

## 運動トレーニングが若年女性の熱放散反応に及ぼす影響

大阪国際大学 小倉幸雄  
短期大学部  
(共同研究者) 神戸大学大学院 桑原智子  
大阪国際大学 井上芳光

### Effects of Physical Training on Heat Loss Responses in Young Women

by

Yukio Ogura

*Osaka International College*

Tomoko Kuwahara

*Graduate School of Cultural Studies and Human Science,*

*Kobe University*

Yoshimitsu Inoue

*Laboratory for Human Performance Research,*

*Osaka International University*

#### ABSTRACT

To examine the effects of physical training on heat loss responses of young women in relation to menstrual cycles, 11 physically trained (T group) and 13 untrained (U group) women were exposed to passive heating [by placing the lower legs and feet in a 42 °C water bath for 60 min while sitting in a warm (30 °C, 45%RH) chamber] in their mid-follicular and mid-luteal phases. Female hormones on the experimental day increased from the mid-follicular to mid-luteal phase in the T and U groups, but the magnitude of increase was significantly lower in the T group. During the passive heating, rectal ( $T_{re}$ ) and mean skin temperatures were significantly lower in the T group than in the U group regardless of the menstrual phase. Although  $T_{re}$  and mean body ( $T_b$ ) temperatures before and during the heating increased from the mid-follicular to the mid-luteal phase in

the U groups, the tendency was not observed in the T group. Therefore the group differences of  $T_{re}$  and  $T_b$  were more remarkable in the mid-luteal phase. The increase of skin blood flow measured by laser-Doppler flowmetry (%LDF) did not differ between the groups regardless of body site and menstrual phase. Local sweating rate ( $m_{sw}$ ) was significantly greater in the T group than in the U group on chest, back and forearm (but not on forehead and thigh) in the both menstrual phases, but no menstrual phase-related differences were observed in either group. Analysis of the relationship of the frequency of sweat expulsion ( $F_{sw}$ ) -  $T_b$ ,  $m_{sw}$  -  $F_{sw}$  or %LDF -  $T_b$  suggested that in women physical training improves sweating and vasodilation functions, and central and peripheral mechanisms in the sweating function and central rather than peripheral mechanism in the vasodilation function. The improvement of the central mechanism in the both functions by physical training was more marked in the mid-luteal than the mid-follicular phase (due to the marked group difference of the female hormones in the mid-luteal phase). The improvement of peripheral mechanisms was greater in the sweating rather than the vasodilation function, and its magnitude differed with body site.

## 要 旨

本研究では、運動鍛錬者11名(T群)と同非鍛錬者13名(U群)の卵胞中期と黄体中期に30℃・45%RH環境下で下肢温浴(42℃)を60分間負荷し、運動トレーニングが熱放散反応に及ぼす影響を検討した。実験当日の血中女性ホルモンは、T・U群とも卵胞中期から黄体中期に有意に増加したものの、その増加度はT群がU群より有意に小さかった。下肢温浴中における直腸温( $T_{re}$ )および平均皮膚温は、卵胞中期と黄体中期ともT群がU群より有意に低かった。下肢温浴前・中の $T_{re}$ および平均体温( $T_b$ )は、U群では黄体中期に卵胞中期より有意に上昇したものの、T群にはその傾向がみられなかったため、黄体中期でそれらの群差がより顕著になった。前額・胸・背・前腕・大腿の皮膚血流量変化率(%LDF)の経時的変化には卵胞中期と黄体中期とも運動トレーニングの影響はみられなかった。下肢温浴終了直前10分間の局所発汗量( $m_{sw}$ )は、両性周期と

も胸・背・前腕でT群がU群より有意に高かった。汗の拍出頻度( $F_{sw}$ ) -  $T_b$ ,  $m_{sw}$  -  $F_{sw}$ , %LDF -  $T_b$ の対応関係の検討から、女性の運動トレーニングは発汗・皮膚血管拡張機能を改善し、その改善は発汗機能では中枢機構および末梢機構の両活動性の亢進に、皮膚血管拡張機能では末梢より中枢機構の亢進に、それぞれ起因することが示唆された。さらに、運動トレーニングに伴う中枢機構の改善は、黄体中期における女性ホルモンの顕著な群差に起因し、発汗・皮膚血管拡張機能とも黄体中期により顕著になった。運動トレーニングに伴う末梢機構の改善には、発汗・皮膚血管拡張機能とも身体部位差が存在する可能性が示唆された。

## 緒 言

女性は、卵巣から分泌されるエストロゲンとプロゲステロンの変動で、排卵を境とした卵胞中期と黄体中期の性周期を有する。この女性ホルモンの変動が発汗・皮膚血管反応を修飾することが報

告されている<sup>1-7)</sup>。正常な性周期を有する女性でも運動トレーニングを継続すると、女性ホルモン(特に排卵後のプロゲステロン)の分泌量が低下し、その変動幅も小さくなる<sup>8)</sup>。男性ホルモンは発汗反応を促進するのに対し、女性ホルモンは発汗反応を抑制することが報告されている<sup>9)</sup>。これらの先行研究結果<sup>1-9)</sup>を考え合わせると、運動トレーニングに伴う発汗や皮膚血管反応の変容の程度が性周期によって修飾されることが予想される。これまで、運動トレーニングに伴い発汗・皮膚血管拡張反応がいかに修飾されるのか、男性を対象とした実験で詳細に検討されている<sup>10)</sup>。しかし、性周期を考慮したうえで女性の運動トレーニングと熱放散反応の関連性を検討した例はみあたらない。

そこで本研究では、運動トレーニングが若年女性の熱放散反応に及ぼす影響を明らかにするため、運動鍛錬者と非鍛錬者の卵胞中期と黄体中期に下肢温浴を負荷し、両群の発汗・皮膚血管拡張反応を身体多部位で比較検討した。

## 1. 方法

被験者：本実験では、健康な24名の若年成人女性(19~22歳)を被験者とした(表1)。その内11名は運動クラブに少なくとも6年以上所属する運動鍛錬者(以下T群とする)、残りの13名は少なくとも3年以上体育の授業以外で特別な運動を実施していない非運動鍛錬者(以下U群とする)であった。

実験条件および手順：実験開始3か月前から測定した基礎体温周期に基づき、各被験者の卵胞中期(月経開始日より7~10日目)と黄体中期(同

19~22日目)を予測し、両期においてそれぞれ暑熱実験を実施した。日内リズムによる影響を最小限にするため、同一被験者は卵胞中期と黄体中期の同一時間帯に暑熱実験を設定した。また、暑熱馴化の影響を避けるために、全ての実験は2月中旬から4月中旬に実施した。

実験当日、被験者は採血後、ショーツ・ショートパンツとスポーツブラを着用し、身長、体重、皮下脂肪厚の測定を行った。その後、各被験者は、直腸温測定用サーミスターセンサーを挿入し、環境温度28℃・相対湿度(RH)45%に設定した人工気象室の前室に入り、少なくとも40分間椅座安静を保った。その間、被験者に各種測定器を装着し、その後28℃・45%RHに設定した人工気象室に移動して椅座安静時のベースラインデータを採取した。その後、人工気象室内の環境温度を30℃・45%RHに再設定し、その環境下で各被験者に下肢温浴(膝から下を42℃の湯に浸す)を60分間要求した。

測定項目：下肢温浴実験前に血液サンプルを5cc採取し、血漿エストロン・エストラジオール・プロゲステロン濃度を測定した。実験開始前に身長と体重(1g感度)を測定し、両値より体表面積を算出した<sup>11)</sup>。さらに、身体6部位(肩甲骨下・脇腹・上腕後面・前腕前面・大腿前面・下腿後面)の皮下脂肪厚を栄研式キャリパーで測定し、それらの平均値を求めた。また、暑熱実験とは別の日に自転車エルゴメーターを用いた最大下負荷漸増法で、各被験者の最大酸素摂取量( $\dot{V}O_{2max}$ )を推定した。

下肢温浴実験において、皮膚血流量(LDF)、

表1 被験者の身体的特性

	n	Age (yr)	Height (cm)	Mass (kg)	$A_D$ (m <sup>2</sup> )	$A_{D/mass}$ (cm <sup>2</sup> /kg)	MSF (mm)	$\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min)
T group	11	20.5 ± 0.3	160 ± 2	52.9 ± 1.5	1.49 ± 0.03	284 ± 3	11.8 ± 0.8*	57.7 ± 2.3*
U group	13	20.6 ± 0.2	160 ± 2	54.1 ± 1.4	1.51 ± 0.03	281 ± 4	15.6 ± 0.9	42.2 ± 1.1

平均値 ± SEM, \*は有意な群差を示す (p<0.01)。 $A_D$ ：体表面積,  $A_{D/mass}$ ：体表面積/体重比, MSF：6部位(肩甲骨下, 脇腹, 上腕後面, 前腕前面, 大腿前面, 下腿後面)での皮下脂肪厚の平均値;  $\dot{V}O_{2max}$ ：推定最大酸素摂取量

局所発汗量 ( $m_{sw}$ ), 直腸温 ( $T_{re}$ ), 皮膚温, 汗の拍出頻度 ( $F_{sw}$ ), 総発汗量, 心拍数, 血圧を測定した。

LDF (レーザードップラー血流計, 出力範囲: 0-2 V) および  $m_{sw}$  (カプセル換気法) は, 前額・胸・背・前腕・大腿の5部位で連続的に測定した。LDFおよび  $m_{sw}$  のデータは, データ集録装置を介し, パーソナルコンピュータで1/50秒ごとに取り込み, いずれも1分値で表示した。また, 1/50秒ごとに記録した胸・背・前腕の発汗データに基づき, 同期性を確認しながら1分ごとの  $F_{sw}$  をカウントした。なお, LDFはベースラインデータを100とする変化率 (% LDF) で表示した。

$T_{re}$  は直腸温用サーミスターセンサーを肛門から8-10cm挿入し, 皮膚温は前額・胸・背・前腕・手背・大腿・足背の7部位にサーミスターセンサーを貼付し, 温度集録装置を介してパーソナルコンピュータに1分ごとに取り込んだ。これらのデータに基づき, 平均皮膚温 ( $T_{sk}$ ) および平均体温 ( $T_b$ ) を算出した<sup>12)</sup>。総発汗量は, 実験前後の体重減少量から推定し,  $g/m^2/h$  で表示した。

心拍数は, 心拍数測定器で5分ごとに測定した。最高血圧と最低血圧は, 自動血圧計で10分ごとにそれぞれ測定し, 平均血圧を算出した。

データ分析および統計処理: % LDF -  $T_b$  の対応関係から求めた回帰直線の勾配, その回帰直線に基づき推定した皮膚血管拡張  $T_b$  閾値を各被験者の性周期と部位ごとにそれぞれ算出した。さらに, 発汗データにおいては,  $F_{sw} - T_b$  と  $m_{sw} - F_{sw}$  の対応関係から求めた回帰直線の勾配,  $F_{sw} - T_b$  の回帰直線から推定した発汗開始  $T_b$  閾値を各被験者ごとに算出した。

全てのデータは, 平均値  $\pm$  SEM で表示した。全てのデータの統計処理には, 一要因および二要因の分散分析を用いた。なお, 性周期による影響は, 一要因・二要因の検定とも被験者内計画で検討した。いずれの検定においても有意水準は

$p < 0.05$  に設定した。

## 2. 結果

表1は, 運動鍛錬者 (T群) および同非鍛錬者 (U群) の卵胞中期における身体的特性を示す。年齢, 身長, 体重, 体表面積および体表面積 / 体重比には, 有意な群差はみられなかったが, 平均皮下脂肪厚ではT群がU群より低く ( $p < 0.01$ ),  $\dot{V}O_{2max}$  ではT群がU群より高かった ( $p < 0.001$ )。

卵胞中期において, エストロンはT群がU群より低かったが ( $20 \pm 2$  vs.  $49 \pm 9$  pg/ml,  $p < 0.01$ ), エストラジオール (T群 vs. U群:  $32 \pm 4$  vs.  $36 \pm 6$  pg/ml) ・プロゲステロン ( $0.3 \pm 0.08$  vs.  $0.6 \pm 0.03$  ng/ml) には有意な群差はみられなかった。いずれの女性ホルモン濃度も卵胞中期から黄体中期 (エストロン: T群 vs. U群;  $37 \pm 4$  vs.  $96 \pm 14$  pg/ml, エストラジオール:  $63 \pm 8$  vs.  $119 \pm 9$  pg/ml, プロゲステロン:  $3.9 \pm 1.2$  vs.  $12.2 \pm 1.6$  ng/ml) に有意な増加を示したが, その増加の程度はT群がU群より小さかったため, 黄体中期では全ての女性ホルモンでT群が低値を示した ( $p < 0.01$ )。

図1は, 下肢温浴時におけるT群およびU群の  $T_{re}$ ,  $T_{sk}$ ,  $T_b$  の経時的变化をそれぞれ示す。  $T_{re}$  は, 両群とも時間経過に伴い有意に上昇したが, 下肢温浴前・中とも性周期にかかわらずT群がU群より有意に低かった ( $p < 0.05$ )。  $T_{re}$  は, U群が下肢温浴前・中とも卵胞中期に比べ黄体中期に有意に高かったのに対し ( $p < 0.01$ ), T群では性周期による影響がみられなかったため, 下肢温浴前・中における  $T_{re}$  の群差は黄体中期で顕著だった。  $T_{sk}$  は, 下肢温浴後10分間は両群とも上昇したが, その後U群がその値をほぼ保ったのに対し, T群は低下傾向を示したため, 卵胞中期 ( $p < 0.05$ ) ・黄体中期 ( $p = 0.08$ ) ともにT群がU群より低かった。  $T_b$  は,  $T_{re}$  と同様に, 性周期にかかわらずT群がU群より有意に低く ( $p < 0.01$ ), その群差は黄体

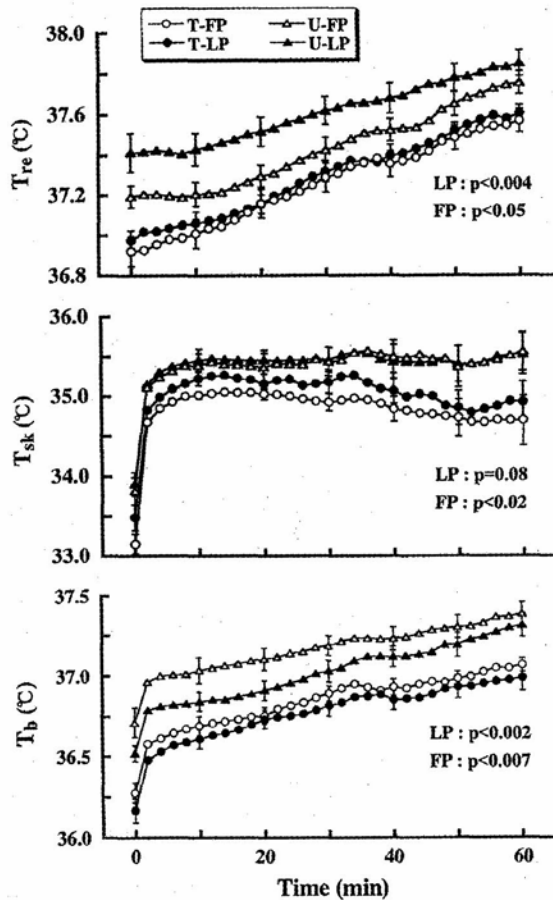


図1 運動鍛錬者 (T) および同非鍛錬者 (U) の卵胞中期 (FP)・黄体中期 (LP) における下肢温浴時の直腸温 ( $T_{re}$ ), 平均皮膚温 ( $T_{sk}$ ), 平均体温 ( $T_b$ ) の経時変化。図中の p 値は, 各性周期の T・U 間の群差を示す。

中期で顕著だった。

図2は, 下肢温浴時における前額・胸・背・前腕・大腿の % LDF を示す。% LDF は, いずれの部位

でも時間経過に伴い有意に増加したが, 性周期にかかわらず T 群と U 群の間には有意な群差は認められなかった。しかし, U 群の背においてのみ黄体中期に卵胞中期より高くなる傾向がみられた ( $p=0.07$ )。

表2は, 個人ごとに求めた身体5部位での % LDF -  $T_b$  の回帰直線の勾配およびこの回帰直線に基づき算出した皮膚血管拡張  $T_b$  閾値を群別に示す。この回帰直線の勾配は, 卵胞中期の背において T 群が U 群より大きい傾向だった ( $p=0.07$ )。また, この勾配には U 群の背 ( $p<0.01$ ) で性周期の影響がみられ, 黄体中期が卵胞中期より大きかった。皮膚血管拡張  $T_b$  閾値は, 性周期・部位にかかわらず T 群が U 群より有意な低値を示した ( $p<0.05$ )。さらに, U 群の皮膚血管拡張  $T_b$  閾値は全ての部位において黄体中期に高温側へシフトした ( $p<0.05$ )。しかし, その傾向は T 群には認められなかった。

総発汗量は, 卵胞中期 ( $244 \pm 21$  vs.  $187 \pm 12$   $g/m^2/h$ )・黄体中期 ( $255 \pm 24$  vs.  $189 \pm 15$   $g/m^2/h$ )とも T 群が U 群より有意な高値を示した ( $p<0.01$ )。なお, 総発汗量には両群とも性周期の影響は認められなかった。図3は, 前額・胸・背・前腕・大腿における  $m_{sw}$  の経時変化を示す。 $m_{sw}$  の経時変化では, 黄体中期においてのみ背・前腕で T 群が

表2 運動鍛錬者 (T) および同非鍛錬者 (U) の卵胞中期 (FP)・黄体中期 (LP) における身体5部位での皮膚血流変化量 (% LDF) - 平均体温 ( $T_b$ ) から求めた回帰直線の勾配 (Slope) およびその回帰直線に基づき求めた皮膚血管拡張  $T_b$  閾値 (Threshold  $T_b$ )

Menstrual cycle		Slope (%/°C)		Threshold $T_b$ (°C)	
		T	U	T	U
Forehead	FP	553 ± 118	447 ± 64	36.53 ± 0.06	36.75 ± 0.07*
	LP	474 ± 69	877 ± 220	36.59 ± 0.07	36.97 ± 0.08* †
Chest	FP	521 ± 120	538 ± 96	36.57 ± 0.07	36.79 ± 0.06*
	LP	547 ± 107	857 ± 192	36.43 ± 0.25	36.98 ± 0.09* †
Back	FP	839 ± 150	553 ± 60	36.58 ± 0.06	36.83 ± 0.06*
	LP	893 ± 160	882 ± 111 †	36.64 ± 0.07	36.97 ± 0.07* †
Forearm	FP	1386 ± 266	1186 ± 266	36.57 ± 0.06	36.74 ± 0.06*
	LP	1507 ± 347	1826 ± 282	36.65 ± 0.08	37.21 ± 0.16* †
Thigh	FP	1990 ± 371	2016 ± 342	36.53 ± 0.06	36.76 ± 0.06*
	LP	1839 ± 196	2232 ± 325	36.57 ± 0.07	36.95 ± 0.08* †

\*は各性周期における有意な群差 ( $p<0.01$ ), †は各群における有意な性周期差 ( $p<0.01$ ) をそれぞれ示す。

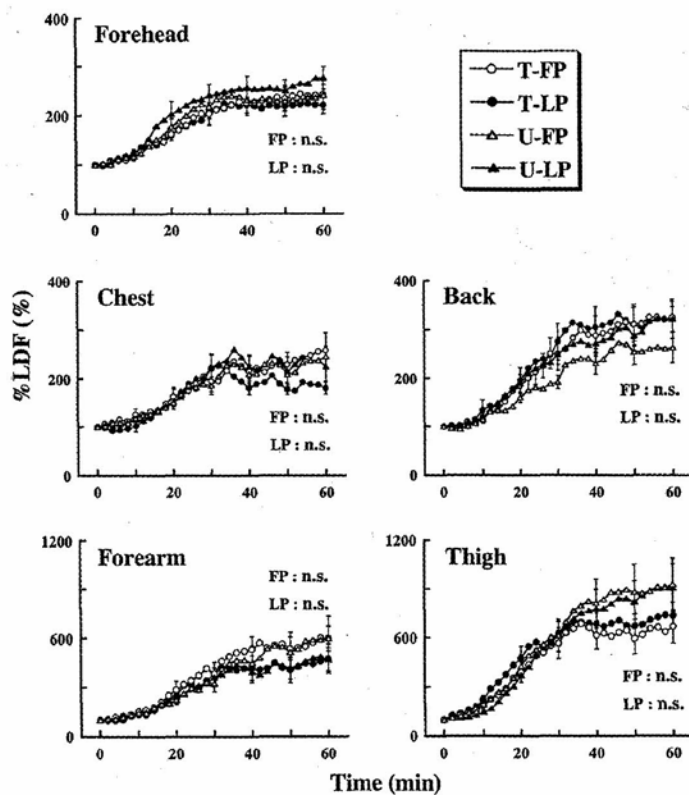


図2 運動鍛錬者 (T) および同非鍛錬者 (U) の卵胞中期 (FP) ・黄体中期 (LP) における下肢温浴時の身体5部位の皮膚血流量変化率 (%LDF). %LDFは平衡期の皮膚血流量を100としその変化率を算出した. 図中のp値は, 各性周期のT・U間の群差を示す.

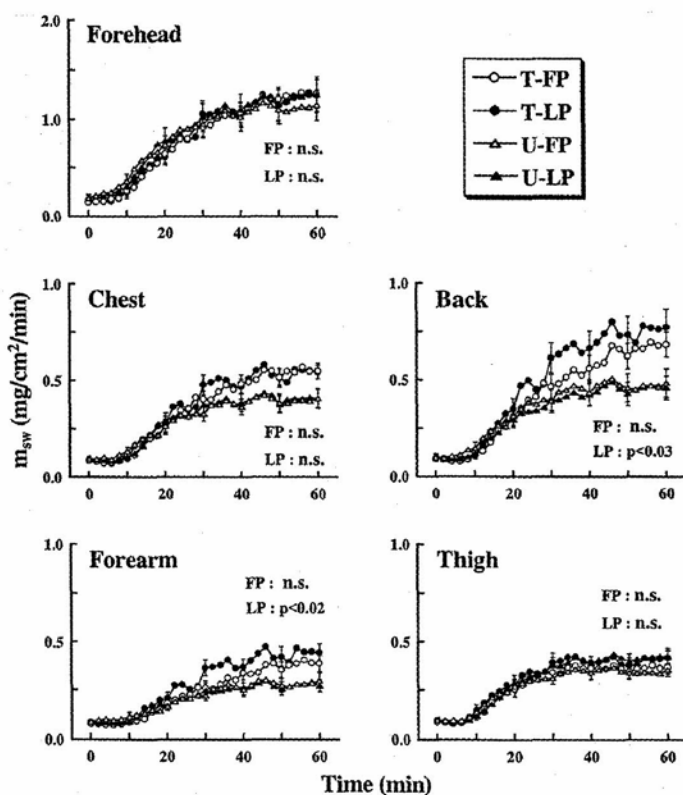


図3 運動鍛錬者 (T) および同非鍛錬者 (U) の卵胞中期 (FP) ・黄体中期 (LP) における下肢温浴時の身体5部位の局所発汗量 ( $m_{sw}$ ). 図中のp値は, 各性周期のT・U間の群差を示す.



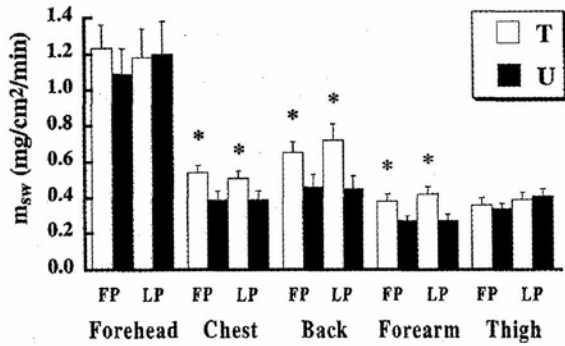


図4 運動鍛錬者 (T) および同非鍛錬者 (U) の卵胞中期 (FP)・黄体中期 (LP) における下肢温浴終了直前10分間の局所発汗量 ( $m_{sw}$ ) の平均値. \*は各性周期における有意な群差を示す ( $p < 0.05$ ).

表3 運動鍛錬者 (T) および同非鍛錬者 (U) の卵胞中期 (FP)・黄体中期 (LP) における発汗開始平均体温閾値 (Threshold  $T_b$ ), 汗の拍出頻度 ( $F_{sw}$ ) - 平均体温 ( $T_b$ ) および局所発汗量 ( $m_{sw}$ ) -  $F_{sw}$  から求めた回帰直線の勾配

Menstrual cycle		T	U
Threshold $T_b$ ( $^{\circ}C$ )			
FP		36.58 $\pm$ 0.05	36.83 $\pm$ 0.07*
LP		36.61 $\pm$ 0.05	37.03 $\pm$ 0.08* †
Slope of $F_{sw}-T_b$ ((expulsions/min) / $^{\circ}C$ )			
FP		55.9 $\pm$ 5.7	30.4 $\pm$ 4.6*
LP		48.4 $\pm$ 4.2	39.3 $\pm$ 4.5 †
Slope of $m_{sw}-F_{sw}$ ((mg/cm <sup>2</sup> /min) / (expulsions/min))			
Forehead	FP	0.144 $\pm$ 0.02	0.132 $\pm$ 0.02
	LP	0.187 $\pm$ 0.03 †	0.114 $\pm$ 0.01*
Chest	FP	0.080 $\pm$ 0.01	0.058 $\pm$ 0.01
	LP	0.091 $\pm$ 0.01	0.053 $\pm$ 0.01*
Back	FP	0.095 $\pm$ 0.01	0.068 $\pm$ 0.01
	LP	0.107 $\pm$ 0.01	0.060 $\pm$ 0.01*
Forearm	FP	0.058 $\pm$ 0.01	0.041 $\pm$ 0.01
	LP	0.073 $\pm$ 0.01	0.033 $\pm$ 0.01*
Thigh	FP	0.036 $\pm$ 0.01	0.044 $\pm$ 0.01
	LP	0.049 $\pm$ 0.01 †	0.044 $\pm$ 0.01

\*は各性周期における有意な群差 ( $p < 0.001$ ), †は各群における有意な性周期差 ( $p < 0.05$ ) をそれぞれ示す.

U群より有意に高かったが ( $p < 0.05$ ), 下肢温浴終了直前10分間の平均  $m_{sw}$  では, 卵胞・黄体中期とも胸・背・前腕でT群がU群より高値を示した ( $p < 0.05$ ; 図4). なお,  $m_{sw}$  には両群とも性周期の影響は認められなかった.

表3は,  $F_{sw} - T_b$  および  $m_{sw} - F_{sw}$  の回帰直線の勾配をそれぞれ示す.  $F_{sw} - T_b$  の回帰直線の勾配は, 卵胞中期でT群がU群より有意に大きかった ( $p < 0.01$ ).  $F_{sw} - T_b$  の回帰直線に基づき算出した発汗開始  $T_b$  閾値は, 皮膚血管拡張  $T_b$  閾値と

同様に, 性周期にかかわらずT群がU群より有意な低値を示した ( $p < 0.01$ ). U群の発汗開始  $T_b$  閾値は黄体中期に高温側へシフトし ( $p < 0.01$ ), その勾配も有意に大きくなったが ( $p < 0.05$ ), T群にはその傾向がみられなかった.  $m_{sw} - F_{sw}$  の回帰直線の勾配は, 黄体中期の前額 ( $p < 0.05$ )・胸・背・前腕 ( $p < 0.01$ ), 卵胞中期の胸 ( $p = 0.07$ )・背 ( $p = 0.10$ ) でT群がU群より大きかった.

心拍数は両群とも時間経過に伴って有意に増加し, 下肢温浴前 (卵胞中期:  $66 \pm 3$  vs.  $72 \pm 3$  拍/分, 黄体中期:  $67 \pm 2$  vs.  $81 \pm 3$  拍/分)・中 (下肢温浴終了値; 卵胞中期:  $86 \pm 4$  vs.  $99 \pm 4$  拍/分, 黄体中期:  $89 \pm 2$  vs.  $103 \pm 3$  拍/分) とも性周期にかかわらずT群がU群より低かった ( $p < 0.05$ ). また, U群においては, 下肢温浴前 ( $p < 0.01$ )・中 ( $p = 0.10$ ) の心拍数が黄体中期で卵胞中期より有意に上昇した. 平均血圧 (下肢温浴終了値; 卵胞中期:  $80 \pm 3$  vs.  $84 \pm 3$  mmHg, 黄体中期:  $81 \pm 3$  vs.  $78 \pm 7$  mmHg) には, 運動トレーニングおよび性周期の影響はみられなかった.

#### 4. 考察

本研究において, T群はU群に比し, 有意に高い  $\dot{V}O_{2max}$  と低い平均皮下脂肪厚を有した. これらの群差は, 持久的運動トレーニングが  $\dot{V}O_{2max}$  や皮下脂肪厚に及ぼす影響を縦断的に検討した先行研究結果<sup>13)</sup> と一致した. そのため, 本研究におけるT群・U群の被験者採用は的確であったことが十分推察される. 本研究では, 3か月間にわたる各被験者の基礎体温測定結果に基づいて予想した卵胞中期と黄体中期に下肢温浴実験を実施した. 実験当日に測定した血中女性ホルモンは, 卵胞中期ではエストロンのみT群がU群より有意に低かったが, 卵胞中期から黄体中期へ血中女性ホルモンの増加の程度がT群で有意に小さかったため, 黄体中期ではT群の全ての女性ホルモンがU群より有意に低かった. このT群の低い女性ホル

モンは、運動トレーニングに伴い女性ホルモン分泌が低下することを報告したLoucks et al.<sup>8)</sup>の結果と類似した。このことはT群・U群の被験者採用が的確であったことを裏づけている。また、両群とも黄体中期の血中女性ホルモンが卵胞中期より有意に高かったことは、各被験者の卵胞中期と黄体中期を的確に捉えて下肢温浴実験を負荷できたことを裏づけている。そのため、各性周期における熱放散反応の群差は運動トレーニングの影響を、各群における卵胞中期と黄体中期の熱放散反応の差は性周期の影響を、それぞれ反映しているものと考えられる。

下肢温浴中の $T_{re}$ ・ $T_{sk}$ ・ $T_b$ は、性周期にかかわらずT群がU群より有意に低かった。しかし、総発汗量では卵胞・黄体中期ともT群が有意に高く、下肢温浴終了直前10分間の平均 $m_{sw}$ では卵胞・黄体両期とも胸・背・前腕でT群がU群より有意に高かった。これらの結果は、若年女性の運動トレーニングが発汗機能を改善し、その改善の程度には身体部位差が存在することを示唆している。本研究ではこの発汗機能の改善機序を検討するため、 $F_{sw} - T_b$  (発汗中枢機構の活動性) および $m_{sw} - F_{sw}$  (末梢機構の活動性) の対応関係<sup>15)</sup>をT群とU群で比較した。 $F_{sw} - T_b$ の対応関係において、U群に比しT群は卵胞・黄体中期とも有意に低い発汗開始 $T_b$  閾値と卵胞中期で有意に大きい勾配を示した。さらに、 $m_{sw} - F_{sw}$ の対応関係における勾配は、卵胞中期の胸・背および黄体中期の前額・胸・背・前腕でT群がU群より大きかった。そのため、1) 若年女性の運動トレーニングは発汗機能を改善し、その改善は発汗中枢機構と末梢機構の両活動性の改善に起因すること、2) 末梢機構の改善の程度には身体部位差が存在し、それが胸・背・前腕における平均 $m_{sw}$ の群差として反映したことが推察される。

一方、下肢温浴時における%LDFの経時的変化には、性周期・身体部位にかかわらず、運動ト

レーニングの影響が観察されなかった。下肢温浴時の平均血圧には、性周期・運動トレーニングに影響されなかったことから、T群とU群の等しい%LDFは皮膚血管拡張の程度が同等であったことを示唆している。しかし、T・U群の等しい%LDFとT群の低い $T_{re}$ および $T_b$ を考え合わせると、運動トレーニングは皮膚血管拡張機能も亢進することが十分推察される。そこで本研究では、%LDF- $T_b$ の対応関係をT群とU群で比較した。汗の拍出頻度を用いた解析ほど明確ではないが、一般に皮膚血管拡張の深部体温閾値が皮膚血管拡張中枢の活動性を、%LDF- $T_b$ の勾配が末梢機構の活動性を、それぞれ示していると考えられている<sup>16)</sup>。本研究において、皮膚血管拡張 $T_b$  閾値は、性周期にかかわらず全部位でT群がU群より有意な低値を示し、%LDF- $T_b$ の勾配は卵胞中期の背でのみT群が有意に大きい傾向だった。従って、若年女性の運動トレーニングは、皮膚血管拡張機能を改善し、その改善は末梢機構より中枢機構の改善に起因することが示唆される。

さらに、皮膚血管拡張機能と発汗機能の改善結果を考え合わせると、若年女性の運動トレーニングは、皮膚血管拡張機能より発汗機能をより改善することが窺われる。また、我々の先行研究<sup>14)</sup>において、(1) 女性は男性に比し発汗よりも皮膚血管拡張に依存した熱放散特性を有し、その傾向は大腿で顕著であること、(2) 女性の低い発汗量は、大腿を除く前額・胸・背・前腕で顕著であること、が明らかにされている。この結果に基づくと、若年女性の運動トレーニングは、より劣った発汗機能をより劣った身体部位で改善しているとも捉えることができる。

本研究において、発汗開始および皮膚血管拡張の $T_b$  閾値の運動トレーニング差は、卵胞・黄体中期ともに観察されたが、その差は黄体中期で顕著だった。これは、U群の発汗開始および皮膚血管拡張の $T_b$  閾値が、黄体中期に高温側に有意に



シフトしたのに対し、T群の $T_b$  閾値は有意に変化しなかったことに起因する。本研究において、T・U群のいずれの被験者でも、卵胞中期から黄体中期にプロゲステロンは増加したが、その増加の程度はU群が顕著だったため、黄体中期ではT群のプロゲステロンがU群より有意に低かった。プロゲステロンが体温調節中枢を介して発汗開始や皮膚血管拡張の深部体温閾値を高温側へシフトする作用があることを報告した先行研究結果<sup>1-7)</sup>に基づくと、黄体中期に観察されたプロゲステロンの群差が、黄体中期における発汗・皮膚血管拡張 $T_b$  閾値の大きな群差に反映したものと考えられる。

本実験ではU群の背で%LDF- $T_b$  の勾配が黄体中期に大きくなった。皮膚血流量の増大は、皮膚血管収縮神経のtoneの低下と能動的血管拡張システムの作用により調節されている。能動的血管拡張システムとしては、皮膚血管拡張神経、発汗神経由来の血管拡張物質、皮膚血管内皮細胞由来のNOなどが考えられている<sup>17)</sup>。近年、エストロゲンがNOの感受性を亢進することが示唆されており<sup>18, 19)</sup>、これらの結果<sup>18, 19)</sup>と上記NOが皮膚血管拡張に貢献すること<sup>17)</sup>を考え合わせると、性周期に伴うエストロゲンの増減がNOを介して皮膚血管拡張感受性を修飾し、この修飾がエストロゲンの顕著な増加を示す黄体中期において皮膚血管感受性を亢進したのかもしれない。T・U群の勾配における性周期差に身体部位差が存在したのは、エストロゲンとNOを介する皮膚血管拡張感受性に及ぼす局所皮膚温の影響が身体部位で異なるのかもしれない。

#### 4. まとめ

運動トレーニングは、若年女性の発汗・皮膚血管拡張機能をともに改善することが示唆された。さらに、発汗機能の改善は中枢機構および末梢機構の両活動性の亢進に、皮膚血管拡張能の改善は

末梢より中枢機構の亢進に、それぞれ強く影響された。また、運動トレーニングに伴う中枢機構の改善は、黄体中期における女性ホルモンの顕著な群差に起因し、発汗・皮膚血管拡張機能とも黄体中期により顕著になった。運動トレーニングに伴う末梢機構の改善には、発汗・皮膚血管拡張機能とも身体部位差が存在する可能性が示唆された。

#### 謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究に対し助成いただいた(財)石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また、実験に参加いただいた被験者のみなさん、データの収集・解析に協力いただいた谷口美有紀さん(元大阪国際女子大学)、採血を行っていただいた隈部敬子看護師・平田まり教授(大阪国際大学健康管理センター)に深謝いたします。

#### 文 献

- 1) Brooks E.M., Morgan A.L., Pierzga J.M., et al.: Chronic hormone replacement therapy alters thermoregulatory and vasomotor function in postmenopausal women. *J. Appl. Physiol.*, 83, 477-484 (1997)
- 2) Charkoudian N., Johnson J.M.: Modification of active cutaneous vasodilation by oral contraceptive hormones. *J. Appl. Physiol.* 83, 2012-2018 (1997)
- 3) Charkoudian N., Stephens D.P., Pirkle K.C., et al.: Influence of female reproductive hormones on local thermal control of skin blood flow. *J. Appl. Physiol.*, 87, 1719-1723 (1999)
- 4) Kolka M.A., Stephenson L.A.: Effect of luteal phase elevation in core temperature on forearm blood flow during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 82, 1079-1083 (1997)
- 5) Stachenfeld N.S., Silva C., Keefe D.L.: Estrogen modifies the temperature effects of progesterone. *J. Appl. Physiol.*, 88, 1643-1649 (2000)
- 6) Stephenson L.A., Kolka M.A.: Esophageal temperature threshold for sweating decreases before ovulation in premenopausal women. *J. Appl. Physiol.*, 86, 22-28 (1999)

- 7) Stephenson L.A., Kolka M.A.: Menstrual cycle phase and time of day alter reference signal controlling arm blood and sweating. *Am. J. Physiol.*, 249, R186-191 (1985)
- 8) Loucks A.B., Mortola J.F., Girton L., et al.: Alterations in the hypothalamic-pituitary-ovarian and the hypothalamic-pituitary-adrenal axes in athletic women. *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 68, 402-411 (1989)
- 9) 小川徳雄：汗の常識・非常識，講談社（ブルーバックス B-1218），pp122 (1998)
- 10) 山崎文夫：運動トレーニングと暑熱順化による修飾作用，体温－運動時の体温調節システムとそれを修飾する要因－（平田耕造，井上芳光，近藤徳彦編），ナッブ，pp146-155 (2002)
- 11) Fujimoto S., Watanabe T.: Studies on the body surface area of Japanese. *Acta. Med. Nagasaki*, 13, 1-13 (1969)
- 12) Inoue Y., Shibasaki M., Ueda H., et al.: Mechanisms underlying the age-related decrement in the human sweating response., *Eur. J. Appl. Physiol.*, 79, 121-126 (1999)
- 13) 池上晴夫：運動処方，朝倉書店，pp98-106, pp117-125 (1990)
- 14) 井上芳光，小倉幸雄，浅見尚子 他：暑熱下における皮膚血流量反応の性周期・性差．*体力科学*，49, 899 (2000)
- 15) Ogawa T., Sugeno J.: Pulsatile sweating and sympathetic sudomotor activity. *Jpn. J. Physiol.*, 43, 275-289 (1993)
- 16) Pawelczyk J.A.: Neural control of skin and muscle blood flow during exercise and thermal stress. *Perspectives in Exercise Science and sports Medicine Vol. 6 (Exercise, Heat, and Thermoregulation)*, IL Cooper, pp119-178 (1993)
- 17) 芝崎 学：汗腺と皮膚血管の調節. 体温－運動時の体温調節システムとそれを修飾する要因－（平田耕造，井上芳光，近藤徳彦編），ナッブ，pp27-39 (2002)
- 18) Gilligan D.M., Badar D., Panza J.A., et al.: Acute vascular effects of estrogen in postmenopausal women. *Circulation*, 90, 786-791 (1994)
- 19) Pinto S., Virdis A., Ghiadoni L., et al.: Endogenous estrogen and acetylcholine-induced vasodilation in normotensive women. *Hypertension*, 29, 268-273 (1997)