気温50℃における安静男女の生理反応について

岩永 光一¹⁾, 安河内 朗²⁾, 山崎 和彦³⁾
佐藤 陽彦¹⁾, 佐藤 方彦¹⁾

1) 九州芸術工科大学人間工学教室

2) 労働省産業医学総合研究所

3) 防衛庁技術研究本部第二研究所

Physiological Responses of Resting Men and Women in Hot Environment at 50°C

Koichi IWANAGA¹⁾, Akira YASUKOUCHI²⁾, Kazuhiko YAMASAKI³⁾,
Haruhiko SATO¹⁾, and Masahiko SATO¹⁾

1) Department of Ergonomics, Kyushu University of Design Sciences, Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka, 815 Japan

2) Department of Industrial Physiology, National Institute of Industrial Health, Nagao, Tama-ku, Kawasaki, 214 Japan

3) Department of Ergonomics, The 2nd Research Center of Technical Research and Development Institute, Japan Defence Agency, Ikejiri, Setagaya-ku, Tokyo, 154 Japan

9 young males and 7 young females were used as subjects. Subjects were exposed to hot environment at 50°C in supine position for 61min after resting at 28°C for 30min. Rectal and mean skin temperatures were measured during exposure. Increase in rectal temperature tended to be larger in male than in female, though the difference of increase in rectal temperature between both sexes was not significant statistically. In male subjects, increase in rectal temperature was correlated with body weight, body fat content, skinfold thickness, body surface area and body surface area-to-mass ratio. But, such relationships were not shown in female subjects. Oxygen uptake, heart rate and pulmonary ventilation were linearly correlated with rectal temperature for males and females. Relationship between rectal temperature and ventilatory equivalent was found only for 4 males. It was suggested that a part of the males showed increase in ventilatory equivalent as a response to hyperthermia.

Key words: Males, Females, Rectal Temperature, Body Build, Ventilatory Equivalent.

ヒトの高温環境における生理反応については、これまでに数多くの研究が行なわれ、生理反応に基づいた耐暑性の評価に関する報告も数多い(Hori, 1978). 高温環境にとどまらず、広く温熱環境における生理反応を調べるなかで、その性的差異は古くから興味を持たれる点であり、今日に至るまで多くの研究が行なわれている。益子(1958)は、高温および低温環境における生理反応を男女について調べ、特に皮膚血管反応による体温調節能力は女性が優れていることを報告してい

る。その他、高温に対する生理反応の男女差については、発汗反応(益子, 1958; Ohara, 1966; Weinmanら, 1967; YousefとDill, 1974), 体熱平衡(Hardy, 1941), 体格(Buskirkら, 1965)などの観点より研究が行なわれている。

過去における高温下の生理反応または耐暑性に関する研究は、高温環境下で身体作業を負荷するものや安静を維持するものなど、その実験条件はさまざまであるが、本研究の如く、気温50℃で安静を維持した際の

Table 1. Physical characteristics of subjects.

	Age (yrs)	Ht (cm)	Wt (kg)	Fat (%)	TSF (mm)	BSA (m ²)	BSA/Wt (m ² /kg)
male (n=9)	23±2 **	170.6±5.3 **	65.91±11.34 *	18.36±6.81 *	99.9±56.6	1.72±.15 **	.026±.002
female (n=7)	20±1	155.9±7.0	51.01±9.99	26.61±3.49	135.4±31.6	1.44±.16	.029±.002

Fat; Fat content, % of Wt according to Brožek et al. (1963).

TSF; Total skinfold thickness of six sites.

BSA; Body surface area according to Fujimoto et al. (1968).

* and ** show the significant difference between male and female at 5% and 1% level, respectively.

生理反応を調べたものは少ない。50°Cの環境温度は、安静時の被験者についても十分な熱ストレスとなり、高温に対する生理反応が顕著に示されるものと思われる。

耐暑性評価における生理的指標には、種々の生理反応が用いられるが(Hori, 1978)、高温に対する体温調節能力を耐暑性としてとらえ、その結果としての体温の変化を調べることは重要であり基本的なことであろう。本研究は、50°Cの高温環境下における、直腸温の変化と体格および呼吸循環系の生理反応との関連を調べ、耐暑性の男女差の一側面を明らかにすることを目的としている。

方 法

被験者は、健康な成人男性9名と成人女性7名であった。男女各被験者群の身体的特徴を表1に示す。体脂肪比率(Fat)は水中体重測定法(高崎ら, 1979)によって体密度を求め、Brožekら(1963)の推定式より算出した。皮下脂肪厚は身体右側の6部位(胸部、上腕背部、肩甲骨下部、腹部、腸稜部、大腿前部)を測定し、それらの値の合計(Total Skinfold, TSF)として表わした。体表面積(BSA)は藤本ら(1968)の式より算出した。実験は、被験者の食後少なくとも2時間を経過した後に行なわれた。被験者は、気温28°C、相対湿度50%、気流0.5~0.7m/secに制御された人工気象室内にて30分間の仰臥位安静を保った後に、気温50°C、相対湿度50%、気流0.5~0.7m/secに制御された別の人工気象室に移動し、同様に61分間の仰臥位安静を保った。実験中の被験者の服装は、男性が綿ランニングシャツとショートパンツ、女性がノースリーブ綿シャツとブルマーであった。また、実験中の被験者の

飲水は禁止した。

28°Cでの安静の終了時、及び61分間の50°C暴露の8~11分、28~31分、58~61分の各時間に、ダグラスバッグ法による呼吸採取、胸部誘導心電図の記録を行ない、酸素摂取量、肺換気量、心拍数を求めた。また、28°C安静終了時と50°C暴露中2分ごとに直腸温を記録し、胸部、上腕部、大腿部、下腿部の皮膚温は、50°C暴露中の2分ごとに記録した。この皮膚温の測定値より平均皮膚温をRamanathan(1964)の式より算出した。直腸温は肛門下10cmに挿入したサーミスタ温度計にて測定し、皮膚温の測定には銅-コンスタンタン熱電対を使用した。直腸温、皮膚温の測定値は、標準温度計によって校正した。実験前後に読取限度10gの体重計を用い、全裸で体重を測定し、体重減少量を発汗量とした。

50°C暴露中、39.10°Cを越える直腸温の上昇を実験中止の基準として設定したが、男女全ての被験者において、この基準に達するものはなく、61分間の50°C暴露を完了した。

得られたデータの男女両被験者群間での統計的有意差の検討は、全てt検定(両側)によって行ない、危険率5%以下を有意水準として定めた。また、その他の統計的処理においても同様に、危険率5%以下を有意水準とした。

結 果

表1に示した身体的特徴の各体格的要因のうち、皮下脂肪厚(TSF)と単位体重当り体表面積(BSA/Wt)を除いて、有意な男女差が認められた。TSFとBSA/Wtについては、有意ではないものの平均値では女性において大きい傾向があった。

Fig. 1. Changes in rectal temperature(T_R) and mean skin temperature($\bar{T}_s$) with exposure time. Each point represents the mean $\pm$ SD for male($\circ$) and females($\bullet$). * and ** show the significant difference between male and female at 5% and 1% level, respectively.

図1は、暴露中の直腸温(T_R)、平均皮膚温($\bar{T}_s$)の経時的変化を、男女各被験者群ごとに平均値と標準偏差で示したものである。直腸温は、50℃暴露開始直後にわずかな低下傾向を見せ、その後はほぼ直線的に上昇し、男女間での有意な差は認められなかった。平均皮膚温も50℃暴露中上昇しているが、暴露30分目あたりにおいて、発汗によると思われる平均皮膚温の低下又は定常傾向が男女において見られる。平均値では、男性の平均皮膚温が女性よりも高い傾向にあるが、統計的に有意な差ではなかった。

図2は、心拍数(HR)、体重当り酸素摂取量($\dot{V}O_2/Wt$)、肺換気量($\dot{V}_e$)、換気当量($\dot{V}_e/\dot{V}O_2$)の暴露中の経時的変化を、男女各被験者群ごとに平均値と標準偏差で示したものである。心拍数は、男女ともほぼ直線的に増加しており、有意な男女間の差は認められなかった。体重当り酸素摂取量は、男女ともほぼ直線的に増加する傾向が見られるが、時間経過に伴ない男女の平均値の差が大きくなる傾向にある。28℃安静終了時、50℃暴露30分、60分の各測定時において、男性の体重当り酸素摂取量が有意に大きかった。肺換気量は、男性においてはほぼ直線的な増加傾向を示しているが、女性においてはその増加が男性ほど顕著ではなく、わ

Fig. 2. Changes in heart rate(HR), oxygen uptake per body weight($\dot{V}O_2/Wt$), pulmonary ventilation($\dot{V}_e$) and ventilatory equivalent($\dot{V}_e/\dot{V}O_2$) with exposure time. Each point represents the mean $\pm$ SD for male($\circ$) and females($\bullet$). * and ** show the significant difference between male and female at 5% and 1% level, respectively.

ずかな増加にとどまっている。肺換気量は、特に男女間での標準化を行っていないために、男性が有意に大きかったことは、当然の結果とも思える。そこで、換気当量で男女間の比較を試みると、男性において換気当量はほぼ直線的に増加したのに対し、女性ではほとんど変化が見られず、暴露後半に有意な男女差が認められた。

表2に、50℃暴露終了時の値より28℃安静終了時の値を減じた各生理的パラメーターの変化量と、体表面積当りの発汗量(SR/BSA)を、男女各被験者群について、平均値と標準偏差で示している。但し、平均皮膚温は、50℃暴露終了時の値より暴露10分目の値を減じた変化量を表わしている。これらの生理的要因の変

Table 2. Increase in rectal temperature(ΔT_R), mean skin temperature($\Delta \bar{T}_s$), heart rate (ΔHR), oxygen uptake per body weight($\Delta \dot{V}_{O_2}/Wt$), pulmonaly ventilation($\Delta \dot{V}_e$) and ventilatory equivalent($\Delta \dot{V}_e/\dot{V}_{O_2}$), and sweat rate per body surface area(SR/BSA). Values are means $\pm$ SD.

	ΔT_R (°C)	$\Delta \bar{T}_s$ (°C)	ΔHR (beats/min)	$\Delta \dot{V}_{O_2}/Wt$ (ml/min/kg)	$\Delta \dot{V}_e$ (l/min)	$\Delta \dot{V}_e/\dot{V}_{O_2}$ (lBTPS/lSTPD)	SR/BSA (kg/m ²)
male (n=9)	1.71 $\pm$.31	.8 $\pm$.2	57 $\pm$ 13	1.58 $\pm$.77	7.02 $\pm$ 6.59	10.1 $\pm$ 15.0	.42 $\pm$.17
female (n=7)	1.42 $\pm$.33	1.1 $\pm$.4	57 $\pm$ 13	.98 $\pm$.36	1.74 $\pm$ 1.07	1.1 $\pm$ 3.2	.27 $\pm$.09

* and ** show the significant difference between male and female at 5% and 1% level, respectively.

Table 3. Correlation coefficients between ΔT_R and parameters of body build.

	Ht	Wt	Fat	TSF	BSA	BSA/ Wt
ΔT_R male (n=9)	-.582	-.820**	-.847**	-.732*	-.871**	.768*
female (n=7)	-.346	-.121	.319	.167	-.180	-.030

* and ** show the significant correlation at 5% and 1% level, respectively.

Table 4. Correlation coefficients between ΔT_R and other parameters shown in Table 2.

	$\Delta \bar{T}_s$	ΔHR	$\Delta \dot{V}_{O_2}/Wt$	$\Delta \dot{V}_e$	$\Delta \dot{V}_e/\dot{V}_{O_2}$	SR/BSA
ΔT_R male (n=9)	-.275	-.079	.628	.242	.148	-.443
female (n=7)	-.039	-.279	-.018	.157	.453	-.428

* and ** show the significant correlation at 5% and 1% level, respectively.

化量は、すべて統計的に有意な男女差は認められなかった。しかし、直腸温上昇度(ΔT_R)、酸素摂取量増加度($\Delta \dot{V}_{O_2}/Wt$)、肺換気量増加度($\Delta \dot{V}_e$)、換気当量増加度($\Delta \dot{V}_e/\dot{V}_{O_2}$)、発汗量(SR/BSA)の各要因は、平均値で男性の方が、各々、0.29°C、0.60ml/min/kg、5.28l/min、9.0l $\cdot$ BTPS/l $\cdot$ STPD、0.15kg/m²大きな値を示している。

表3は、直腸温上昇度と各体格的要因との間の相関係数を示したものである。男性被験者群において、 ΔT_R は、Wt, Fat, TSF, BSAと有意な負の相関を示し、BSA/Wtを有意な正の相関を示した。それに対し、女性被験者群においては、いずれの体格的要因も ΔT_R

と有意な相関々係を示さず、相関係数はかなり小さな値を示した。

表4は、 ΔT_R と各生理的要因との間の相関係数を示したものである。男女両被験者群において有意な相関々係は認められなかった。

図3は、直腸温(T_R)に対して心拍数(HR)をプロットしたものである。男女両被験者群において、高度に有意な正の相関々係が認められた。男女各被験者群の直腸温と心拍数との間の回帰直線を比較すると(SnedecorとCochran, 1967)、両直線間には高さ、傾きにおいて有意な差は認められなかった。

図4は、直腸温に対し、体重当り酸素摂取量($\dot{V}_{O_2}/Wt$)をプロットしたものである。この関係においても、男女共、有意な正の相関々係が認められ、回帰直線を比較すると、高さにおいて有意な男女間の差が認められた。

図5は、直腸温に対し、肺換気量($\dot{V}_e$)をプロットしたものである。男女両被験者群において有意な正の相関々係が認められた。回帰直線の比較においては、高さ、傾きの両者に有意な男女間の差が認められた。

図6は、直腸温に対し換気当量($\dot{V}_e/\dot{V}_{O_2}$)をプロットしている。この関係においては、男性被験者群においてのみ有意な正の相関々係が認められた。しかし、その相関係数は $r=0.466$ とこれまでの関係についてのものよりかなり小さく、点のばらつきも大きなものとなっている。換気当量については、9名の男性被験者群のなかで、50°C暴露中大きく増加したグループ(4名)と、ほとんど変化しなかったグループ(5名)に分けることができ、両グループの換気当量増加度($\Delta \dot{V}_e/\dot{V}_{O_2}$)は、各々、24.5 $\pm$ 9.5l $\cdot$ BTPS/l $\cdot$ STPD(n=4)、-1.4 $\pm$ 3.7l $\cdot$ BTPS/l $\cdot$ STPD(n=5)であった。図6中では、各々、大小の円で示している。男性被験者

Fig. 3. Relationship between rectal temperature(T_R) and heart rate(HR) for male(○) and female(●). The equations of regression lines for male and female are $HR = 27.5046T_R - 946.3562$ and $HR = 32.2327T_R - 1119.2685$, respectively.

Fig. 5. Relationship between rectal temperature(T_R) and pulmonary ventilation($\dot{V}_e$) for male(○) and female(●). The equations of regression lines for male and female are $\dot{V}_e = 3.6884T_R - 128.1083$ and $\dot{V}_e = 1.3666T_R - 45.7681$, respectively.

Fig. 4. Relationship between rectal temperature(T_R) and oxygen uptake per body weight($\dot{V}_{O_2}/Wt$) for male(○) and female(●). The equations of regression lines for male and female are $\dot{V}_{O_2}/Wt = 0.7543T_R - 23.8983$ and $\dot{V}_{O_2}/Wt = 0.5529T_R - 16.9542$, respectively.

Fig. 6. Relationship between rectal temperature(T_R) and ventilatory equivalent($\dot{V}_e/\dot{V}_{O_2}$) for male(○ and ○) and female(●). The equations of regression lines for 9 male subjects(○ and ○) and 4 of them(○) are $\dot{V}_e/\dot{V}_{O_2} = 4.9398T_R - 150.6412$ and $\dot{V}_e/\dot{V}_{O_2} = 12.4426T_R - 428.3442$, respectively.

について、この2グループごとに直腸温と換気当量の相関を調べると、換気当量が増加したグループでは、高度に有意な相関々係が認められたのに対し、換気当量が増加しなかったグループでは、女性被験者群と同様に有意な相関々係は認められなかった。

考 察

岩永(1983)は、気温45℃の環境における安静時には、環境からの身体受熱が認められ、環境からの受熱は主に身体の殻部に貯えられることにより、身体の深部に発生した代謝性産熱の放散を妨げることが、直腸温上昇の主な原因であると考えた。本研究における50℃の高温環境においては、さらに大きな受熱量の存在が予想され、直腸温の経時的上昇に貢献しているであろう。気温50℃の高温環境では、放熱は汗の蒸発及び気道からの水分の蒸発のみとなり、輻射、対流による受熱よりこれらの放熱量を減じたものが、蓄熱されることになる。環境と身体との間の熱の移動については、体表面積や皮下脂肪厚などの体格的要因の影響が存在し、高温環境下の安静時及び運動時の体温上昇と体格との関連を報告した研究は数多い。Shvartzら(1973)は、体重当り体表面積と耐暑性との関係を高温環境における運動時について調べ、気温30℃の高温環境下では、体重当り体表面積の大きい方が、耐暑性に優れるが、さらに気温が高くなるとそのような関連は小さくなることを報告した。また、勝浦ら(1982)は、運動時の直腸温上昇度は、皮下脂肪厚が薄い程小さいことを示した。本研究の被験者は、50℃の環境で安静を保ったために、環境から身体へ熱が侵入し、体温より低い環境温度下で運動を行なう際のように身体から環境への放熱が大きくなる場合とは、熱の流れの方向が逆である。従って、放熱をより効果的にする薄い皮下脂肪(勝浦ら, 1982)は、本研究のような条件においては、熱の侵入に対する断熱材の効果が小さく、不利であると考えられる。実際に、本研究の男性被験者群においては、皮下脂肪厚と直腸温上昇度は負の相関々係を示した。また、男性被験者群においては、体重、体脂肪比率、体表面積も直腸温上昇度と負の相関々係を示し、体重当り体表面積は正の相関々係を示した(表3)。これらの体格的要因は、各々、身体の熱容量、断熱効果、汗の蒸発による放熱効果、相対的な熱の侵入量に反映し、体温と関連していると解釈される。しか

Table 5. Correlation matrix of parameters of body build.

Male(n=9)		Wt	Fat	TSF	BSA	BSA/Wt
Female (n=7)	Wt		.861**	.930**	.978**	-.940**
	Fat	.452		.944**	.821**	-.918**
	TSF	.911**	.746		.866**	-.952**
	BSA	.993**	.368	.859*		-.866**
	BSA/Wt	-.973**	-.544	-.953**	-.946**	

* and ** show the significant correlation at 5% and 1% level, respectively.

し、佐藤ら(1983)が指摘した如く、本研究の男性被験者群の体格においては、これらの体格的要因が相互に密接な相関々係を有しているために(表5)、実際に生理的意味を持つ体格的要因を断定することは困難である。しかし、本結果より、50℃で安静にしている男性においては、太っている男性ほど直腸温上昇度が小さい傾向にあるとすることができよう。やせた人よりも太った人の方が耐暑性が劣ることが一般に報告されているが(Minardら, 1957; Buskirkら, 1965; Bar-Orら, 1969; Haywesら, 1975), 本研究の結果は、環境と身体との間の熱の流れの方向性によって、その関係が逆転することを示唆する。

男性被験者群において見られた直腸温上昇度と体格との関連は、女性被験者群においては認められなかった(表3)。さらに、直腸温上昇度と測定した生理的要因との間にも有意な相関は示されなかった(表4)。従って、女性被験者群においては、50℃の高温環境下での安静時の直腸温上昇度をよく反映する指標を見出すことはできなかった。このことは、体格的要因について考えれば、女性被験者群は体脂肪比率と他の体格的要因との間に有意な相関々係が認められなかった(表5)という特徴があり、体温の変化に対する体格の影響をより複雑なものとしていることが関与しているとも考えられる。しかし、本研究の範囲においては明確な結論は導かれず、さらに被験者数を増した詳細な研究が必要である。

男性と女性の両被験者群の直腸温上昇度を比較すると(表2)、男性が $1.71 \pm 0.31^{\circ}\text{C}$ 、女性が $1.42 \pm 0.33^{\circ}\text{C}$ であった。この値は統計的には有意な男女間の差を示さなかった。しかし、女性において体脂肪比率が有意に大きく、有意ではないが、皮下脂肪が厚く、体重当

り代謝量増加度が小さい傾向にあることなどを考え合わせると、女性の直腸温上昇度は男性のそれよりも小さい可能性もあることが予想される。

高温環境下においては、血液温の上昇が刺激となり心拍数の増加が生じる(永坂, 1981)。本研究の男女両被験者群の心拍数は50℃暴露中増加し、その絶対値、増加度に男女差はなかった(図2, 表2)。高温環境下での運動時には、女性の心拍数は男性よりも高いことが報告されている(Hertig ら, 1963; Whyudham ら, 1965)。また, Tochiara (1984) は、相対的に等しい運動強度の時には、女性より男性の方が心拍数が高いことを示した。本研究における直腸温と心拍数の関係(図3)は、男女両被験者群において有意な正の相関々係を示し、その回帰直線は男女でほぼ等しいものであった。Herty ら(1963)は、女性の高温環境下での身体作業能は男性より劣り、心拍出量などの循環系の能力の差をその原因と考えた。本研究の結果より判断する限りにおいては、50℃というかなり高い環境温度条件下においても、身体作業を負荷しない場合には、心拍数より見た循環系の緊張は男女で差がないと言える。また、図3に示した直腸温と心拍数の関係より、50℃暴露中の直腸温の変化を、心拍数よりある程度推察することが可能であると思われる。

体重当り酸素摂取量は、女性より男性が大きく(図2)、両性において直腸温の上昇に伴ない直線的に増加した(図4)。この酸素摂取量の増加は、体温上昇に伴なう Vant Hoff の法則による代謝高進(佐々木, 1981)、換気高進や発汗によるエネルギー消費の増大によると思われる。酸素摂取量の増加と同様に、肺換気量も増加する傾向を示し(図2)、直腸温と直線的な関係を示した。しかし、女性の肺換気の高進は、男性ほど顕著ではなく、直腸温と肺換気量の回帰直線の傾きは、男性が有意に大きなものであった。Gandio と Abramson (1968) は、平均体温の上昇1℃に対し、1 l/min の換気高進があることを示し、Senay と Christensen (1967) は、口腔温1℃の上昇に対して1.2 l/min の換気高進を示した。本研究によれば、直腸温1℃の上昇に対し、男性と女性で各々3.7 l/min, 1.4 l/min であった。上述の2つの報告はいずれも男性被験者についてのものであり、Gandio と Abramson (1968) の結果を直腸温上昇度当りに換算すると3.3 l/min となり、本研究の男性被験者の値よりやや小さいが類似してい

る。Senay と Christensen (1967) の結果は、口腔温を用いていること、使用した環境温度が43℃であることによって、比較は困難である。本研究において得られた女性被験者の1.4 l/min/℃の換気高進は、男性被験者のそれよりも有意に小さいものであった。換気当量の変化を見ると、男性は暴露中増加傾向を示すが、女性においてはほとんど横ばいの傾向を示し(図2)、直腸温と換気当量の関係においても、女性には有意な相関を示さなかった。従って、女性の肺換気量の増加は、酸素摂取量の増加によって説明されるものであることを示唆する。Tochiara (1984) は、高温下運動時に男性のみに肺換気量の増加が認められたことを報告した。従って、男性は、女性に比べ、高温環境下での換気高進が、安静時、運動時共に大きいと言えよう。しかし、本研究の男性被験者群のなかには、換気当量が増加したグループ(4名)とほとんど変化しなかったグループ(5名)があり、増加したグループのみについて直腸温と換気当量の間に高度に有意な相関があり、変化しなかったグループは、女性被験者群と同様に有意な相関は得られなかった(図6)。このことは、大きな温熱性換気高進は、普遍的に男性に見られるものではなく、かなり個人差の大きなものであることを示唆する。女性について、このような換気高進を示すタイプが存在するかどうかについては、さらに多くの被験者について検討する必要がある。

文 献

- Bar-Or, O., H.M. Lundegren and E.R. Buskirk, 1969: Heat tolerance of exercising obese and lean women. *J. Appl. Physiol.*, 26(4): 403-409.
- Brožek, J., F. Grande, J.T. Anderson and A. Keys, 1963: Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumptions. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 110: 113-140.
- Buskirk, E.R., H. Lundegren and L. Magnusson, 1965: Heat acclimatization patterns in obese and lean individuals. *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 131: 637-657.
- 藤本薫喜, 渡辺孟, 坂本 淳, 湯川幸一, 森本和枝, 1968: 日本人の体表面積に関する研究, 第18篇三期にまとめた算出式. *日衛誌*, 23(5): 7-14.
- Gandio, R. and N. Abramson., 1968: Heat-induced

- hyperventilation. *J. Appl. Physiol.*, 25: 742-746.
- Hardy, J.D., A.T. Milhorat and E.F. Dubois, 1941: Basal metabolism and heat loss of young women at temperature from 22 °C to 35 °C *J. Nutr.*, 21: 383-404.
- Haymes, E.M., R.J. McCormick and E.R. Buskirk, 1975: Heat tolerance of exercising lean and obese prepubertal boy. *J. Appl. Physiol.*, 39(3): 457-461.
- Hertig, B.A., H.S. Belding, K.K. Kraning, D.L. Batlerton, C.R. Smith and F. Sargent II, 1963: Artificial acclimatization of women to heat. *J. Appl. Physiol.*, 18(2): 383-386.
- Hori, S., 1978: Methods for the assessment of heat tolerance. *J. Anthropol. Soc. Nippon* 86(2): 35-49.
- 岩永光一, 1983: 直腸温の変化に及ぼす代謝性産熱と高温環境の影響について, *生理人類誌* 2(2): 83-87.
- 勝浦哲夫, 岡田明, 我妻亨, 浦田義人, 菊池安行, 1982: 温環境下運動時の体温上昇と皮下脂肪との関連について. *人類誌* 90(2): 119-127.
- 益子研三, 1958: 女子の体温調節機能の特徴に関する研究, (第1報)高温及び低温環境に於ける体温調節反射の性的差異, *日本生理誌* 20: 192-203.
- Minard, D., H.S. Belding and J.R. Kingston, 1957: Prevention of heat casualties. *J. Amer. Med. Assoc.*, 165: 1813.
- 永坂鉄夫, 1981: 温熱生理学, 理工学社 東京: p. 134.
- Ohara, K., 1966: Chloride concentration in sweat; its individual, regional variations and interrelations between them. *Jap. J. Physiol.* 16: 274-290.
- Ramanathan, N.L., 1964: A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *J. Appl. Physiol.*, 19(3): 531-533.
- 佐々木隆, 1981: 温熱生理学, 理工学社, 東京: p.84.
- 佐藤陽彦, 安河内朗, 山崎和彦, 1983: 高温環境暴露時の安静男性の体温変化. *生理人類誌* 2(1): 35-38.
- Senay, L.C. and M.L. Christensen, 1967: Respiration of dehydrating men undergoing heat stress. *J. Appl. Physiol.*, 22: 282-286.
- Shvartz, E., E. Saar and D. Benor, 1973: Physique and heat tolerance in hot-dry and hot-humid environments. *J. Appl. Physiol.*, 34(6): 799-803.
- Snedecor, G.W. and W.G. Cochran(1967), 畑村又好, 奥野忠一, 河村喜郎 訳, 1972: 統計的方法, 原書第6版, 岩波書店, 東京.
- 高崎裕治, 鎌滝昭男, 山崎昌広, 1979: 日本人青年男子の体密度推定式, *人類誌* 87(4): 439-444.
- Tochihara, Y., 1984: Physiological responses of men and women during prolonged 40% $\dot{V}_{O_{2max}}$ exercise at different ambient temperature. *J. Anthropol. Soc. Nippon*, 92(1): 1-12.
- Weinman, K.P., Z. Slabochova, E.M. Bernauer, T. Morimoto and F. Sargent II, 1967: Reactions of men and women to repeated exposure to humid heat. *J. Appl. Physiol.*, 22(3): 533-538.
- Wyndham, C.H., J.F. Morrison and C.G. Williams, 1965: Heat reactions of male and female Caucasians, *J. Appl. Physiol.*, 20(3): 357-364.
- Yousef, M.K. and D.B. Dill, 1974: Sweat rate and concentration of chloride in hand and body sweat in desert walks: male and female. *J. Appl. Physiol.*, 36(1): 82-85.

(1984年10月19日受付)