

運動時全身発汗応答の季節変動からみた体温調節機能の特性

鳥井 正史¹⁾, 山崎 昌廣²⁾
佐々木 隆³⁾, 中山 英明⁴⁾

- 1) 九州工業大学体育科学教室
- 2) 広島大学総合科学部保健体育講座
- 3) 銀杏学園短期大学生理学教室
- 4) 鳥取大学医学部衛生学教室

**Functional Differentiation of Thermoregulation,
with Particular Referenecs to Seasonal Variation of Whole Body Sweat
Rate of Exercising Man**

Masafumi TORII¹⁾, Masahiro YAMASAKI²⁾,
Takashi SASAKI³⁾ and Hideaki NAKAYAMA⁴⁾

- 1) *Physical Fitness Laboratory, Kyushu Institute of Technology*
- 2) *Department of Health and Physical Education, Faculty of Integrated Arts and Science, Hiroshima University*
- 3) *Department of Physiology, Ginkyo Junior College*
- 4) *Department of Hygiene, Tottori University School of Medicine*

We investigated the seasonal variation of sweating response during exercise. Four adult healthy men repeated a moderate bicycle exercise (60 watts) in a climatic chamber of an ambient temperature of 30°C (relative humidity, 45%) in winter, spring, summer, and fall. In summer, sweat rate immediately increased as soon as the exercise started, whereas in winter in a few minutes. The mean sweat rate during exercise was significantly different between winter and summer. The transient reduction of the \bar{T}_{sk} was observed at the beginning of the exercise in winter. The \bar{T}_{sk} decreased in proportion to increasing of sweat rate in each season. Significantly negative correlations were found between sweat rate and the rate of change of \bar{T}_{sk} during exercise in each season. The slope and intercept of regression line were significantly different between winter and summer. The index of sweating was made available for the relative value, changing rate against annual mean value of total sweat loss (ΔSR , %). The relative value rather than the absolute value (i.e., expressed as $g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$) corrected well with skin temperature. It is suggested that the present results may reflect adapted changes in the thermoregulatory mechanisms to seasonal acclimatization. Moreover, the fall in skin temperature during exercise may be not due to increased evaporative cooling, but may be the result of vasoconstriction porbably caused by non-thermal factors.

(Ann. Physiol. Anthropol. 10(3): 163-170, 1991)

Key words: Seasonal and natural acclimatization, Warm and cold seasons, Temperature regulation, Thermal response, Moderate exercise

これまで我が国では地理的条件や気候特性も加味され、ヒトの生理機能の季節変動に関する研究が多数報告(鳥居ら, 1957; Yoshimura, 1960; 緒方, 1973)されている。特に、熱産生の指標である基礎代謝量の年間変動の実態把握, すなわち基礎代謝量は日本人において冬季に高く夏季に低い季節変動を呈する (Ohshiba, 1957; Yoshimura et al., 1966; Yurugi et al., 1972; 佐々木, 1977)。それに続いて、基礎代謝量の冬高夏低の成因究明に関して精力的な研究が行われた (Ohshiba, 1957; Sasaki, 1966; 佐々木, 1970)。また発汗感受性 (Kuno, 1956; Yoshimura, 1960; 緒方, 1973), 発汗量 (Araki et al., 1981; Yasuda & Miyamura, 1983)は、冬季では夏季より低い。逆に汗の塩分濃度は夏季に低濃度で冬季に高濃度を来す。(Ohara, 1966; Hori et al., 1974)。更にヒトの最高発汗能の発現は、季節的には夏季に発現している。作業強度や作業時間, 温熱条件等が重要な因子であるが、季節因子も見落せない (鳥井, 1990)。

これらのことは、季節の変化に伴い、長時間温熱性のあるいは寒冷の刺激を生体が受けると、体温調節機能は環境の温度条件に応じて適応・変化する。すなわち、季節馴化による生体の適応機構が成立しているものと考えられる。

本研究では、四季に渡って生体に運動を負荷して、その時の発汗反応の変動経過を観察し、季節馴化過程における体温調節能、特に発汗による熱放散機能に焦点をあて、またそれと体温との関連を通して季節馴化の特性について検討を加えるものである。

更に、運動時の皮膚温低下についても発汗応答との関連から考察する。これまで、我々は、環境の温度条件を30℃と40℃(いずれも相対湿度45%)に設定して、同一作業強度(60 watts)を負荷すると、発汗量は30℃より40℃において著明が高いが、皮膚温はいずれの条件下においても低下した。その低下度は両温度環境において差はなく、ほぼ1℃であった。このことは、発汗の促進による放熱の貢献とそれ以外の他の要素によって引き起こされる事を示唆している。(鳥井ら, 1984; Torii et al., 1986)。

なお、本研究の結果の一部は、著者らによってすでに速報版にて別報 (Torii et al., 1985) されているが、更に、実験を追加して検討した。

研究方法

被験者: 本実験は、過去10年以上熊本市に在住している健康な成人男子4名の被験者を対象として行った。被験者の身体的特性および最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) は表1に示した。被験者は現在定期的な身体トレーニングは行っていない。1日の仕事の大半は、机に向かった座業中心の仕事に従事している。彼らの $\dot{V}O_{2max}$ は、自転車エルゴメーター負荷漸増法によるダグラスバッグ法にて決定した (Miyamura & Honda, 1972)。表1に示した体重は冬季における体重である。年間における変動は800ないし1200g程度であり、いずれの被験者においても冬季に増加している。

Table 1 Physical characteristics of the subjects

Subject	Age (yr)	Ht (cm)	Wt (kg)	B.S.A. (m ²)	$\dot{V}O_{2max}$ (l·min ⁻¹)
A	28	165	63	1.70	2.75
B	30	185	86	2.11	2.72
C	28	166	68	1.77	2.62
D	22	167	55	1.62	2.83

B.S.A., body surface area. $\dot{V}O_{2max}$, maximal oxygen uptake was determined by modified technique of Miyamura and Honda (1972).

手順とその方法: 被験者は、起床後朝食を摂取せずに実験室に午前8時から8時30分の間に集合した。その日の起床は少なくとも実験室に集まる2時間前に済ませた。まず被験者には各季節に応じた服装で(夏季は半袖の綿製シャツ, 夏用スラックス, 冬季は長袖のシャツに毛糸のセーターあるいはジャンパー, 冬用のスラックスを着用, 春季と秋季は長袖シャツとスラックスを着用させた。), 各季節に応じた至適温度条件下に30分程度椅座位安静を保たせた。各季節のおおよその室温は、冬季8℃, 春季15℃, 夏季28℃, 冬季18℃に制御し、体温調節反応の発現が最少になるように注意して実験を進めた。この時、被験者に「暑い」または「寒い」を申告させたが、特記することはなかった。

その後、被験者は急性的に環境温 (T_a) を30℃ (相対湿度[rh], 45%) に設定した人工気象室に入室した。ただちに直腸温 (T_{re}) と皮膚温 (T_{sk}) 測定用の熱電対を装着し、bed balance (J. A. Potter 社製, Model 33B, 感度 1 g) 上に設置した自転車エルゴメーター (Monark 社製) で10分間安静を保った。その後引き続き自転車エルゴメーター運動を20分間実施し、回復期

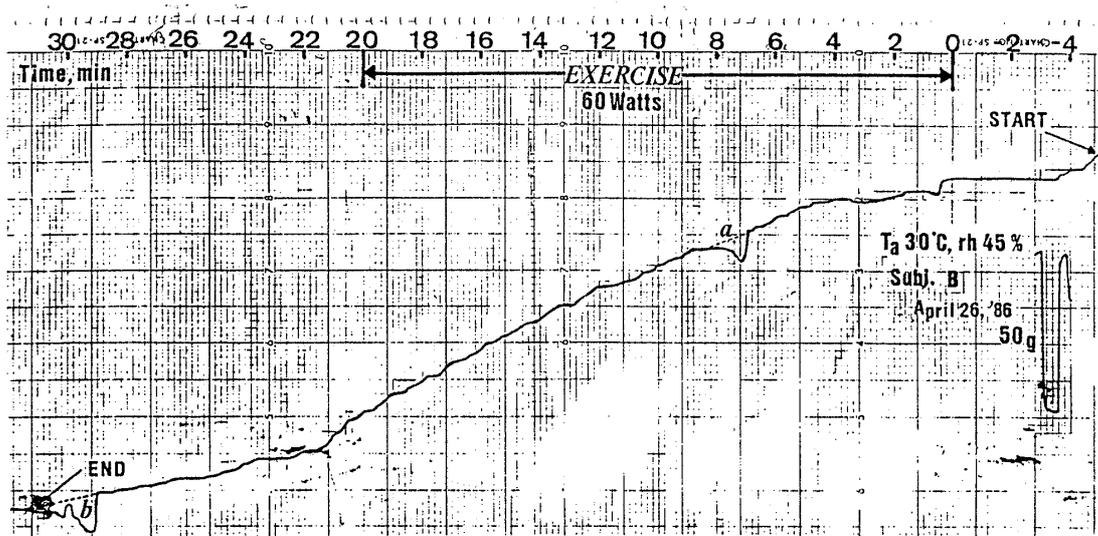


Fig. 1 A recording example (Subject B) of whole body weight loss measured by bed scale. After 5 min of exercise the weight loss was increased markedly. A 50g scale presented in the right a chart. The weight losses were modified at two points. The points of *a* and *b* were complemented because a thermocouple sensor dropped and the subject missed his foot from the pedal of a bicycle ergometer, respectively.

を10分以上設けた。運動開始は、人工気象室入室後少なくとも30分以上経過することはなかった。体温調節機構の概日変動(佐々木, 1987)を考慮して午前9時ないし9時30分の間に実験を開始した。

本実験における作業強度は $\dot{V}O_{2max}$ のおおよそ30~40% (60watts) の負荷であった。1年を通して負荷量は一定であった。季節による変化を観察するため、1年を通して最も暑い8月中旬、最低気温がみられる2月初旬、更に春季(4月下旬から5月中旬)と秋季(10月初旬)に実験を熊本市において行った。熊本市の平均外気温は2月4.4°C, 5月に15.6°C, 8月に27.3°C および10月は17.5°Cであった。

測定項目: 上記の bed balance により安静時、運動中および回復時の発汗応答を体重減少として連続記録した。あわせて T_{re} と全身7ヶ所(前額, 上腕, 手, 足, 下腿, 大腿および腹部)の T_{sk} を熱電対温度測定装置(大倉電気製, AM-300)によって、実験期間中の1分毎に打点して記録した。平均皮膚温(\bar{T}_{sk})の算出はHardy and DuBois (1938)に従った。

先の体重減少として連続記録した発汗曲線から、安静時、運動時および回復時の発汗量は、それぞれ1分毎に求め、分時の発汗速度(SR, $g \cdot min^{-1}$)とした(図1)。また体表面積 $1 m^2$ 当たりの1時間値を算出し総発汗量(TSL, $g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)を求めた。さらに各季節

のTSL (eTSL) から年平均値(mTSL)を求め、各季節の発汗変化量の相対値($\Delta SR, \%$)を算出した。

$$\Delta SR = (eTSL - mTSL) / mTSL \times 100 (\%)$$

なお、本実験では、運動中の汗の蒸発を容易にするために被験者は後方に設置した扇風機により背部に微風(風速, $100 cm \cdot sec^{-1}$)を受けた。これによって、汗の落下あるいはトランクスに付着することはほとんどなかった。

統計的処理: 平均値の有意差検定には、対応のあるStudent's *t*-testあるいは、季節差は一元配置による分散分析を用いた。いずれにおいても $P < 0.05$ をもって有意水準とみなした。

結果

図2は、冬季と夏季のSR, T_{re} および \bar{T}_{sk} の経時的変化を比較した1例である。汗の分泌速度は、夏季には運動開始と共にすみやかに増大するが、冬季には汗の分泌までの潜伏期が夏季と比較して長く、運動の後半15分以降にSRの顕著な増大が認められる。発汗曲線の勾配を四季別にみても冬季は夏季と比較して緩やかであった。いずれの被験者においても冬季の運動時平均SRは、夏季と比較して有意に低下した。

また、総発汗量(TSL, $g \cdot m^{-2} \cdot h^{-1}$)も平均SRと同様に夏季に高く冬季に低かった。発汗量の年平均対

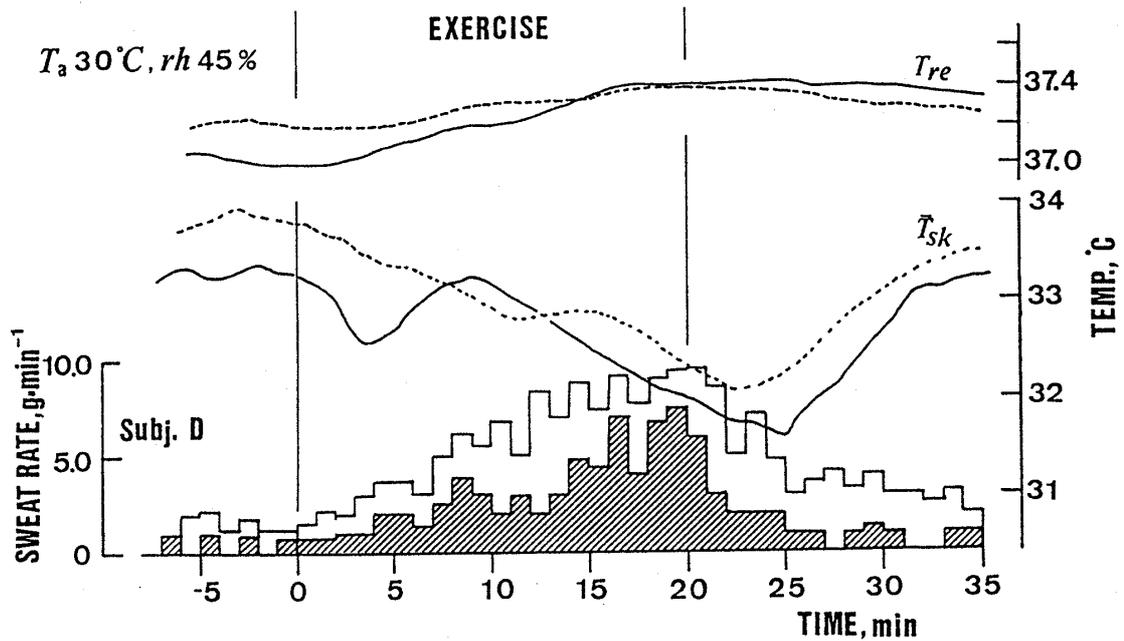


Fig. 2 The comparison of time course in sweat rate, rectal temperature (T_{re}) and mean skin temperature (\bar{T}_{sk}) in summer (dotted lines) with that in winter (closed lines) during rest, exercise and recovery. The sweat rate is shown by open column in summer and shaded column in winter. Subject = D. Environmental conditions, an ambient temperature (T_a) 30°C and a relative humidity (rh) 45% are identical in each season.

Table 2 Seasonal variation of sweating response of bicycle exercising men

Subject	Season	Seating Response ^a			
		mean SR (g·min ⁻¹)	TSL (g·m ⁻² h ⁻¹)	ΔSR (%)	AR ΔSR (%)
A.	Winter	4.2±2.3	148	-16.3	} 48.5
	Spring	4.6±2.8	162	- 8.4	
	Summer	6.0±4.3**	234	+32.2	
	Fall	4.6±2.0	164	- 7.3	
B.	Winter	3.0±1.4	86	-22.5	} 34.2
	Spring	3.9±1.8*	111	± 0	
	Summer	4.3±1.3**	124	+11.7	
	Fall	4.3±2.0**	124	+11.7	
C.	Winter	2.3±1.5	80	-36.5	} 50.7
	Spring	4.2±2.7**	144	+14.2	
	Summer	4.3±1.8**	144	+14.2	
	Fall	4.0±2.0**	139	+10.3	
D.	Winter	3.1±2.0	118	-28.0	} 56.0
	Summer	5.7±2.5**	210	+28.0	
Mean	Winter	3.15	108	-25.8	} 44.0
	Spring	4.32	139	+ 1.9	
	Summer	5.08**	178**	+21.5**	
	Fall	4.30	144	+ 4.9	
P^b		< .05	NS	< .001	

^a mean SR = Mean sweat rate in 20 min exercise. The data on mean SR represent mean±SD. Significant difference from Winter, * $P < 0.05$, ** $P < 0.01$ (by paired Student's t -test). TSL = Total sweat loss; ΔSR = Change against annual mean value of TSL; AR ΔSR = Annual range of ΔSR .

^b Significant differences among season were determined by the method of one-way of variance analysis. NS, No significance.

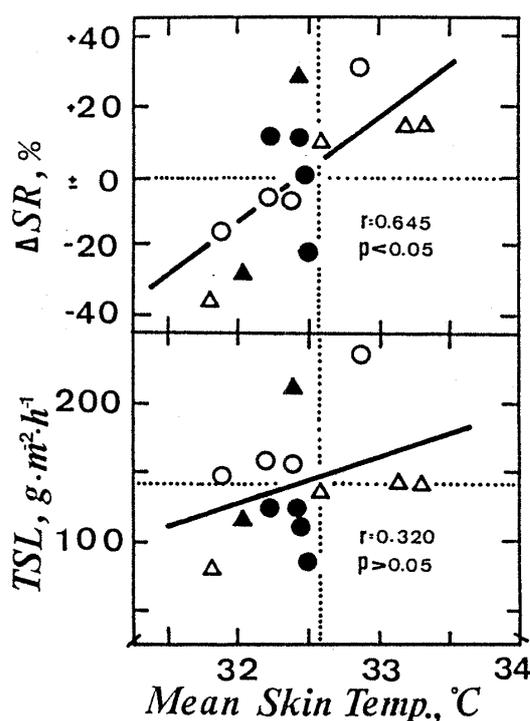


Fig. 3 Correlations between TSL and \bar{T}_{sk} (upper panel) and ΔSR and \bar{T}_{sk} (lower panel). Subject, A=○, B=●, C=△, D=▲. Broken lines indicate average value.

する変化量 (ΔSR , %) は、平均値で見ると冬季には -25.8% ($-16.3 \sim -36.5\%$)、夏季には $+21.5\%$ ($+11.7 \sim +32.2\%$) であり年間変動は約 44% ($34.2 \sim 56.0\%$) であった (表 2)。

T_{re} は夏季にはほとんど上昇しなかったが、冬季に T_{re} がおよそ 0.55°C 上昇した被験者もいた。運動終了後、夏季では数分後に安静レベルに回復するが、冬季では逆に上昇傾向を示した者もいた。冬季の \bar{T}_{sk} は汗の分泌が著明に生じる前の運動開始直後に一過性に低下し、被験者によって多少異なるが、運動開始 5 ないし 10 分後から再度低下した。夏季では、このような傾向は認められず、運動開始と共に \bar{T}_{sk} は低下した。これらの現象は、全被験者において共通に発現した。いずれにおいても、SR の増加にともない皮膚温の低下も大となって、負の有意な相関関係が認められた。

図 3 は、作業終了時の \bar{T}_{sk} に対する TSL と ΔSR の関係について表している。 \bar{T}_{sk} に対する TSL ($r=0.320$, $P>0.05$) よりむしろ ΔSR ($r=0.645$, $P<0.01$) との相関が高い。

考 察

生体は夏季から冬季に移行する時、また逆に冬季から夏季に移行する時のように数ヶ月という長時間にわたって温・冷の刺激を受けると、生理機能が各季節の環境、特に温度条件に適応して変動する。このような生体に惹起する現象は季節馴化と呼ばれ、発汗応答現象などは、夏季に顕著に高く、冬季に極めて低下する自然淘汰による暑熱馴化 (natural heat acclimatization) の最も典型的な例である (Ogawa et al., 1982)。

本研究ではこのような natural heat acclimatization 下において発現する発汗応答を追究して、年間にわたる体温調節機能の意義を検索するために、各季節とも意図的にその季節に適応している状態を保ったまま、 30°C のチャンバーに曝露して実験を行った。その結果、運動中の平均分時発汗速度 (Mean SR)、総発汗量 (TSL)、総発汗量の変化量 (ΔSR) のいずれの発汗応答においても夏高冬低の季節変動を示した。従来の発汗応答表示の方法としては、一般的には身体表面積 1 m^2 あたりの 1 時間値 ($\text{g}\cdot\text{m}^{-2}\cdot\text{h}^{-1}$) が最も多い。しかし以下に言及するように相対的表示もまた望ましいと思われる。すなわち、発汗応答の指標を四季にわたる総発汗量 (eTSL) から年平均値 (mTSL) を算出し、各季節の発汗量を年平均に対する相対的变化量 (ΔSR) として表した。この手法を採用すると、少なくとも夏季の増加と冬季の減少による季節変動はより明瞭となるようである (表 2)。

これまで運動時の発汗応答の季節変動に関する報告は多数みられる。Araki et al. (1981) は鍛練者と非鍛練者の女子を対象として、 $T_a 30^\circ\text{C}$ rh 60% において発汗量を冬季と夏季に測定している。鍛練者と非鍛練者において差異は見られるものの、夏季の発汗量は冬季より 40% 以上増加している。Yasuda & Miyamura は、成人男性 6 人を対象として $T_a 30^\circ\text{C}$ rh 70% において $360\text{ kpm}\cdot\text{min}^{-1}$ の自転車エルゴメーター運動を 30 分間冬季、春季、夏季及び秋季に負荷した。夏季の発汗応答は冬季や秋季のそれと比較して高い。これまで数多くの人から指摘されている発汗感受性の季節差 (Kuno, 1956; Yoshimura, 1960; 緒方, 1973)、すなわち、夏季に鋭敏で冬季に遅鈍であることが、上述の研究報告と同様に本研究においても確認できた。

本実験成績においては、各季節の発汗量が大小と異なるにもかかわらず、平均皮膚温の低下は、被験者間

において差が見られたものの、季節間の差異はなかった(表2)。さらに別の実験系(Torii et al., 1986)において、我々は温度条件を30℃と40℃に設定し、本研究と同一運動負荷(40% $\dot{V}O_{2max}$)による観察を行った。その場合、発汗量が40℃において顕著に大であるにもかかわらず、平均皮膚温低下には温度条件による差はみられず、いずれの温度条件においてもほぼ1℃であった。このことは、発汗による蒸発性熱放散による因子の作用とは限らず、他の調節因子の存在することも推察される。

また、Christensen & Nielsen (1942)は、定常状態が形成されている運動中には皮膚血流量は増加するが、運動開始直後には皮膚血管収縮によって皮膚血流量が一過性に減少することを報告している。したがって、冬季の運動開始直後の一過性の平均皮膚温の低下は、皮膚血流量の減少にも起因していると考えられる。また、夏季の場合あるいは冬季の運動後半においては汗の蒸発による熱放散も皮膚温低下に関与しているものと考えられる。

本実験においては汗滴の落下(dripping)をできるだけ排除するために被験者は背部により微風を受けた。このことも多分に皮膚温下降に関連している可能性もある。すなわち、Nadel & Stolwijk (1973)は、体表面に付着した汗の蒸発は無風下(0.1m \cdot sec⁻¹以下)より2.2m \cdot sec⁻¹の有風下の条件において著明に高いことを示している。したがって蒸発性熱放散量の促進によって体表面が冷却したものと解せられる。

一方、運動時の皮膚温下降を含めた体温調節機構に関して、Nakayama et al. (1977)は有意義な見解を提示している。かれらは運動時の皮膚温や深部体温の変動を観察して、運動時の体温調節機構に関する仮説を提唱している。すなわち運動時の皮膚温低下は作業強度に比例して低下する。この現象は発汗を伴わない運動においても観察されていることから、蒸発や対流の増加の結果ではなく、運動に伴う皮膚血管収縮が皮膚温低下の主な要因である。したがって、運動時の体温上昇は、運動そのものが体温調節とは無関係に末梢皮膚血管収縮反応を起こすために熱放散を妨げられることに起因していると推測している。我々も20℃における自転車エルゴメータ運動において、作業強度に比例して上肢皮膚温の低下が大であることを確認している(鳥井ら, 1987)。

これらのことから、運動時の皮膚温下降は蒸発性熱放散によって規定されとは限らず、Nakayama et al. (1977)が指摘するように非温熱性の末梢の血管収縮調節機構の関与していることも考えられる。

本実験では、運動時の産熱量は測定していないが、これまでの先行研究によると、運動時の産熱量については、必ずしも我が国における基礎代謝の観察結果のような明瞭な季節変動は観察されていない。佐々木(1977)は、安静時代謝量およびrelative metabolic rate (RMR) 1.2-2.9程度の運動中エネルギー代謝量は、基礎代謝の動向と類似した冬高夏低の季節変動を呈すると報告している。増田(1967)によれば、中等度以上の運動時の熱産生量は、季節による差異よりも運動強度に依存している傾向にある。また全身持久性能力の良き指標である最大酸素摂取量は冬季に増加(夏季と比較して)(Matsui et al., 1978.)、夏季に増加(Ingeman-Hansen & Halkjæ-Kristensen, 1984)、あるいは両季節ともほぼ一定(宮下と北川, 1984)と研究諸家の一致をみていない。したがって、本研究における運動時の熱産生量は、作業強度が四季を通して一定であったことからして同程度であったと仮定すると、熱放散側の変動を調節しているものと考えられる。

Shapiro et al. (1981)は連続10日間の暑熱曝露によるheat acclimation実験を夏季と冬季に行った。実験では10分間の安静時とその後50分間のトレッドミル歩行を負荷した。発汗量は第1日から第10日も夏季に有意に高く(5~14%)、深部体温の上昇度は、冬季に大であった。さらに、Hori et al. (1974)は、39名の男子大学生を対象として夏季と冬季に耐熱試験を行っている。すなわち、30℃、rh70%の環境下において、水温42℃に90分間の膝下水浸負荷した時の生理学的調節反応を検索している。発汗応答は夏季(740 \pm 140g \cdot 90min⁻¹, Mean \pm SD)は冬季(580 \pm 130g \cdot 90min⁻¹)より有意に高い。深部体温の上昇度は逆に冬季(0.62 \pm 0.15℃ \cdot 90min⁻¹)は夏季(0.48 \pm 0.15℃ \cdot 90min⁻¹)より有意に高い。

これらの結果は、1年にわたってみた体温調節反応は決して一定ではなく各季節に応じて変動していることを示している。特に、冬季と夏季では、汗の分泌までの潜時、発汗速度、体温の変化様相および発汗量と体温の関連に特異的差異が見られる。したがって、冬季には、体内において産生された熱の放散を極力抑え

て順応しているようである。

佐々木(1983)は熱産生調節機構は、向暑期には気温の変化に追従し、受動的姿勢であるのに対して、向寒期には積極的に寒さに向かう態勢を整えているようであるとしている。このことは生体は各季節の温度環境に順応して、冬季には「冬のからだ」、夏季には「夏のからだ」が形成されることを示唆しているものと考えられる。さらに、基礎代謝の年間変動の振幅が近年漸次減少してきている。その主たる要因は摂取食物における脂質の摂取量の増かであると報告している。ところで基礎代謝の年間変動幅は、食生活のパターンが糖質への依存度が高い昭和20年代においても20%程度であるが、本研究で提案した発汗応答の変動幅(AR Δ SR)は35~50%であり、優にそれを越えている(表2)。したがって、生体においては熱放散の変動幅が熱産生のそれよりも大であるといえよう。

本研究において提示した熱放散機構についてみると、先に考察した温熱中間帯の春季や秋季に夏季型の反応する者や冬季型の反応を呈する者に大別される。このことは、これまで季節変動に関する研究では、冬季と夏季に実施した研究が大勢を占めているが、追究事項に応じて移行季節についても観察すべきであることを示唆している。

これら上述の体温調節機能の季節変動は、もちろん季節(温熱条件)の生体への直接的影響であると考えられるが、佐々木(1977)の指摘にあるように生活環境や社会的条件の変化などの間接的な種々の要素の影響を受けているといえよう。

要約および結論

本研究は、運動時の発汗応答の季節変動を観察し、体温調節機能の季節特性について検討した。運動中の平均発汗速度は、いずれの被験者においても夏季に有意に高く、従来報告されているように発汗反応は夏季に高く冬季に低い季節変動を呈することを確認した。各被験者の発汗応答は総発汗量の年平均に対する変化量(Δ SR)で表すと、その季節変動はより明瞭となる。 Δ SRの年間変動幅は35-55%である。運動により平均皮膚温は低下し、その低下度は季節による差異はない。平均皮膚温の低下度に対する発汗速度には負の有意な相関関係が各季節とも認められる。これらの事実は、運動時の体温調節機構においては各季節に適合して冬

季には蒸発性熱放散能を極力抑制している「冬のからだ」が成立している事を示唆している。さらに発汗応答が各季節において大小異なるにもかかわらず、皮膚温低下は、季節による差異はなく、運動時の皮膚温下降は蒸発性熱放散能のみ規定されるとは限らず、他の調節系の関与も考えられる。

文献

- Araki, T., Matsushita, K., Tsujino, A. and Toda, Y., 1981: Effect of physical training on exercise-induced sweating in women, *J. Appl. Physiol.*, 51: 1526-1532.
- Christensen, E.H. and Nielsen, M., 1942: Investigations of the circulation in the skin at the beginning of muscular work, *Acta Physiol. Scand.*, 4: 162-170.
- Hardy, J. D. and DuBios, E. F., 1938: The technic of measuring radiation and convection, *J. Nutr.*, 15: 461-475.
- Hori, S., Inouye, A., Ihzuka, H. and Yamada, T., 1974: Study on seasonal variations of heat tolerance in young Japanese males and effects of physical training thereon, *Jpn. J. Physiol.*, 24: 463-474.
- Ingemann-Hansen, T. and Halkjær-Kristensen, J., 1982: Seasonal variation of maximal oxygen consumption rate in human, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 49: 151-157.
- Kuno, Y., 1956: *Human Perspiration*. 1st ed., sweating on the general body surface-thermal sweating, C.C. Thomas, Springfield, 171-222.
- 増田剛志郎, 1967: 基礎代謝の年間変動の成因に関する研究第2報運動負荷時のエネルギー代謝の季節変動について, *体質医研報*, 17: 173-179.
- Matsui, H., Shimaoka, K., Miyamura, M. and Kobayashi, K., 1978: Seasonal variation of aerobic work capacity in ambient and constant temperature, In: *Individual Human Adaptation (Proceedings of Symposium held at the University of California, Santa Barbara)* Academic Press, New York, 279-291.
- Miyamura, M. and Honda, Y., 1972: Oxygen intake and cardiac output during maximal treadmill and

- bicycle exercise, *J. Appl. Physiol.*, 32: 185-188.
- 宮下充正, 北川 薫, 1984: 季節の最大酸素摂取量への影響, *J. J. Sports Sci.*, 3: 247-253.
- Nadel, E.R. and Stolwijk, J. A. J., 1973: Effect of skin wettedness on sweat gland response, *J. Appl. Physiol.*, 35: 684-694.
- Nakayama, T., Ohnuki, Y. and Niwa, K., 1977: Fall in skin temperature during exercise, *Jpn. J. Physiol.*, 27: 423-437.
- 緒方維弘, 1973: 適応—気候風土に対する適応—, 第1版, 医歯薬出版, 15-103.
- Ohara, K., 1966: Chloride concentration in sweat; its individual, regional, seasonal and some other variations, and interrelations between them, *Jpn. J. Physiol.*, 16: 274-290.
- Ogawa, T., Asayama, M. and Miyagawa, T., 1982: Effects of sweat gland training by repeated local heating, *Jpn. J. Physiol.*, 32: 971-981.
- Oshiba, S., 1957: The seasonal variation of basal metabolism and activity of thyroid gland in man, *Jpn. J. Physiol.*, 7: 355-365.
- Shapiro, Y., Hubbard, R. W., Kimbrough, C. M. and Pandolf, K. B., 1981: Physiological and hematologic responses to summer and winter dry-heat acclimation, *J. Appl. Physiol.: Respir. Environ. Exercise Physiol.*, 50: 792-798.
- Sasaki, T., 1966: Relation of basal metabolism to changes in food composition and body composition, *Federation Proc.*, 25: 1165-1168.
- 佐々木 隆, 1970: 日本人の基礎代謝におよぼす外気温ならびに摂取食糧の影響, *日本臨床*, 28: 1994-1999.
- 佐々木 隆, 1977: 基礎代謝の面からみた日本人の特質, *日本体質学雑誌*, 41, 17-23.
- 佐々木 隆, 1983: 気候の変化と健康, 健康づくり事業団(編)健康づくり広場第3巻, 保健同人社, 199-218.
- 佐々木 隆, 1987: 体温のリズム, 鳥居鎮夫, 川村浩(編)新生理学大系13生体リズムの生理学, 第1版, 医学書院, 101-114.
- Stolwijk, J. A. J. and Hardy, J. D., 1966: Partitional calorimetric studies of responses of man to thermal transients, *J. Appl. Physiol.*, 21: 967-977.
- 鳥井正史, 山崎昌廣, 佐々木 隆, 1984: 暑熱下の運動開始直後の体温調節反応, *体力科学*, 33: 98-104.
- Torii, M., Yamasaki, M. and Sasaki, T., 1985: Seasonal variation of sweat rate caused by exercise during thermal transient, *J. Human Ergol.*, 14: 53-56.
- Torii, M., Yamasaki, M. and Sasaki, T., 1986: Effects of heat stress on temperature regulation in initial exercise, *J. Human Ergol.*, 15: 3-12.
- 鳥井正史, 山崎昌廣, 佐々木 隆, 1987: Thermographyによるsubmaximal自転車駆動時の上肢皮膚温の観察, *生理人類誌*, 6: 21-24.
- 鳥井正史, 1990: ヒトの最高発汗能の発現に関する文献考察, *九州体育学研究*, 4: 35-54.
- 鳥居敏雄, 増山元三郎, 柏木 力, 1957: 気象医学, *臨床病態生理学大系3*, 中山書店, 186-199.
- Yasuda, Y. and Miyamura, M., 1983: Seasonal variation of forearm blood flow at rest and during submaximal exercise, *J. Physiol. Soc. Japan*, 45: 640-643.
- Yoshimura, H., 1960: Acclimatization to heat and cold, Yoshimura, H. et al. (Eds) In: *Essential Problems in Climatic Physiology*, Nankodo, 61-106.
- Yoshimura, M., Yukiyoishi, K., Yoshioka, T. and Takeda, H., 1966: Climatic adaptation of basal metabolism, *Federation Proc.*, 25: 1169-1174.
- Yurugi, R., Sasaki, T. and Yoshimura, M., 1972: Seasonal variation of basal metabolism in Japanese, Itoh, S. et al. (Eds), In: *Advances in Climatic Physiology*, Igaku Shoin, 395-410.

(1991年3月15日受付)

鳥井正史
Masafumi TORII

〒804 北九州市戸畑区仙水町1-1 九州工業大学体育科学教室
Physical Fitness Laboratory, Kyushu Institute of Technology, Sensui-cho, Tobata-ku, Kitakyushu 804, Japan