

最大下作業時の直腸温上昇度と体格との関連に及ぼす気温の影響

岩永 光一, 成相 隆之*, 木場 孝繁, 高見 到, 馬場 尚子
九州芸術工科大学人間工学教室

Effect of Ambient Temperature on Relationship between Increase in Rectal Temperature and Body Build during Submaximal Work

Koichi IWANAGA, Takayuki NARIAI, Takashige KOBAYASHI, Itaru TAKAMI, and Naoko BABA
*Department of Ergonomics, Kyushu University of Design Sciences
Shiobaru, Minami-ku, Fukuoka, 815 Japan*

The relationship between increase in rectal temperature and body build during submaximal work was studied in 8 Japanese males. After resting at 28°C with 50% relative humidity for 30min, subjects worked on a bicycle ergometer at load of 450kgm/min with pedaling frequency 50rpm for 61min at 28°C or 45°C with 50% relative humidity. Rectal temperature, oxygen uptake and heart rate were measured at rest and during work. Relative work loads were obtained from prediction of maximal oxygen uptake. Body weight, stature, skinfold thickness and body density were measured. Body surface area, body fat % and mean skinfold thickness were calculated by prediction equations.

The correlation coefficients between increase in rectal temperature and body build at 45°C were larger than those at 28°C. In the condition of 45°C, body surface area-to-mass ratio was correlated significantly with increase in rectal temperature, whereas the relationship was not significant at 28°C. In the condition of 28°C, significant relationship between relative work load and increase in rectal temperature was found. Body surface area-to-mass ratio, which means relative heat exchange between human body and environment, affects the change in rectal temperature at high ambient temperature.

身体と環境との間の熱の移動を考える上で、体格は物理的に影響を及ぼす要因である。勝浦ら(1982)は、温環境下運動時の直腸温上昇度に対する皮下脂肪厚の影響を調べ、産熱量、体重が等しい時には、皮下脂肪厚が薄い程、直腸温上昇度が小さいことを示した。また、一般に、高温気候下に生活するヒトは、寒冷気候下に生活するヒトに比べて皮下脂肪厚が薄いといわれている(堀ら, 1974; Hori ら, 1976)。脂肪組織は、他の組織に比べ熱伝導率が低く、少ない皮下脂肪は身体深部から皮膚への熱の伝達を容易にし、皮膚温を上

昇させ放熱量が増加すると考えられる(堀, 1981)。また、体温の変化に影響を及ぼす体格的要因として体重当り体表面積を論じた報告も多く見られる(Coon ら, 1950; Buskirk ら, 1965; Bar-Or ら, 1969)。環境と身体との間の熱交換は、そのほとんどが皮膚を通して行われるので、体重当り体表面積は相対的な熱交換の大きさを表わし、体温の変化に影響を及ぼすものと考えられる。

作業時の体温の変化については、古くから多くの研究が行なわれている。Saltin と Hermansen (1966), Wyndham ら (1970) は、最大下作業時の直腸温は、個人の最大酸素摂取量に対する相対的な作業負荷によって定まることを示した。さらに、Haymes ら

* 現在, 九州健康総合センター

(1975)は、トレッドミル作業時の少年の直腸温は、やせた少年よりも太った少年において高く、相対的作業負荷も太った少年が大きいことを示した。作業時には、作業によって増加した産熱量が体温変化の主な原因になると考えられるが、高温環境においては高い外気温の影響が加わり、常温環境に比べて直腸温の上昇は大きなものとなる(岩永, 1983)。

本研究は、最大下作業時の直腸温の上昇と体格との関連を、常温環境と高温環境において検討するものである。

方 法

被験者は、日本人成人男子8名であり、身体的特徴を表1に示す。水中体重測定法によって各被験者の体密度を測定し、KeysとBrožek(1953)の式によって体脂肪比率(Fat)を求めた。また、身体6部位(上腕背部、胸部、腹部、腸稜部、大腿前部、肩甲骨下部)の皮下脂肪厚を測定し、堀ら(1974)の式によって平均皮下脂肪厚(M.S.F.)を求めた。体表面積(B.S.A.)は藤本ら(1968)の式によって算出した。

被験者は、ショートパンツ、ランニングシャツ、トレーニングシューズを着用し、乾球温度28℃、相対湿度50%の環境において30分間の椅座位安静を保った後に、61分間の最大下自転車エルゴメーター作業を行った。最大下作業時の環境条件は、乾球温度28℃、相対湿度50%と乾球温度45℃、相対湿度50%の2条件であった。自転車エルゴメーターの作業負荷は450kg・m/minであり、ペダル回転数は50rpmであった。

直腸温を、サーミスタ温度計によって、28℃での安静終了時と作業中は2分ごとに測定した。安静終了時の3分間と作業中の8～11分、28～31分、58～61分の各3分間にダグラスバッグに呼気を採取し、同時に胸部誘導心電図により心拍数を測定した。これらの結果より、佐藤ら(1979)の推定式によって、両条件における最大酸素摂取量($\dot{V}O_{2max}$)を推定した(表3)。

作業中の直腸温が39.0℃を越えた場合、被験者が作業継続困難を訴えた場合、または、実験者が観察によって判断した場合のいずれかの場合には、2～3分間の呼気採取の後に実験を中止した。

実験の前後に、読取限度10gの体重計によって被験者の体重を測定し、Mitchellら(1972)の式によって呼気中の水分量を補正した体重減少量を求め、発汗量とした。

結 果

28℃の環境条件においては、8名全ての被験者が61分間の作業を完了したが、45℃の環境条件においては、8名全ての被験者が途中で実験を中止した。45℃における作業時間(W.T.)は27.5～49.0分の範囲にあり、平均と標準偏差は39.3±6.7分であった(表3)。

図1に両条件における直腸温の変化を平均と標準偏差で示す。45℃の条件においては、直腸温は作業中直線的に上昇したのに対し、28℃の条件においては、作業後半に直腸温の上昇が小さくなる傾向を示した。作業60分目および30分目の直腸温から、作業前安静時の直腸温を減じ、直腸温上昇度(ΔT_{r30} , ΔT_{r60})を求め

Table 1. Physical characteristics of subjects.

Subj.	Age (yrs.)	Ht (cm)	Wt (kg)	B.S.A. (m ²)	B.S.A./Wt (m ² /kg)	Fat (%)	M.S.F. (mm)
I.K.	24	170.8	55.45	1.60	0.029	6.35	6.6
I.M.	21	173.2	62.04	1.69	0.027	8.30	6.5
K.T.	26	173.8	62.45	1.70	0.030	11.36	9.4
N.T.	24	173.6	74.82	1.84	0.027	22.41	25.7
O.J.	23	176.3	55.24	1.63	0.028	8.91	5.8
T.I.	22	168.8	58.40	1.62	0.025	13.61	9.8
W.S.	26	160.2	55.74	1.53	0.028	12.97	13.2
Y.K.	29	169.9	59.42	1.64	0.027	7.05	5.2
mean	24.4	170.8	60.45	1.66	0.028	11.37	10.3
S.D.	2.6	4.9	6.47	0.09	0.002	5.19	6.8

B.S.A.: Body surface area according to Fujimoto *et al.* (1968).

M.S.F.: Mean skin fold thickness according to Hori *et al.* (1974).

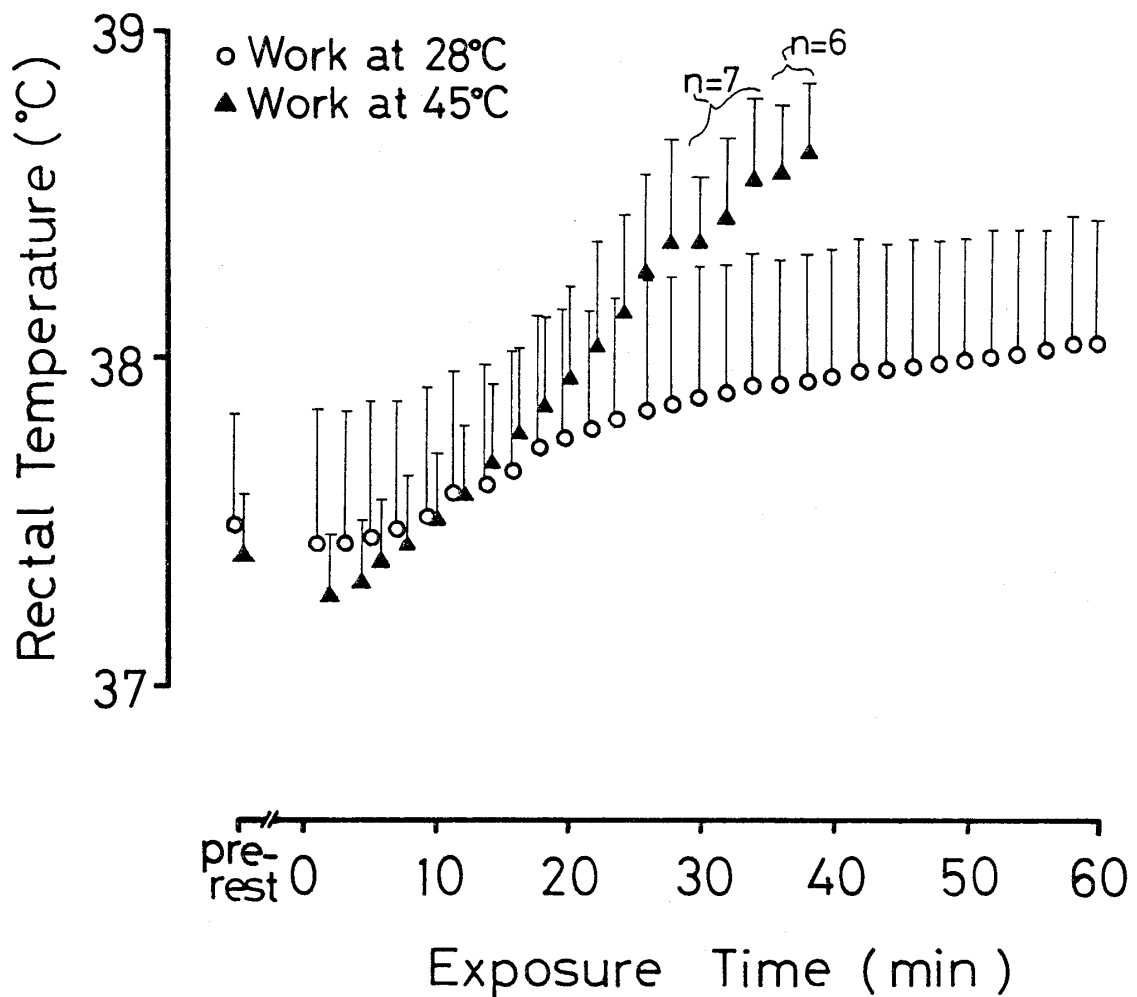


Fig.1. Rectal temperature during work. Values are mean+S.D..

た。45°Cの条件においては、作業30分間の直腸温上昇度 (ΔT_{r30}) のみを求めた (表2)。なお、45°Cの条件において、27.5分で作業を中止している被験者 O.J. については、直腸温の直線的上昇傾向より、作業30分目の直腸温を推定し、 ΔT_{r30} を求めた。両条件の ΔT_{r30} を比較すると、45°Cにおける ΔT_{r30} が有意 ($t=7.13$, $p<0.01$) に大きなものであった。

両条件において、作業60分目および30分目の酸素摂取量から、作業前安静時の酸素摂取量を減じ、酸素摂取量増加度 ($\Delta \dot{V}O_{230}$, $\Delta \dot{V}O_{260}$) を求めた。同様に心拍数増加度 (ΔHR_{30} , ΔHR_{60}) を求め、最大酸素摂取量に対する酸素摂取量比 ($\% \dot{V}O_{2max}$)、発汗率 (S.R.) と共に、表3に示している。

表4は、直腸温上昇度 (表2) と各体格的要因 (表1) との間の相関係数を示したものである。28°Cの条件においては、いずれの体格的要因も有意な相関は示さな

Table 2. Increase in rectal temperature.

Subj.	28°C		45°C
	ΔT_{r30} (°C)	ΔT_{r60} (°C)	ΔT_{r30} (°C)
I.K.	0.43	0.88	1.40
I.M.	0.26	0.24	0.60
K.T.	0.71	0.84	1.68
N.T.	0.43	0.57	0.88
O.J.	0.25	0.59	0.90
T.I.	0.38	0.54	0.75
W.S.	0.25	0.36	1.13
Y.K.	0.30	0.34	1.22
mean	0.38	0.55	1.07
S.D.	0.16	0.23	0.36

ΔT_{r30} , ΔT_{r60} : Increase in rectal temperature for 30 min and 60 min, respectively, subtracting rectal temperature at the end of rest from that at 30 min or 60 min of work.

Table 3. Increase in $\dot{V}O_2$ ($\Delta\dot{V}O_{230}$, $\Delta\dot{V}O_{260}$) and HR (ΔHR_{30} , ΔHR_{60}), $\dot{V}O_{2max}$, % $\dot{V}O_{2max}$, sweat rate (S.R.) and work time(W.T.).

Subj.		$\Delta\dot{V}O_{230}$ (l/min)	$\Delta\dot{V}O_{260}$ (l/min)	ΔHR_{30} (beats/min)	ΔHR_{60} (beats/min)	$\dot{V}O_{2max}$ (l/min)	% $\dot{V}O_{2max}$ (%)	S.R. (kg/W.T.)	W.T. (min)
I.K.	28°C	1.15	1.18	63	60	3.00	45.3	0.73	61.0
	45°C	1.35	-	103	-	2.95	53.0	0.90	35.0
I.M.	28°C	1.06	1.01	46	47	3.39	38.4	0.74	61.0
	45°C	1.22	-	92	-	3.02	46.8	1.19	39.0
K.T.	28°C	0.91	0.99	50	54	2.85	42.5	0.42	61.0
	45°C	1.02	-	93	-	2.88	46.3	1.00	47.0
N.T.	28°C	1.01	1.00	36	40	3.25	40.1	0.63	61.0
	45°C	1.22	-	92	-	2.96	47.4	1.09	39.0
O.J.	28°C	1.14	1.23	59	58	3.05	44.0	0.23	61.0
	45°C	1.01	-	96	-	3.06	42.5	0.50	27.5
T.I.	28°C	0.84	0.89	53	58	3.12	36.1	0.46	61.0
	45°C	1.02	-	74	-	3.10	42.6	0.91	49.0
W.S.	28°C	1.05	1.03	36	34	3.13	41.0	0.54	61.0
	45°C	1.30	-	90	-	3.07	41.2	0.70	38.0
Y.K.	28°C	0.91	0.93	44	41	3.58	32.5	0.43	61.0
	45°C	1.08	-	91	-	3.34	36.5	0.72	39.5
mean	28°C	1.01	1.03	48.4	49.0	3.17	40.0	0.52	61.0
	45°C	1.15	-	91.4	-	3.05	44.5	-	39.3
S.D.	28°C	0.11	0.12	9.9	9.9	0.23	4.2	0.17	0.0
	45°C	0.14	-	8.1	-	0.14	5.0	-	6.7

$\Delta\dot{V}O_2$ and ΔHR were calculated for 30 min and 60 min as similar to ΔTr shown in table 2.
 $\dot{V}O_{2max}$ according to Sato et al. (1979).

Table 4. Correlation coefficients between ΔTr and parameters of body build.

		Ht	Wt	B.S.A.	B.S.A./Wt	Fat	M.S.F.
28°C	ΔTr_{30}	0.543	-0.183	0.036	0.519	-0.098	-0.104
	ΔTr_{60}	0.403	-0.255	-0.064	0.587	-0.144	-0.108
45°C	ΔTr_{30}	-0.044	-0.678	-0.575	0.801*	-0.434	-0.397

*: $p < 0.05$

Table 5. Correlation coefficients between ΔTr and $\Delta\dot{V}O_2$, ΔHR , $\dot{V}O_{2max}$, % $\dot{V}O_{2max}$ and S.R..

		$\Delta\dot{V}O_{230}$	$\Delta\dot{V}O_{260}$	ΔHR_{30}	ΔHR_{60}	$\dot{V}O_{2max}$	% $\dot{V}O_{2max}$	S.R.
28°C	ΔTr_{30}	0.574	-	0.519	-	-0.535	0.717*	-
	ΔTr_{60}	-	0.620	-	0.701	-0.639	0.630	-0.270
45°C	ΔTr_{30}	-0.042	-	0.421	-	-0.116	0.173	-

*: $p < 0.05$

かったが、45℃の条件においては、28℃に比べて身長を除く全ての体格的要因について相関係数が大きくなる傾向を示し、体重当り体表面積 (B.S.A./Wt) が ΔT_{r30} と有意な正の相関を示した。

表5は、直腸温上昇度(表2)と表3に示した W.T. を除く各要因との相関係数を示したものである。45℃の条件においては、いずれの要因も有意な相関は示さなかったが、28℃の条件においては、45℃に比べて全ての要因について相関係数が大きくなる傾向を示し、 $\% \dot{V}O_2 \max$ が ΔT_{r30} と有意な正の相関を示した。なお、45℃の条件においては、各被験者の作業時間が異なるために、S.R.についての相関は調べられなかった。

考 察

Wyndham ら(1954)は、最大下作業時の直腸温は、定常レベルを維持して調節されるけれども、そのレベルは作業負荷と環境温度によって影響を受け、軽度の作業であっても、環境温度が34℃以上になると、未馴化の被験者は定常レベルを維持できないことを示した。また、Nielsen と Nielsen (1962)は、気温5℃から30℃の範囲においては、最大下作業時の直腸温と食道温は気温に影響されず定常レベルを維持することを示した。本研究における最大下作業時の直腸温の変化は、これらの報告と一致するものであると考えられる。即ち、28℃の条件においては、平均値で見ると明らかな定常傾向は示されないものの、作業後半には上昇度が低下し、個人ごとの直腸温の変化においては、8名中6名の被験者で定常レベルが認められた。45℃の条件においては、Wyndham や Nielsen と Nielsen の示した環境温度よりも、はるかに高い環境温度であり、直線的な直腸温の上昇を示した。これらの結果より、28℃の条件においては、作業によって直腸温のレベルは安静時に比べて上昇するけれども、体熱の平衡は維持されており(岩永, 1983)、体温調節が十分に行なわれていると考えられる。それに対し、45℃の条件においては、体温調節が有効に行なわれる温度域を越えており、時間経過に伴ない直線的な直腸温の上昇を示したものと考えられる。

直腸温上昇度と体格との関連を見ると、45℃の条件において相関係数が大きくなる傾向を示した(表4)。さらに、45℃の条件において、B.S.A./Wt は ΔT_{r30} と

有意な相関を示した。B.S.A./Wt は、環境と身体との間の相対的な熱の移動量を反映するものであり、45℃という環境条件においては B.S.A./Wt の大きな人ほど環境から身体への熱の侵入量が大きくなり、そのことが作業による産熱の放散を抑制して直腸温の上昇度をより大きなものにするという解釈される。Bar-Or ら(1969)は、トレッドミル歩行時の女性の直腸温上昇度について、乾球温度36.8～43.9℃の範囲では太った人の方がやせた人よりも直腸温上昇度が大きい、環境温度の上昇に伴って両者の直腸温上昇度の差は減少し、遂には逆転する傾向のあることを示した。彼らはその説明として、B.S.A./Wt によって反映される熱の侵入量を示唆している。

45℃の条件において、B.S.A./Wt を一定にした際の ΔT_{r30} と他の体格的要因との間の偏相関関係を調べた。その結果、有意な関係は認められなかった。しかし、M.S.F.と ΔT_{r30} との間の偏相関係数は0.682であり、有意水準 ($r=0.754$, $p<0.05$, $\phi=5$) に近いものであった。有意な関係ではなかったが、偏相関係数が正であったことが注目される。即ち、B.S.A./Wt が同一であれば、45℃の条件においては M.S.F. の大きな人ほど ΔT_{r30} が大きいという可能性を示唆するものである。このことは、脂肪組織の比熱が除脂肪組織のそれの約半分である(Bar-Or ら, 1969)ことによる身体殻部の体温上昇を反映するものと解釈することができるが、さらに詳細な検討を必要とする問題である。

本研究における B.S.A./Wt は、Wt, Fat, M.S.F. と有意な相関を示し、相関係数は各々、 -0.843 ($p<0.01$), -0.760 ($p<0.05$), -0.801 ($p<0.05$) であった。これらの結果は太っている人ほど B.S.A./Wt が小さく、その結果として45℃での作業時の直腸温上昇度が小さいことを示している。佐藤ら(1983)は、高温環境における安静時の男性の直腸温上昇度は太っている人ほど小さいことを示した。やせた人よりも太った人の方が、耐暑性が劣るということが一般に報告されているが(Minard ら, 1957; Buskirk ら, 1965; Bar-Or ら, 1969; Haymes ら, 1975)、その主な原因としては、先に述べたように、太った人ほど放熱能力が劣ることが考えられる。しかし、環境から身体への熱の侵入が生じるような環境条件下においては、熱の侵入量が体温の変化に与える影響が大きくなると考えられ、本研究の結果や佐藤らの報告は、環境温度との関

連を含めて興味深い結果であると思われる。

酸素摂取量、心拍数に関する要因と直腸温上昇度との関連を見ると、体格的要因とは逆に、28℃の環境条件において相関係数が大きくなる傾向を示した(表5)。さらに、 $\% \dot{V}O_{2\max}$ は ΔT_{r30} と有意な相関を示した。この結果は、SaltinとHermansen(1966)、Wyndhamら(1970)の報告と一致するものである。しかしながら ΔT_{r60} は $\% \dot{V}O_{2\max}$ と有意な相関は示さなかった。28℃の条件においては、作業前半に上昇した直腸温は作業30分目には定常レベルに達すると考えるならば、 ΔT_{r30} は作業時の体温調節による新たな体熱の平衡状態をよく反映するものであり、 ΔT_{r60} は平衡状態に達した後の何らかの要因による直腸温の変動を含むものであると考えられる。従って表5に示した結果は、28℃における作業時の体温調節は、酸素摂取量や心拍数によって表わされた呼吸循環系との関連が大きく、特に相対的作業負荷との関連が大きいことを示唆するものである。

28℃の条件における直腸温上昇度と体格との関連をさらに調べるために、 $\% \dot{V}O_{2\max}$ を一定にした際の ΔT_{r30} と各体格的要因の間の偏相関関係を調べたが、有意な関係は認められなかった。勝浦ら(1982)は、乾球温度28.5℃の環境条件における最大作業時の直腸温上昇度に与えるM.S.F.の断熱材の効果を重回帰式によって示したが、 $\% \dot{V}O_{2\max}$ についての検討はなされなかった。本研究の結果から見ると、28℃前後の環境条件においては、 $\% \dot{V}O_{2\max}$ の直腸温上昇度へ与える影響が最も大きなものであり、M.S.F.などの体格的要因の与える影響は、 $\% \dot{V}O_{2\max}$ に比べてかなり小さなものであることが考えられる。

高温環境においては、発汗による放熱の促進が大きな意味を持つが、45℃の条件での作業時には、作業時間が各被験者で異なるために発汗量と直腸温上昇度との関連を調べることができなかった。しかしながら、45℃の条件においては豊富な発汗が観察され、体重減少量より求めた発汗量には多くの無効汗量を含むものであり、発汗量そのものと直腸温上昇度との関連は小さいことが予想される。

以上のように、直腸温上昇度と体格との関連は、45℃の環境条件において大きなものとなることが示され、特にB.S.A./Wtとの関連が大きいことが示唆された。

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.
- 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.
- Coon, C.S., S.M.Garn and J.B.Birdsell, 1950: Races; A study of the problems of race formation in man. Carles C. Thomas. Ill. U.S.A.
- 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.
- Haymes, E.M., R.J.McCormick and E.R.Buskirk, 1975: Heat tolerance of exercising lean and obese prepubertal boys. *J.Appl. Physiol.*, 39 (3): 457-461.
- 堀清記, 飯塚平吉郎, 中村正, 1974; 沖縄住民と本土住民の皮下脂肪厚および体脂肪含有率の比較. *栄養と食料*, 27(7): 335-339.
- Hori, S., H. Ihzuka and M. Nakamura, 1976: Studies on physiological responses of residents in Okinawa to a hot environment. *Jap.J.Physiol.*, 26: 235-244.
- 堀清記, 1981: 温熱生理学, 理工学社 東京: p499.
- 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. *Annals Physiol. Anthropol.*, 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.
- Keys, A. and J. Brožek, 1953: Body fat in adult man. *Physiol. Rev.*, 33: 245-325.
- Minard, D., H.S. Belding and J.R. Kingston, 1957: Prevention of heat casualties. *J. Amer. Med. Assoc.*, 165: 1813.
- Mitchell, J.W., E.R. Nadel and J.A. Stolwijk, 1972: Respiratory weight losses during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 32: 474-476.
- Nielsen, B. and M. Nielsen, 1962: Body temperature during work at different environmental

- temperature. *Acta Physiol. Scand.*, 64: 323-331.
- Saltin, B. and L. Hermansen, 1966: Esophageal, rectal and muscle temperature during exercise. *J. Appl. Physiol.*, 21(6): 1757-1762.
- 佐藤方彦, 坂手照憲, 原田一, 井上馨, 1979: 広範囲の環境温度条件で使用する最大酸素摂取量推定式の開発, *人類誌*, 87: 174-175.
- 佐藤陽彦, 安河内朗, 山崎和彦, 1983: 高温環境曝露時の安静男性の体温. *Annals Physiol. Anthropol.* 2: 35-38.
- Wyndham, C.H., N.B. Strydom, J.F. Morrison, F.D. duToit and J.G. Kraan, 1954: Responses of unacclimatized men under stress of heat and work. *J. Appl. Physiol.*, 6: 681-686.
- Wyndham, C.H., N.B. Strydom, A.J. Van Rensburg, A.J.S. Benade and A.J. Heyns, 1970: Relation between $\dot{V}O_2$ max and body temperature in hot humid air conditions. *J. Appl. Physiol.*, 29(1): 45-50.

(1983年11月9日受付)