

運動後の回復過程における体温調節反応の性差

高津理美 山崎昌廣 長谷川 博

THE GENDER DIFFERENCES IN THERMOREGULATORY RESPONSES DURING EXERCISE RECOVERY

SATOMI TAKATSU, MASAHIRO YAMASAKI and HIROSHI HASEGAWA

Abstract

The purpose of this study was to investigate the gender differences in thermoregulatory responses during the recovery from prolonged exercise. Fourteen (7 males and 7 females) subjects cycled for 45 minutes at 55% $\dot{V}O_2\text{max}$ and then rested for 105 minutes in the hot and humid environment (30°C, 80% relative humidity) or cool environment (20°C, 60% relative humidity). Both males and females showed same variations in rectal temperature (T_{re}) during exercise and recovery periods. Total sweat volume and water intake were significantly larger in males than in females during recovery in the both environments. In the heat condition, mean skin temperature (T_{sk}) decreased immediately after the cessation of exercise in females but not in males (the recovery period (R) 5-15 min : $p < 0.01$, R15-20 min : $p < 0.05$). These results suggested there are gender-related differences in the mechanisms and also the process maintaining the balance of heat production and heat loss response during recovery from prolonged exercise. Moreover the heat might modify gender differences of heat loss response during recovery as an important factor.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2008, 57 : 295-304)

key word : prolonged exercise, thermoregulation, gender differences, hot environment

I. 緒 言

運動を中止すると、発汗、皮膚血流及び皮膚温は早い段階で運動前の値へと回復する一方、深部体温が運動前の値に回復するまでには時間がかかるといふ報告が多くなされている¹⁻³⁾。運動後の回復過程における体温調節反応は通常安静状態と異なり、運動中に産生された体熱の蓄積や、運動中止に伴って生じる生体反応の変化の影響を受けることがこれまで報告されている¹⁻³⁾。

体温や熱放散反応に関する研究では、その多くが男性を被験者に用いて行われており、女性の回復期における熱放散反応の詳しいメカニズムは明らかになっていない。一方、女性は性周期によって深部体温レベルが変化することに加え⁴⁾、皮膚血管拡張や発汗反応は男性とは異なることが明らかにされていることから⁵⁻⁸⁾、体温調節反応の性差を考慮する必要があるといえる。Journeay らは、回復過程で

男性と卵胞早期の女性の体温調節反応を比較している²⁾。環境温22°Cの条件下で15分間の70% $\dot{V}O_2\text{peak}$ の自転車エルゴメータ運動終了後における女性の血圧の低下度は男性より大きく、この血圧の低下は熱放散反応の核心温閾値の上昇に関与することが示唆されている。このように、運動後の回復過程においても体温調節反応に性差が生じることが考えられる。

さらに運動後の回復期における体温調節反応に関する研究はそのほとんどが中立温度条件下で行われており^{1-3,8-12)}、暑熱条件下で行われた研究はまだ少ない¹³⁾。一方、安静時及び運動時では環境条件が体温調節反応に影響を及ぼすことが知られている。Morimoto らは、卵胞早期の女性と男性に暑熱刺激を負荷した際の発汗反応を調べたところ女性の発汗量が男性より少なく、その傾向は暑熱刺激の増大に伴い顕著になることを報告している¹⁴⁾。これらのことから運動後の回復期に生じる熱放散反応の

性差も暑熱環境によって修飾される可能性が考えられる。また、暑熱環境条件では発汗がより重要な熱の放散手段となることから、運動後の回復期における発汗反応が深部体温に及ぼす影響は、中立環境温や涼環境とは異なる可能性もある。これらのことから、暑熱環境における運動後の回復過程において体温調節反応に生じる性差の経時的変化やそのメカニズムを明らかにする必要があるといえる。そこで、本研究では涼環境下及び暑熱環境下の運動後の回復過程における熱放散反応に着目し、体温調節反応の性差を検討することを目的とした。

II. 方法

A. 被験者

被験者は健康な男女大学生、各7名であった。被験者の身体特性を表1に示した。本研究は、広島大学総合科学部身体運動領域における研究審査委員会の承認を受けたものである。被験者には実験を行うにあたって、本実験の目的及び危険性についての十分な説明を行い、実験の被験者となることの同意を得た。

B. 最大酸素摂取量テスト

本実験に先立ち、最大負荷テストを行った。最大

負荷テストでは、2分毎に20Wずつ負荷を増加させる漸増負荷法による自転車エルゴメータ運動(コンビ社製, AEROBIKE710)を行い、最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)を測定した。呼気ガスは呼気ガス分析器(ミナト医科学株式会社, AE-300S)を用いて breath by breath 法で採取し、酸素摂取量及び二酸化炭素排出量を求めた。

C. 実験手順

実験条件は次の2条件とし、男女ともランダムに実験を行った。室温30℃及び湿度80%の暑熱環境条件(HEAT, 男性:MH, 女性:FH), 室温20℃及び湿度60%の涼環境条件(COOL, 男性:MC, 女性:FC)とした。

実験当日の体調を整えるために、被験者には実験前日のアルコール摂取は控えさせ、実験3時間前までに食事をすませるよう依頼した。水分状態を標準化するため、被験者は実験の2時間前に500mlの水を摂取し、各試行の測定開始の状態を同一にした。実験中は安静時から回復期まで自由飲水とし、飲水量をエレクトリックスケール(TANITA社製, 精度 $\pm 2g$)で測定した。各試行は4日間以上の間隔をあげ、日内変動を考慮し、各被験者については同一の時間帯で実験を行った。女性被験者に関して

Table 1. Characteristics of the subjects.

Parameters	Males (n=7)	Females (n=7)
Age (yr)	21.4 \pm 1.4	20.3 \pm 1.0
Height (cm)	169.0 \pm 5.9	160.6 \pm 5.4 ⁺
Body mass (kg)	61.1 \pm 5.3	53.9 \pm 4.9 ⁺
Body surface area/body mass (m ² /kg)	0.030 \pm 0.002	0.029 \pm 0.001
Body fat (%)	19.1 \pm 7.4	24.4 \pm 3.3 ⁺
Skinfolds (scapula + triceps) (mm)	17.0 \pm 0.5	29.8 \pm 3.7 ⁺
$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)	47.0 \pm 5.6	41.4 \pm 3.4 ⁺
Exercise intensity of 55% $\dot{V}O_{2max}$ (W)	133.6 \pm 22.2	100.0 \pm 14.1 ⁺
Exercise intensity of 55% $\dot{V}O_{2max}$ (W/kg)	2.2 \pm 0.3	1.9 \pm 0.3

Values are expressed as means \pm SD. ⁺ indicates significant difference ($p < 0.05$) between males and females.

は、月経周期に基づく体温変動、ホルモンによる血管運動神経系及び発汗への影響を抑えることを考慮し、卵胞早期(月経開始後2～5日)に統一して実験を行った。

被験者は実験準備室入室後に測定のためのセンサーを装着し、全裸体重と着衣量を計測した(A & D社製, FW-150, 精度±20g)。着用したウェアは男女とも半袖Tシャツとハーフパンツですべて同一素材のものとした。運動開始前に被験者は、自転車エルゴメータ上で座位安静を保った。15分経過後自転車エルゴメータから降り、裸体重及び着衣量を再び計測した。その後55% $\dot{V}O_2\max$ の自転車エルゴメータ運動を45分間行った。運動停止後、汗をよく拭き裸体重及び着衣量を再び計測した。運動時と同様の乾いたウェアに着替え、再び自転車エルゴメータ上で105分間の座位安静を保った。

D. 各指標の測定方法

直腸温は医療用潤滑剤ヌルゼリー(Teikoku Medix社製)を塗ったサーミスタを直腸内に10～12cm挿入した。皮膚温は上腕部、胸部、大腿部及び下腿部の4点に銅コンスタントンの熱電対の先端を貼付し、データ収集型ハンディタイプ温度計(Gram社製, LT-8)を用いて5分毎に測定した。平均皮膚温は次式により算出した。平均皮膚温=0.3(胸部皮膚温+上腕部皮膚温)+0.2(大腿部皮膚温+下腿部皮膚温)¹⁵⁾。上腕皮膚血流量はレーザー血流計(ADVANCE社製, ALF21D)により時定数60secで測定し、5分毎に平均値を算出した。両環境条件ともに自転車エルゴメータ上での座位安静15分間の血流量の平均を基準値とし、基準値に対する増加率で示した(%LDF)。貯熱量は平均体温変化量(°C)×体重(kg)×人体の比熱(0.83 kcal/°C/kg)で算出した。心拍数はハートレートモニター(POLAR社製, Accurex plus)を用いて5分毎に測定した。主観的運動強度(Rating of Perceived Exertion; RPE)はBorgのスケールを¹⁶⁾、温熱感覚(Thermal sensation; TS)はGaggeらのスケールを¹⁷⁾、口渴感覚(Thirst level; TL)はRollsらのスケールを用いて¹⁸⁾それぞれ15分間隔で測定した。

有効発汗量は運動時であっても体重変化を測定できる装置を用いて連続測定した。この装置は体重計(ザルトリウス社製, FD1501GGS)の上に流動パラ

フィンをひいたパットを敷き、その上に自転車エルゴメータを固定したものである。滴り落ちた汗が流動パラフィンに吸収され、運動中の有効発汗量の変化を測定することができる^{19,20)}。総発汗量は「(運動前体重-運動後体重+水分摂取量)/体表面積(L/m²)」で算出した。有効発汗量も体格補正し、無効発汗量は「(総発汗量-有効発汗量)/体表面積(L/m²)」、発汗効率は「有効発汗量/総発汗量×100(%)」で算出した。また、運動終了後の脱水率を「(運動前体重-運動後体重)/運動前体重×100(%)」、回復期終了後の脱水率を「(運動後体重-回復後体重)/運動後体重×100(%)」で算出した。

E. 統計処理

値はすべて平均値±標準偏差で示した。直腸温、平均皮膚温、心拍数、皮膚血流量、RPE、TS及びTLの経時的変化は、two-way repeated ANOVAを用い、有意差が認められた場合にはT-testにより各群間の差の検定を実施した。総発汗量、有効発汗量、無効発汗量、発汗効率及び脱水率の群間の差についてはT-testを用いた。有意水準はいずれも5%未満とした。

III. 結 果

被験者の身体特性を表1に示した。身長及び体重は男性が女性より、体脂肪率及び皮下脂肪厚は女性が男性より有意に高値を示したが、体表面積/体重比には有意な性差は見られなかった。また、 $\dot{V}O_2\max$ 及び55% $\dot{V}O_2\max$ 運動時における負荷強度ではいずれも男性が女性より有意に高値を示したが、相対強度には有意な性差は見られなかった。

直腸温の経時的変化を図1に示した。運動開始前の直腸温はそれぞれ37.04±0.31°C(MC)及び37.17±0.37°C(FC)、36.92±0.48°C(MH)及び37.28±0.16°C(FH)であり各条件に差はなかった。直腸温は男女とも両環境条件において運動開始後から上昇し、45分の運動終了後の直腸温は、それぞれ38.20±0.28°C(MC)及び38.46±0.89°C(FC)、38.42±0.57°C(MH)及び38.23±0.39°C(FH)であった。回復期では再び運動開始前の値へ戻り、両環境条件とも男女で有意な差は認められなかった。

平均皮膚温の経時的変化を図2に示した。平均皮膚温は運動開始直後に急激に上昇し、その後運動終

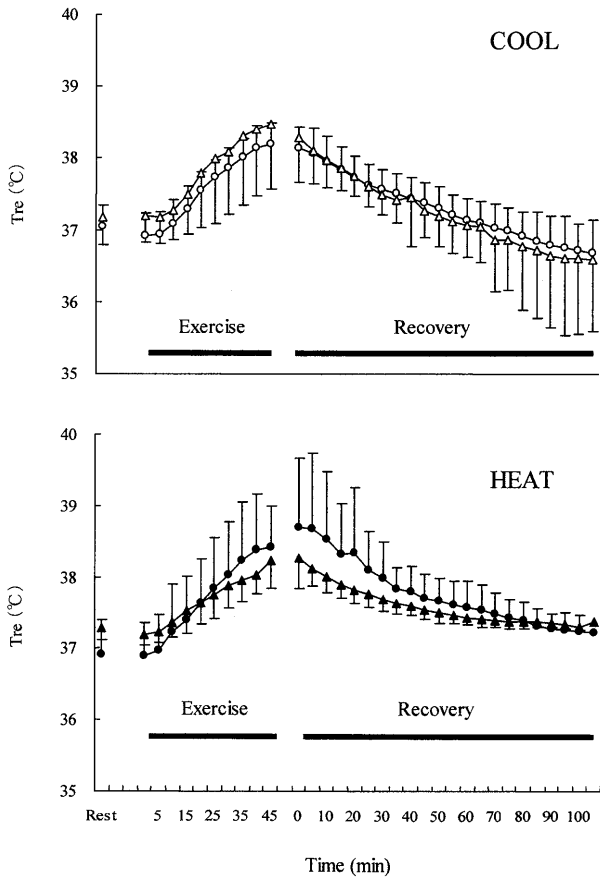


Fig. 1. The time courses of the increase in rectal temperature in males (COOL : ○, HEAT : ●) and females (COOL : △, HEAT : ▲) during exercise and recovery in the two different environments (COOL : 20°C and 60%rh, HEAT : 30°C and 80%rh). Values are means ± SD for subjects.

了まではほぼ一定の値を保った。運動終了後は再び運動開始前の値へ下がっていく傾向にあった。HEAT 条件では回復期 5 分から 20 分まで男性が女性より有意に高値を示した(回復期 5~10 分: $P < 0.01$, 回復期 15~20 分: $P < 0.05$)。

上腕部の皮膚血流量の変化を図 3 に示した。上腕部の皮膚血流量の基準値は、それぞれ 2.01 ± 1.08 ml/min/100 g (MC) 及び 1.97 ± 0.99 ml/min/100 g (FC), 3.95 ± 2.98 ml/min/100 g (MH) 及び 3.18 ± 2.26 ml/min/100 g (FH) であった。運動開始直後急激に上昇し、運動終了までは一定の血流量を保った後、回復期に再び運動開始前の値へ下がっていく傾向にあった。両環境条件とも男女で有意な差は認められなかった。

心拍数(HR), 主観的運動強度(RPE), 口渇感(TL) 及び温熱感覚(TS) の変化を表 2 に示した。いずれの指標も回復期には両環境条件下で有意な性差は見

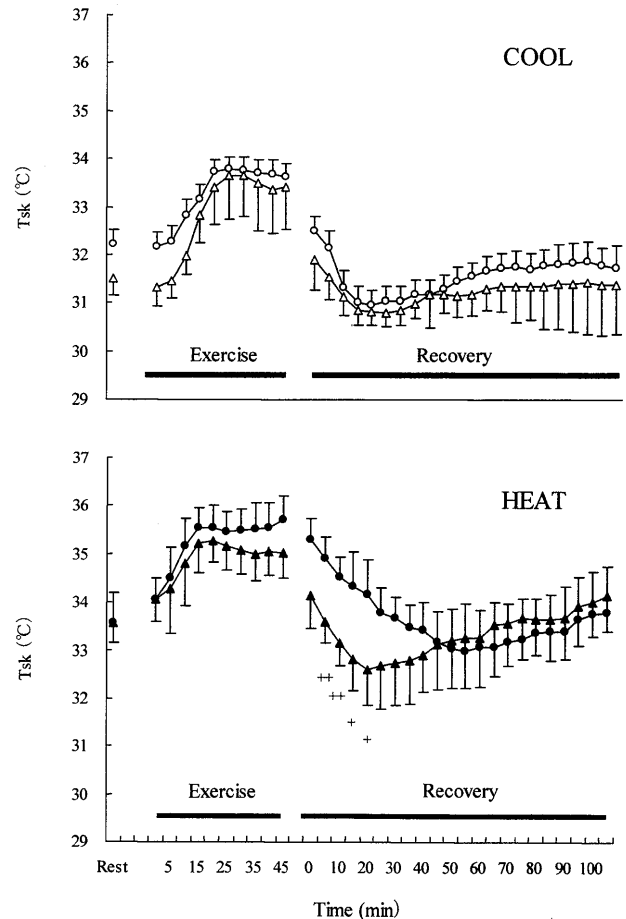


Fig. 2. The time courses of the increase in mean skin temperature in males (COOL : ○, HEAT : ●) and females (COOL : △, HEAT : ▲) during exercise and recovery in the two different environments (COOL : 20°C and 60%rh, HEAT : 30°C and 80%rh). Values are means ± SD for subjects. + and ++ indicate significant difference ($P < 0.05$ and $P < 0.01$) between males and females.

られなかった。

総発汗量, 有効発汗量, 飲水量, 発汗効率, 脱水率及び貯熱量を表 3 に示した。運動中の総発汗量は、女性のみ環境条件間で有意な差が示された。一方、回復期には男性のみ環境条件間で有意な差が見られた。また、両環境条件下で有意な性差が認められた。運動中の有効発汗量は、COOL で男性が女性より有意に高値を示したが、HEAT では男女に有意な差は見られなかった。一方、回復期は、HEAT で男性が女性より有意に高値を示した。また、男女ともに環境条件間で有意な差が示された。飲水量は運動中には COOL でのみ有意な性差が認められた。回復期では両環境条件下で有意な性差が認められた。運動中の発汗効率は両環境条件ともに性差が見

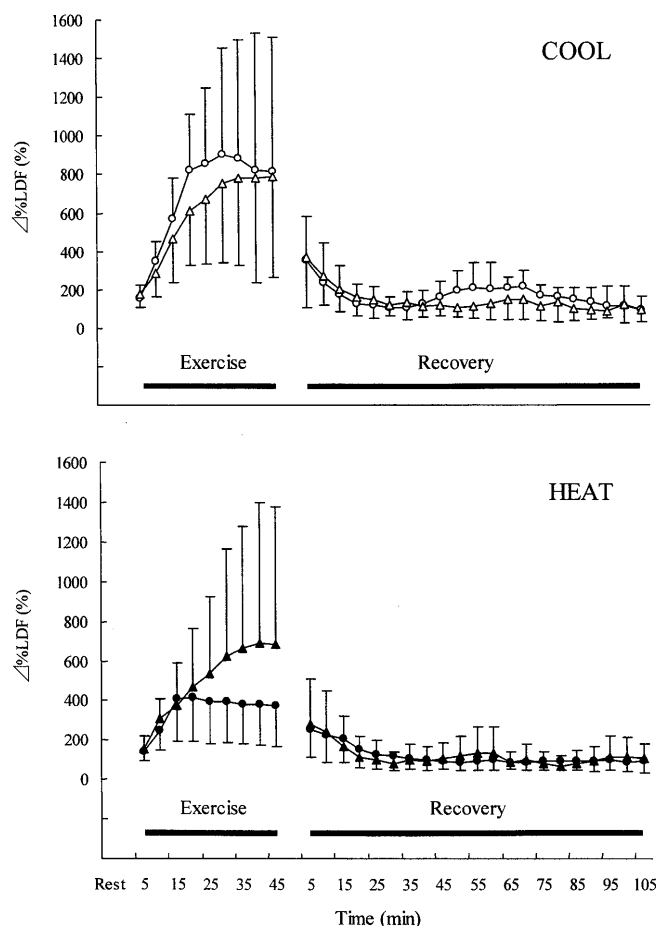


Fig. 3. The time courses of the increase in skin blood flow measured by laser doppler flowmetry (%LDF) on the upper arm during exercise and recovery in the two different environments (COOL: 20°C and 60%rh, HEAT: 30°C and 80%rh) in males (COOL: ○, HEAT: ●) and females (COOL: △, HEAT: ▲). Values are means \pm SD for subjects.

られなかった。一方、回復期では COOL でのみ男性が女性より有意に高値を示した。脱水率は運動中では男女ともに HEAT で有意に高い値を示したが、性差は見られなかった。回復期では性差及び環境条件による差は認められなかった。運動終了時の貯熱量は、HEAT の男性が他の 3 条件に比べ有意に高い値を示した。回復期終了時には性差は見られなかったが、HEAT の男性が COOL の男性に比べ有意に高い貯熱量を示した。

IV. 考 察

本研究では涼環境及び暑熱環境の両環境条件下において、運動後の回復期の深部体温の変化には性差が見られなかった。しかし運動終了後の回復期初期には暑熱環境条件下において男性の皮膚温が女性よ

り有意に高い値を示した。また発汗反応にも性差が示され、運動後の回復過程では熱放散反応のメカニズムに性差が生じることが示唆された。

室温 20°C 及び相対湿度 60% の環境下で 45 分間の 75% $\dot{V}O_2\max$ でのランニングを男性と卵胞前期の女性に行なわせ、運動中と運動後の回復過程における体温調節反応を観察した Marchand らの研究では、直腸温及び皮膚温に有意な性差は認められなかった¹¹⁾。一方、体熱の流れを示す前腕の熱流束は、運動終了 45 分後から終了まで女性の方が男性に比べ有意に高い値を示した。これらの結果は、深部体温には性差が生じないが、熱放散反応に関しては性差が生じるという本研究と同様の結果である。

本研究の暑熱環境においてのみ観察された回復期初期における皮膚温の性差には、運動終了時点での貯熱量が関与していると考えられる。本研究では、運動終了時の貯熱量を比較した際、暑熱環境条件の男性が他の 3 条件に比べ有意に高い値を示した(表 3)。また、運動後の回復期における発汗量及び有効発汗量も暑熱環境条件の男性が他の 3 条件に比べ有意に高い値を示した(表 3)。暑熱環境下では汗の蒸発によって皮膚温が低下し、さらに静脈温が冷却され、それが中心部に戻ることによって深部体温が低下する²¹⁾。暑熱環境条件の男性は他の 3 条件に比べ、運動時により多くの熱を蓄積していたために皮膚温の低下が緩慢になり、それに伴って発汗反応による熱放散が促されていた可能性が示唆された。

熱放散反応には身体組成の違いが影響する可能性が考えられるが^{22,23)}、本研究ではそれらの性差を含んだうえで実験を行っている(表 1)。この他、脱水率や男女の飲水特性の違いも発汗反応や血流などの熱放散反応に性差をもたらす要因となっている可能性も考えられる。脱水は皮膚血管拡張開始閾値の上昇をもたらすことが報告されている²⁴⁾。また性差に関して、暑熱順化していない女性の発汗量は男性より少ないことが明らかになっているが²⁵⁾、本研究では運動中及び回復期で脱水レベルに性差は見られなかった(表 3)。一方、運動中の脱水レベルは男女ともに暑熱環境で涼環境よりも有意に高い脱水レベルを示しており、暑熱環境条件下では涼環境条件下に比べ、運動終了時に中心静脈圧や血漿量が低下していた可能性が考えられる²⁶⁾。これらのことが、暑熱環境条件下の回復期初期において熱放散を

Table 2. Changes in HR and the subjective responses.

Measures	Sex	Condition	Baseline	End of exercise	30min	60min	105min
HR	M	C	77 ± 4	152 ± 9	79 ± 14	73 ± 8	76 ± 9
	M	H	72 ± 2	159 ± 29	91 ± 9	87 ± 12	87 ± 18
	F	C	77 ± 2	152 ± 17	84 ± 19	76 ± 18	69 ± 15
	F	H	77 ± 3	155 ± 17	86 ± 11	89 ± 10	89 ± 8
RPE	M	C		13.1 ± 1.8 [#]			
	M	H		15.4 ± 2.6			
	F	C		14.4 ± 1.8			
	F	H		15.2 ± 2.2			
TL	M	C	-5.9 ± 1.2	-4.3 ± 1.6	-6.3 ± 1.3	-6.9 ± 1.2	-6.9 ± 1.6
	M	H	-5.7 ± 2.1	-3.7 ± 1.5	-5.1 ± 2.0	-6.0 ± 1.5	-5.7 ± 2.0
	F	C	-7.6 ± 0.8	-4.6 ± 1.7	-6.4 ± 1.4	-6.4 ± 1.5	-6.6 ± 1.9
	F	H	-7.6 ± 0.5	-2.2 ± 1.3	-6.0 ± 2.3	-6.6 ± 1.7	-6.8 ± 1.3
TS	M	C	2.6 ± 1.4	5.7 ± 1.1	2.7 ± 1.6	1.7 ± 0.8	2.0 ± 1.2
	M	H	4.9 ± 0.7	6.4 ± 1.8	4.4 ± 0.8	4.4 ± 0.5	4.4 ± 0.5
	F	C	2.7 ± 1.1	5.4 ± 2.2	2.4 ± 1.4	1.7 ± 1.1	1.0 ± 1.1
	F	H	5.2 ± 0.8	6.0 ± 2.0	4.4 ± 0.5	4.0 ± 0.0	4.2 ± 0.4

TL : Thirst level, 0 Not at all, -7 Very thirsty, TS : Thermal sensation, 0 Very cold, 1 Cold, 2 Cool, 3 Slightly cool, 4 Neutral, 5 Slightly warm, 6 Warm, 7 Hot, 8 Very hot.

Values are expressed as mean ± SD. [#] indicates significant difference ($p < 0.05$) between COOL and HEAT.

抑制し, 特に貯熱量の高い男性では皮膚温の低下が緩慢になった要因のひとつであると考えられる。循環及び体液調節の影響に関して, 今後詳しく検討する必要があると言える。

運動後の回復期で見られた発汗反応の性差は, 非温熱性の要因が関与している可能性も考えられる。安静時にはヒトは皮膚血流の増加及び発汗量の増大によって体温が低下する。運動時には活動筋への血流確保がより重要になり, そのため皮膚血流量の増加が抑制され, 熱放散は低下することになる。一方でこれを補うために発汗量がより増加する。運動時の皮膚血流や発汗反応などの熱放散反応には, 体温などの温熱性要因とともに, セントラルコマンド, 筋や腱の機械受容器, 筋の代謝受容器, 圧受容器及び精神性刺激などの非温熱性要因が影響することが報告されている^{21,27)}。さらに最近の研究では, 運動時同様に回復期においても熱放散反応に非温熱性の要因が影響している可能性が示唆されている^{1, 12)}。特に女性においては運動終了後に見られる血圧の低下と熱放散反応との関連が報告されており, 動脈圧受容器が熱放散反応の性差に影響を及ぼす可能性も示唆されている。本研究で観察された回復期

の発汗反応の性差には, このような動脈圧受容器やそれに伴う発汗開始閾値の変化が影響している可能性も示唆される。中等度運動を負荷した本研究では, 両環境条件下で血流に関する指標である上腕の %LDF に性差及び環境条件差は見られなかったが, 異なる部位を測定した場合や, 高強度の運動を行った際には性差が生じる可能性が考えられる。暑熱環境下では熱放散反応が涼環境及び中立温度条件とは異なることから, 暑熱環境下での運動後の回復過程における熱放散反応と動脈受容器の関連については今後検討する必要があるといえる。

本研究では, 涼環境及び暑熱環境の両環境条件下で, 回復過程における深部体温の変化には性差が見られなかった。しかし, 暑熱環境条件の男性は他の3条件に比べ, 運動時により多くの熱を蓄積していたために皮膚温の低下が緩慢になり, 発汗による熱放散が促されていた可能性が示された。また, これには脱水レベルも関与した可能性が示唆された。回復期の体温調節反応においては暑熱環境それ自身がさらに性差を修飾する要因となることが考えられた。運動後の回復期の体温調節反応は, 環境条件を考慮した上で, 非温熱性要因, 循環及び体液調節が

Table 3. The indexes related to heat loss and heat production responses.

Measures	Sex	Condition	Exercise	Recovery
Sweat volume (L/m ²)	M	C	0.34 ± 0.12	0.16 ± 0.07 ⁺ #
	M	H	0.48 ± 0.18	0.31 ± 0.14 ⁺
	F	C	0.23 ± 0.04 [#]	0.08 ± 0.02
	F	H	0.36 ± 0.11	0.15 ± 0.04
Evaporated water loss (L/m ²)	M	C	0.24 ± 0.06 ⁺	0.08 ± 0.05 [#]
	M	H	0.24 ± 0.04	0.24 ± 0.07 ⁺
	F	C	0.15 ± 0.02	0.08 ± 0.02 [#]
	F	H	0.18 ± 0.07	0.14 ± 0.03
Volume of water intake (ml)	M	C	200.9 ± 184.3 ⁺	158.4 ± 138.7 ⁺
	M	H	337.1 ± 304.7	340.4 ± 122.2 ⁺
	F	C	12.3 ± 21.6	18.6 ± 49.1
	F	H	132.2 ± 98.3	78.4 ± 75.6
Sweat efficiency (%)	M	C	74.5 ± 14.4	50.2 ± 19.1 ⁺
	M	H	62.1 ± 21.8	81.8 ± 15.0
	F	C	67.2 ± 20.7	93.1 ± 8.2
	F	H	55.6 ± 31.2	93.1 ± 8.2
Dehydration level (%)			End of exercise	End of recovery
	M	C	0.79 ± 0.42 [#]	-0.34 ± 0.41
	M	H	1.19 ± 0.51	-0.44 ± 0.39
	F	C	0.70 ± 0.51 [#]	-0.45 ± 0.15
Heat storage (kcal)	F	H	1.07 ± 0.32	-0.76 ± 0.58
	M	C	60.9 ± 26.2 [#]	-20.3 ± 19.2 [#]
	M	H	83.2 ± 24.8 ⁺	13.1 ± 30.0
	F	C	64.1 ± 20.6	-30.0 ± 32.7
	F	H	47.4 ± 19.0	9.1 ± 9.2

Values are expressed as mean ± SD. ⁺ indicates significant difference ($p < 0.05$) between males and females. [#] indicates significant difference ($p < 0.05$) between COOL and HEAT.

運動後の体温調節反応の性差に及ぼす影響を含め、更なる検討が必要である。

V. ま と め

本研究の目的は涼環境下及び暑熱環境下における運動後の回復過程に着目し、体温調節反応の性差を検討することであった。男女各7名の被験者に2つの環境条件下：1) 暑熱環境(室温30℃及び相対湿度80%)、涼環境(室温20℃及び相対湿度60%)で55% $\dot{V}O_{2max}$ の自転車ペダリング運動を45分間行わせた後、105分間の座位安静状態を観察した(回復期)。

運動時及び回復期の直腸温は、両環境条件とも有意な性差が見られなかった。回復期の平均皮膚温は、涼環境条件において男女で有意な差は見られな

かったが、暑熱環境条件では男性は女性に比べ有意に高い値を示した。貯熱量は、運動終了時において暑熱環境条件の男性が、涼環境条件の男女及び暑熱環境条件の女性に比べ有意に高い値を示した。暑熱環境下での長時間運動時に男性はより体内に熱を蓄積しやすく、運動終了後の回復期の体温調節反応にも高い貯熱量が影響を及ぼしていることが示唆された。上腕の皮膚血流量は運動時及び回復期を通して涼環境条件、暑熱環境条件ともに有意な差は認められなかった。

本研究では涼環境及び暑熱環境の両環境条件下で、回復期の深部体温の変化には性差が見られなかった。しかし、暑熱環境条件の男性は他の3条件に比べ、運動時により多くの熱を蓄積していたために皮膚温の低下が緩慢になり、発汗による熱放散が促

されていた可能性が示された。また, これには脱水レベルも関与した可能性が考えられる。回復期の体温調節反応は, 暑熱環境それ自体がさらに性差を修飾する要因となることが示唆された。

(受理日 平成20年2月18日)

文 献

- 1) Journeay, W. S., Reardon, F. D., Martin, C. R. and Kenny, G. P., Control of cutaneous vascular conductance and sweating during recovery from dynamic exercise in humans. *J. Appl. Physiol.*, (2004), **96**, 2207-2212
- 2) Journeay, W. S., Reardon, F. D., McInnis, N. H. and Kenny, G. P., Nonthermoregulatory control of cutaneous vascular conductance and sweating during recovery from dynamic exercise in women. *J. Appl. Physiol.*, (2005), **99**, 1816-1821
- 3) Kenny, G. P., Zaleski, W., Reardon, M. L., Sigal, R. J., Journeay, W. S. and Reardon, F. D., Postexercise hypotension causes a prolonged perturbation in esophageal and active muscle temperature recovery. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, (2006), **291**, R580-R588
- 4) 井上芳光. 体温-運動時の体温調節システムとそれを修飾する要因- 初版, 性周期・性差による修飾作用, 有限会社ナップ, 東京, (2002), 218-227
- 5) Stachenfeld, N. S., Silva, C. and Keefe, D. L., Estrogen modifies the temperature effects of progesterone. *J. Appl. Physiol.*, (2000), **88**, 1643-1649
- 6) Stachenfeld, N. S. and Taylor, H. S., Progesterone increases plasma volume independent of estradiol. *J. Appl. Physiol.*, (2005), **8**(6), 1991-1997
- 7) Stephenson, L. A. and Kolka, M. A. Esophageal temperature threshold for sweating decreases before ovulation in premenopausal women. *J. Appl. Physiol.*, (1999), **86**, 22-28
- 8) Kuwahara, T., Inoue, Y., Abe, M., Sato, Y. and Kondo, N., Effects of menstrual cycle and physical training on heat loss responses during dynamic exercise at moderate intensity in a temperate environment. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, (2005), **88**, 1347-1353
- 9) Kenny, G. P. and Jay, O., Evidence of a greater onset threshold for sweating in females following intense exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (2007), **101**(4), 487-493
- 10) Kenny, G. P. and Jay, O., Sex differences in postexercise esophageal and muscle tissue temperature response. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, (2007), **292**, R1632-R1640
- 11) Marchand, I., Johnson, D., Montgomery, D., Brisson, G. R., and Perrault, H., Gender differences in temperature and vascular characteristics during exercise recovery. *Can. J. Appl. Physiol.*, (2001), **26**(5), 425-441
- 12) Kenny, G. P., Murrin, J. E., Journeay, W. S. and Reardon, F. D., Differences in the post exercise threshold for cutaneous active vasodilation between men and women. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, (2006), **290**, R172-R179
- 13) Keatisuwan, W., Ohnaka, T. and Tochiyama, Y., Physiological responses of men and women during exercise in hot environments with equivalent WBGT. *Appl. Human. Sci.*, (1996), **15**(6), 249-258
- 14) Morimoto, T., Slabochova, Z., Naman, R. K. and Sargent, F. 2nd., Sex differences in physiological reactions to thermal stress. *J. Appl. Physiol.*, (1967), **22**, 526-532
- 15) Ramanathan, N. L., A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *J. Appl. Physiol.*, (1964), **19**, 531-533
- 16) Borg, G. A., Perceived Exertion : a note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports. Exerc.*, (1973), **5**, 90-93
- 17) Gagge, A. P., Stolwijk, J. A. and Hardy, J. D., Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures. *Environ. Res.*, (1967), **1**, 1-20
- 18) Rolls, B. J., Wood, R. J., Rolls, E. T., Lind, H., Lind, W. and Ledingham, J., Thirst following water deprivation in humans. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, (1980), **239**, R476-R482
- 19) 高取直志, 長谷川 博, 山崎昌廣, 小村 堯, 水分摂取間隔の違いが暑熱下運動中の体温調節反応に及ぼす影響, 体力科学, (2002), **51**, 317-324
- 20) Hasegawa, H., Takatori, T., Komura, T. and Yamasaki, M., Combined effects of pre-cooling and water ingestion on thermoregulation and physical capacity during exercise in a hot environment. *J. Sports. Sci.*, (2006), **24**(1), 3-9
- 21) 近藤徳彦, 彼末一之, 体温と運動の機能的連関, 体力科学, (2005), **54**, 19-20
- 22) Havenith, G., Individualized model of human thermoregulation for the simulation of heat stress response. *J. Appl. Physiol.*, (2001), **90**, 1943-1954
- 23) Shapiro, Y., Pandolf, K. B., Avellini, B. A., Pimental, N. A. and Goldman, R. F., Physiological responses of men and women to humid and dry heat. *J. Appl. Physiol.*, (1980), **49**(1), 1-8
- 24) Fortney, S. M., Wenger, C. B., Bove, J. R. and Nadel, E. R., Effect of hyperosmolality on control of blood flow and sweating. *J. Appl. Physiol.*, (1984), **57**, 1688-1695
- 25) Fyre, A. J. and Kamon, E. Response to dry heat of men and women with similar aerobic capacities. *J.*

- Appl. Physiol., (1981), **50**, 65-70
- 26) Senitko, A. N., Charkoudian, N. and Halliwill, J. R., Influence of endurance exercise training status and gender on postexercise hypotension. *J. Appl. Physiol.*, (2002), **92**, 2368-2374
- 27) Shibasaki, M., Kondo, N. and Crandall, C. G., Non-thermoregulatory modulation of sweating in humans. *Exerc. Sport. Sci. Rev.*, (2003), **31**, 34-39