表します。

- | | |
|-------|--------------------|
| 渡辺 昭子 | (横浜市立花水小学校) |
| 真嶋久美子 | (横浜市立高等養護学校) |
| 安松 幹典 | (横浜国立大学 教育学部教育研究科) |
| 丸谷 宗徳 | (横浜国立大学 教育学部) |
| 石井 正行 | (横浜国立大学 教育学部) |
| 進藤 央義 | (横浜国立大学 教育学部) |
| 武井 貴 | (横浜国立大学 教育学部) |

文 献

- 1) Adamus, W. C., Fox, R. H., Frey, A. J., MacDonald, I. C. ; Thermoregulation during marathon running in cool, moderate, and hot environments, *J. Appl. Physiol.*, **38**, 1030-1037 (1975)
- 2) Asmussen, E., Boje, O. ; Body temperature and capacity for work, *Acta Physiol. Scand.*, **48**, 449-453 (1960)
- 3) Baker, M. A., Stocking, R. A., Meehan, J. P. ; Thermal relationship between tympanic membrane and hypothalamus in conscious cat and monkey, *J. Appl. Physiol.*, **32**, 739-742 (1972)
- 4) Benzinger, T. H., Taylor, G. W. ; Cranial measurements of internal temperature in man, In : Hardy, J. D., ed Temperature : Its measurement and control in science and industry, New York in Renhold, **3**, 111-120 (1963)
- 5) Caputa, M., Cabanac, M. ; Muscular work as thermal behaviour in humans, *J. Appl. Physiol.*, **48**, 1020-1023 (1980)
- 6) Chwalbinska, J., Hanninen, O. ; Effect of active warming up on thermoregulatory, circulatory, and metabolic responses to incremental exercise in endurance trained athletes, *Int. J. Sports Med.*, **10**, 25-29 (1989)
- 7) Craig, F. N., Garren, H. W., Frankel, H. Blewins, W. Y. ; Heat load and voluntary tolerance time, *J. Appl. Physiol.*, **6**, 634-643 (1954)
- 8) De Bruyn-Prevost, P., Lefebvre, F. ; The effects of various warming-up intensities and durations during a short maximal anaerobic exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **43**, 101-108 (1980)
- 9) 古川太郎, 本田良行 ; IX 呼吸, I. 運動および高山に対する呼吸の適応, 現代の生理学, 金原出版, pp 638-641 (1993)
- 10) Genovely, H., Stanford, B. A. ; Effect of prolonged warm-up above and below anaerobic threshold on maximal performance, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **48**, 323-330 (1982)
- 11) Gutin, B., Stewart, K., Lewis, E., Krumper, J. ; Oxygen consumption in the first stage of strenuous work as a function of prior exercise, *J. Sports Med.*, **16**, 60-65 (1976)
- 12) Hammel, H. T., Jackson, D. C., Stolwijk, J. A. J., Hardy, J. D., Stromme, S. B. ; Temperature regulation by hypothalamic proportional control with an adjustable set point, *J. Appl. Physiol.*, **18**, 1146-1154 (1963)
- 13) Hardy, J. D., DuBois, E. F. ; The technic of measuring radiation and convection, *J. Nutr.*, **15**, 461-475 (1938)
- 14) Hirata, K., Nagasaka, T., Nunomura, T., Hirai, A., Hirashita, M. ; Effect of facial fanning on local exercise performance and thermoregulatory responses during hyperthermia, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **56**, 43-48 (1987)
- 15) Ingjer, F., Stromme, S. B. ; Effect of active, passive, or no warm-up on the physiological response to heavy exercise, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **40**, 273-282 (1979)
- 16) Knowlton, R. G., Miles, D. S., Sawka, M. N. ; Metabolic responses of untrained individuals to warm-up, *Eur. J. Appl. Physiol.*, **44**, 1-5 (1978)
- 17) Kozłowski, S., Brzenzinska, Z., Kruk, B., Ka-Uscilko, H., Greenleaf, J. E., Nozar, K. ; Exercise hyperthermia as a factor limiting physical performance, *J. Appl. Physiol.*, **59**, 766-773 (1985)
- 18) MacDougall, J. D., Reddan, W. G., Layton, C. R., Dempsey, J. A. ; Effect of metabolic hyperthermia on performance during heavy prolonged exercise, *J. Appl. Physiol.*, **36**, 538-544 (1974)
- 19) Masuda, M., Uchino, K. ; A device for tympanic membrane temperature, *Jikeikai Med. J.*, **25**, 95-99 (1978)
- 20) 大原考吉 ; 体温調節の応用病体生理, 体温調節不全, 温熱生理学, 中山昭雄編, pp 465-472 (1981)
- 21) 内野欽司 ; ヒト鼓膜温の生理学的意義, 日本生理誌, **51**, 387-404 (1989)
- 22) 山地啓司 ; 生体リズムと $\dot{V}_{O_{2max}}$, 最大酸素摂取量の科学, 杏林書院, pp 174-176 (1992)