

한냉에 노출된 인체의 냉각과 총지방량 및 S/V 비율 사이의 관계*

서울대학교 의과대학 생리학교실 및 국민체력과학 연구소

鄭 觀 玉 · 南 基 鏞

=Abstract=

Relationship between Total Body Fat and S/V Ratio and Body Cooling for Two Hours at 15°C

Kwan Ogg Chung and Kee Yong Nam

*Department of Physiology, and Physical Culture Research Institute
Seoul National University College of Medicine, Seoul, Korea*

Skin temperatures on 10 sites and rectal temperature at every 10 minutes, oxygen consumption at every 20 minutes were measured on 18 male subjects (ages between 14 and 47 years) after exposure to cold air at 15°C for two hours in a climatic room. Total body fat measured by means of a skinfold method and ratio of body surface area (S) to body volume (V), S/V, were utilized as basis of observations. Surface area was calculated after DuBois equation and body volume was calculated by our original formula. In influencing on the heat loss from the body core to the cold environment, % fat showed inverse relations, whereas, S/V ratio showed direct relations. Thus these two factors acted antagonistically on the body heat loss.

Local skin temperatures showed negative correlations with skinfold thickness on the same site, namely, on chest, $r = -.567$; on back, $r = -.507$; and on upper arm, $r = -.353$. The other 7 skin sites showed low correlations with % fat. Minimum mean weighted skin temperature (MWST) showed a negative correlation ($r = -.443$) with % fat, and showed no correlation with S/V ratio.

Oxygen consumption in the cold air at 15°C increased from the first measurement at 20 minutes after exposure and maintained the same increasing trend up to 120 minutes. ΔT_R was greater in the lean subjects who showed a greater % change in oxygen consumption.

The antagonistic actions of % fat and S/V ratio on the heat loss were manifested by observations as follows: minimum rectal temperature was higher in fat subjects ($r = .600$) and lower in subjects with a greater S/V ratio ($r = -.582$), ΔT_R was smaller in fat subjects ($r = -.738$) and greater in subjects with a greater S/V ratio ($r = .618$). Temperature difference between body core and skin surface (minimum rectal temperature minus minimum MWST) showed a positive correlation with % fat ($r = .600$) and a negative correlation with S/V ratio ($r = -.881$).

Decrease in the mean body temperature and heat debt, respectively, showed negative correlations with % fat and positive correlations with S/V ratio.

사람의 체온 조절에 있어서 화학적인 열발생과 물리적인 열손실 사이의 평형이 유지되어야 함은 다 아는바이다. 한냉한 환경에 노출되면 몸으로부터의 열손실이

증가할 것이므로 열생산을 증가하여야만 체온이 유지될 것이다. 그러므로 한냉 환경에 노출되면 처음 반응으로 열생산이 증가함은 체온 조절 기전의 중요한 활동이라 할 것이다. 사람의 열생산 증가는 산소 섭취량의 증가로써 쉬어 알 수 있는 일이며 10~15.6°C의 한냉한 공

* 국민체력과학 연구소 논문 제 43 호

기에 노출되면 30 분 이내에 대사율이 증가하며 (Iampietro and Buskirk, 1960), 10°C 에 노출하였을 경우에 대사율은 처음부터 증가한 것은 아니며 도리어 처음에는 감소하였다가 노출 후 30 분 전후부터 대사율이 증가하였다고 하며 (Buskirk et al., 1963), 그 후에는 증가된 상태를 유지하나 상당히 큰 기복(起伏)이 있었다 한다. 한편 환경 온도가 20~22°C 에서 나체로 안정을 유지하는 경우에는 1~3 시간 동안은 열생산의 증가가 없었다 하나 (Hardy and DuBois, 1937), 26 내지 28°C 이하의 환경 온도일지라도 오랜 시간 노출하면 열생산이 조금은 증가하였다 한다 (Hardy and DuBois, 1940; Hardy et al., 1941).

한냉에 사람이 노출되면 처음 몇 분은 대단히 불쾌함을 느끼며, 떨리기(shivering), 근 긴장도의 증가 등이 나타나고 불쾌감은 계속하여 유지된다. 이러한 노출 기간 중에 체온이 유지되는 데는 열손실이 방지됨이 열생산의 증가와 같은 중요성을 가진다. 열손실 방지를 위하여 신체 표면의 말초 혈관이 반사적 수축을 일으키는 일은 잘 알려져 있다.

피부를 통하여 열손실이 일어남에는 신체 표면층의 열 전도도(heat conductivity)가 큰 구실을 할 것인데, 피하 지방층과 피부로써 구성되는 신체 표면층의 열에 대한 성질이 이것을 좌우한다.

신체의 피하 지방층은 열 전도도가 낮아서 한냉에 노출되었을 경우에 몸이 식는 것을 막는 중요한 절연체라고 믿어져 왔다. 신체 지방의 열 전도도는 0.000488 cal/cm/cm² sec/°C 이어서 근조직의 0.000920 cal/cm/cm² sec/°C 에 비하여 훨씬 적다 (Hartfield and Pugh, 1951). 간단하게는 피하 지방층이 두꺼운 사람은 절연도가 높으며 한냉 환경에서 몸이 잘 식지 않을 것이라고 생각하게 된다. 그러나 지방층이나 표면의 피부를 통하는 혈액 유통량은 여러 조건으로 각각 상이할 것이므로 단순히 열전도도만으로 신체의 절연도(insulation)를 말할 수는 없다.

피부 자체의 열 교환 태도가 부위에 상관없이 일정하다고 가정하면, 열 전도도가 낮은 피하 지방층이 두꺼운 부위일수록 그 표면 피부온도는 낮을 것이 예상된다. Baker 와 Daniels (1956)는 한냉에 노출된 신체의 여러 부위에서 피부 온도가 피하 지방 두께와 반대방향의 변화를 한다고 보고하였다. 나아가서는 전신의 총지방량과 신체의 냉각과 관계가 있을 것이 추측되는데 Daniels 와 Baker (1961)는 15°C 에 노출한 사람에서 총지방량이 많은 사람일수록 덜 떨고, 대사율 증가가 적고, 피부 온도가 낮다고 보고하였다.

사람의 신체는 일정한 용적(容積, V)과 체표면적(體表面積, S)을 가지는 고로 체표면적의 용적에 대한 비율

(S/V)이 각 개인마다 상이하다 (南基鏞, 1968). 모형적으로 생각한 인체는 원통(圓筒)이며 크고 작은 여러 개 원통의 집합체이라고 볼 수 있다. 이러한 원통의 중심부에 열발생 기구가 존재하며, 여기서 발생한 열은 전도 또는 혈액에 운반되어 표면에 이르고 신체 표면을 통하여 주위로 이동한다. 그렇다면 표면적의 용적에 대한 비율(S/V)이 클수록 열의 이동에는 유리할 것이다. S/V 비율이 가장 적은 것이 구형(球形)인데 사람의 신체는 구형에서는 상당히 차이가 있으며 같은 용적에서는 구형보다 S/V 비율은 크다. 한편 피하지방량의 많고 적음은 인체의 곡선에 상당히 영향하므로 용적과 표면적에 대하여도 영향이 클 것이다. 즉 인체를 물리적으로 생각하여 원통의 중심부에서 열발생을 한다면 인체가 한냉에 노출될 경우에 S/V 비율과 밀접한 관계가 있을 것이다.

이 논문은 15°C 한냉 환경에 나체로 노출된 사람의 총지방량 및 신체 표면적 대 용적 비율(S/V)과 피부 온도 및 산소 섭취량 변동 등의 관계를 관찰 보고한 것인데, 검토의 기준이 되는 총지방량 측정에는 저자들이 만든 피부두겹 법과 용적 측정에는 비체중(relative weight, 南基鏞, 미발표)에 입각한 새로운 방법(朴景華, 1963; 金銀久, 南基鏞, 1968)등을 사용하였다.

실험 방법

대상자는 남자 18명(연령: 14세 내지 47세)이었으며 이들의 신체 지수를 제 1표에 보인다. 이들에게서 실온(24°C)하의 안정시 산소 섭취량을 측정하고 동시에 피부 온도, 직장 온도 등의 대조 측정을 시행한 후 15°C 의 항온실(恒溫室)에 들어가게 했다. 항온실 내에서는 나체로 맨츠만 입고 플라스틱 그물 의자에 2시간 동안 앉아 있었으며 그동안 적당한 시간에 피부 온도, 산소 섭취량, 직장 온도 등을 측정하였다.

총지방량 측정을 피부두겹 법(朴景華 1963; 金銀久, 南基鏞, 1968; 權承洛·南基鏞, 1968)에 따라 하였다. 즉 팔, 등, 허리 및 배의 네군데 피부두겹 두께를 Lange 의 집계(Cambridge Sci., Ind. 제조)로 측정하고 여기서 얻는 평균 피부두겹 두께로부터 다음과 같이 연령에 해당하는 공식을 사용하여 산출하였다. 즉,

$$13\sim 15\text{세에서는 } \% \text{Fat} = 1.933x + 4.26$$

$$16\sim 19\text{세에서는 } \% \text{Fat} = 1.326x - 0.064$$

$$20\sim 39\text{세에서는 } \% \text{Fat} = 0.911x + 8.1$$

$$40\text{세 이상에서는 } \% \text{Fat} = 1.199x + 1.41$$

여기에 x는 네군데의 평균 피부두겹 두께(mean skinfold thickness)를 mm로 표시한 것이다.

사람의 신체 용적 계산은 南基鏞(미발표)의 남자용

Table 1. Physical characteristics of subjects

No.	Subj.	Age yr	Ht., cm	Wt., kg	Mean skinfold, mm	Body fat, %	Body volume, l	Surface area, m ²	Ratio of S. area
									B. volume
5	PY	44	163	63.7	9.0	15.4	59.2	1.67	0.282
6	BK	47	168	67.8	12.5	17.8	63.6	1.76	.276
7	KK	41	160	67.1	14.3	19.7	63.5	1.69	.266
9	KH	29	170	62.9	6.8	13.3	59.6	1.74	.291
10	PH	27	170	63.3	4.4	10.7	59.8	1.74	.290
11	PM	25	166	60.6	6.5	13.5	57.1	1.68	.294
12	KC	25	176	69.9	9.7	14.7	66.6	1.86	.279
13	LY	33	178	67.8	8.3	13.4	64.2	1.84	.286
14	LS	22	163	59.1	6.9	14.2	56.0	1.62	.289
15	KS	27	160	56.2	5.5	13.3	53.2	1.60	.300
16	SE	45	170	60.8	9.7	16.9	57.1	1.70	.297
17	LY	35	168	74.6	13.9	17.4	70.2	1.84	.262
20	YS	34	165	54.5	5.2	13.4	51.1	1.59	.311
21	SH	31	166	65.3	5.9	11.8	61.1	1.72	.281
22	LB	34	162	56.0	5.0	12.8	52.4	1.59	.303
24	CJ	14	152	41.5	6.5	16.9	38.3	1.32	.344
25	MB	18	169	71.4	10.2	14.8	67.7	1.82	.268
26	KY	30	171	68.0	7.1	12.5	64.3	1.80	.279

공식

$$V=S \times (54.95 W/H+14.02)$$

로 계산하였는데, 여기에 V: 신체 용적, liter; S: 崔源老(1956)에 따른 신체 표면적, m²; W: 체중, kg 및 H: 몸길이, cm이다.

피부 온도를 10 군데에서 측정하였으며 온도 측정용 전극을 붙이는 장소의 피부두께 두께도 앞서의 네군데와 별도로 측정하였다. 피부 온도를 10 군데에서 측정하면 이것으로부터 평균 가중 피부 온도(mean weighted skin temperature)를 산출하였다. 평균 가중 피부 온도는 Quartermaster R. and E. Center의 공식(Teichner, 1958)에 따라서 Mean weighted skin temperature = 0.050 instep + 0.150 calf + 0.125 lateral thigh + 0.125 medial thigh + 0.125 back + 0.125 arm + 0.060 hand + 0.100 cheek 로 산출하였다.

피부 온도 측정 기구로는 telethermometer (Yellow Spring Instrument)를 사용하였다. Thermistor를 반창고로 회당하는 장소에 붙이고 15°C에 노출 후 10분, 20, 30, 40, 50, 60, 70, 80, 90, 100, 110, 및 120분에 즉 합계 12번 측정하여 온도 변화를 보았다. 직장 온도는 thermister 끝을 7cm 가량 직장에 삽입하여 측정하였다.

산소 섭취량 측정은 더글라스 주머니(Douglas bag)에 호출 공기를 5분 동안 채집하고 micro-Scholander 장치

(Scholander, 1947)로 산소 함량을 측정하여 Consolazio 등(1963)의 도표를 사용하여 산소 섭취량을 산출하였다. 산소 섭취량 측정은 24°C의 실온에서 대조 측정하고 15°C 항온실에서는 20분, 40, 60, 80, 100 및 120분의 6번 측정하였다.

항온실 내 환경은 온도 변동이 ±0.05°C, 비습이 50%이었으며 실내 공기를 선풍기로 교란하였으며 바람의 속도는 katathermometer로 측정하여 3m/min이었다. 이 밖의 계산은 다음과 같았다.

평균 체온(Mean body temperature, MBT)은

$$MBT=0.03 MWST+0.67 T_R$$

여기에 T_R은 직장 온도이다. 열 부채(Heat debt, D)의 계산은

$$D=(MBT_{t_1}-MBT_{t_2}) (0.83 \text{ body weight, kg}),$$

여기에 상수 0.83은 신체의 비열(specific heat)이며, t₁과 t₂는 각각 시각 1, 2를 가리킨다. 신체의 절연(insulation, I_b)은

$$I_b=(T_R-MWST)/0.76 M,$$

여기에 상수 0.76은 수증기 증발로 일어나는 열 손실을 24%로 잡고 이것을 교정하는 것이고, M은 열생산이며 단위는 kcal/m².hr이다.

실험 성적

한냉에 대한 반응: 사람이 나체로 15°C의 한냉 환경

에 노출되었을 경우에 우선 눈에 띄는 일은 산소 섭취량의 증가이었다. 제 1도가 이 모양을 보이는데 처음 20분까지 급격히 증가하고 다음에 증가율은 조금 적고 100분 이후에 다시 커졌다. 그림은 체중 kg 당, 무지방 체중 kg 당, 신체용적 리터 당 매분 섭취량의 18례 평균치를 그린 것인데 대상자 개개인에서는 값의 기복(起伏)이 컸으며 증가의 방향만을 유지하는 것은 아니었다. 이것이 평균치의 표준 오차(S.E.M.)의 크기에 반영되었다고 보겠으며, 노출 후 40분에 개인차가 제일 적었으며 그 후에 커졌다가 120분에 다시 적어졌다. 산소 섭취량 변동은 총지방량이나 신체 표면적의 신체 용적에 대한 비율(S/V)과의 사이에 특별한 관계가 없었다.

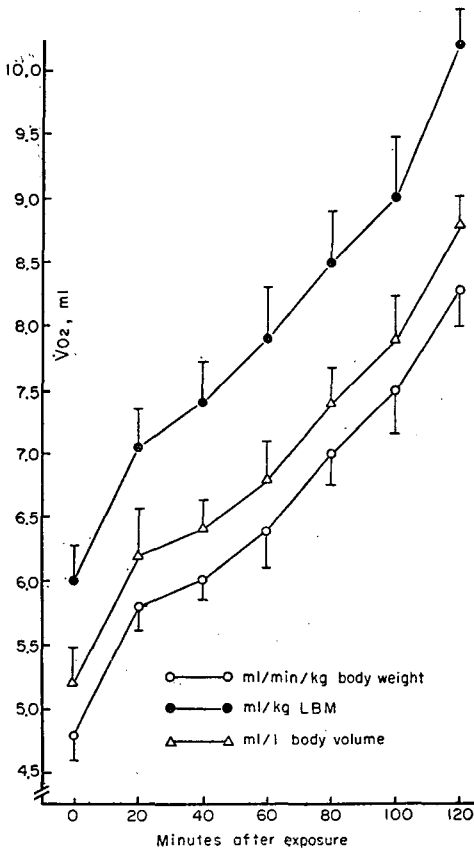


Fig. 1. Increase in oxygen consumption after exposure of nude subjects to cold air at 15° C. O-O: ml/min/kg body weight; ●-●: ml/min/kg LBM; △-△: ml/min/liter body volume. Vertical bars indicate one S.E.M.

떨리기는 전례에서 나타났는데 시간적인 차이가 있었다. 제 2도에 보듯이 이르던 10분 후에서 부터 늦은 사람은 80분 후에 비로소 나타났으며 50분까지는 절반의 대상자에서 나타났다. 떨리기가 나타나는 시간과 대상

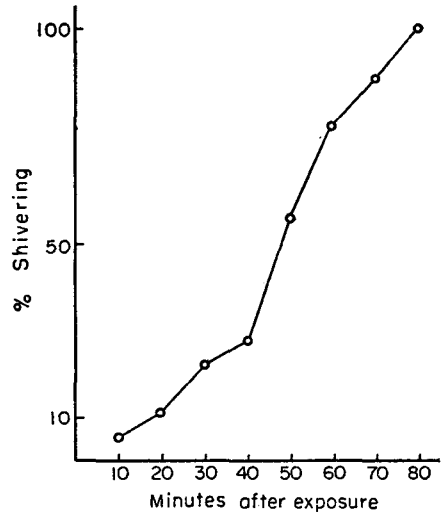


Fig. 2. Per cent (number of shivered to the total) shivering after exposure to cold air at 15° C.

자의 총지방량 사이에는 특별한 관계는 없었다.

피하지방 두께와 피부 온도 사이의 관계: 여러 피부 국소의 2시간 관찰 도중의 최하 온도와 해당 국소의 피하지방 두께(여기서는 피부 자체의 두께도 포함된 것) 사이의 관계를 제 2표에 보인다. 2시간 관찰 기간의 마지막 피부 온도 값을 잡지 않고 최하값을 잡은 것은 피부 온도가 일방적이 아니고 다시 상승 등의 기복을 보였기 때문이다. 제 3도는 이 모양을 보이는 것인데 등과 가슴에서는 60분 이내에 최저 피부온도에 이르렀다가 그후는 그 보다는 높은 온도에서 변동이 있었다. 대퇴 내측이 60분 이내에 최저 온도에 이르렀고 몸등에서 멀어지는 팔다리에서는 그보다 뒤졌으며 발등은 계속 온도 하강의 방향만을 따랐다. 허벅과 손도 발등

Table 2. Correlation between skinfold thickness and the lowest skin temperature

x \ y	Skinfold thickness	Regression equation
Chest	-.567	y = -.246x + 32.38
Back	-.507	y = -.124x + 31.28
Upper Arm	-.353	y = -.601x + 28.94
Lower Arm	-.237	
Hand	-.205	
Instep	-.191	
Med. Thigh	-.169	
Calf	-.086	
Cheek	-.086	
Lat. Thigh	-.048	

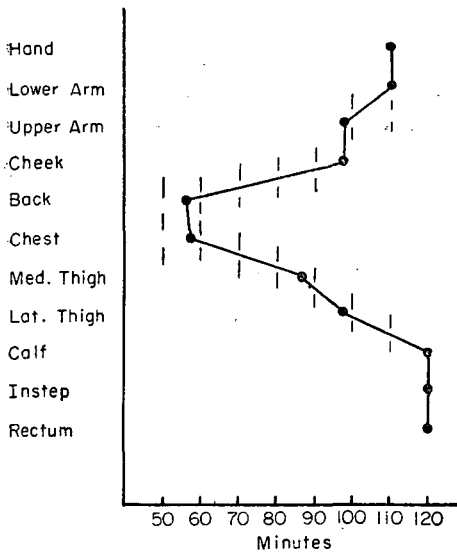


Fig. 3. Cycling of local skin temperature in cold air at 15°C. The time to reach the minimum skin temperature differed at various sites. On back and chest rewarming was manifest.

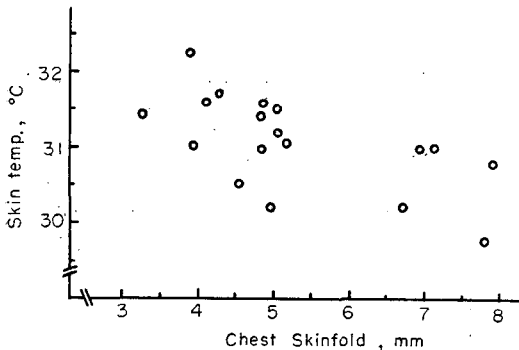


Fig. 4. Relationship between skinfold thickness (mm) and local skin temperature on chest. Coefficient of correlation was $r = -.567$.

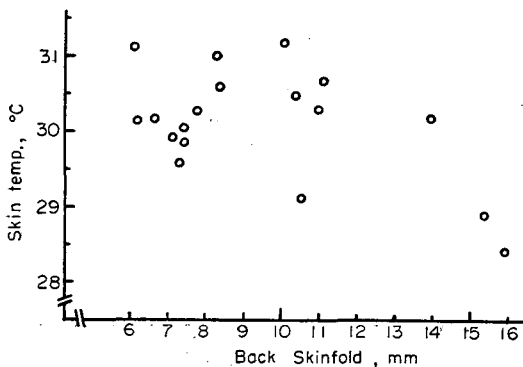


Fig. 5. Relationship between skinfold thickness (mm) and local skin temperature on back. Coefficient of correlation was $r = -.507$.

과 대략 같은 태도이나 어떤 예에서는 다시 더워지는 일도 있었다.

피부 부위별로는 피부두께 두께와 최저 피부 온도 사이에는 모든 부위에서 역(逆)상관 관계를 보였으며 특히 가슴에서는 상관계수가 $r = -.567$, 등에서는 $r = -.507$ 로 뚜렷하였고 각각 제 4 도(가슴) 및 제 5 도(등)에 보는바와 같았다. 팔에서는 피부두께 두께와 최저 피부 온도 사이에 어느 정도 관련을 보이거나 그 밖의 부위에서는 이렇다할 관계는 없었다.

부위별 피부 온도의 최저 가중 평균 피부 온도는 총 지방량과의 사이에 $r = -.443$ 이라는 역상관 관계를 보였으며 제 3 표 및 제 6 도에 보는 바와 같다.

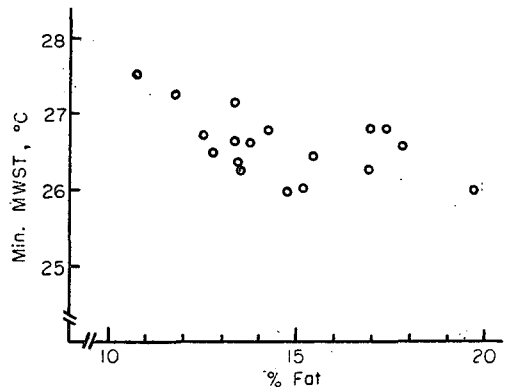


Fig. 6. Relationship between % fat and minimum mean weighted skin temperature.

Table 3. Correlations

	x	% Fat	\dot{V}_{O_2}	Regression equation
Minimum MWST	y	-.443		$y = -.0831x + 25.42$
Minimum T_R		.660		$y = .141x + 34.15$
$\Delta T_B(\text{Control}-\text{Min.})$		-.738		$y = -.134x + 2.94$
Min. T_R -Min. MWST		.600		$y = .182x + 7.00$
$\Delta T_R(\text{Control}-\text{Min.})$.419	$y = .00592x + .419$
Heat debt		-.587		$y = -.8.48x + 136.05$
$\Delta \text{MBT} (^\circ\text{C})$		-.686		$y = -.173x + 4.935$
Body insulation		.288		

바깥 환경 온도가 15°C이었으므로 피부 표면으로부터 열이 계속 이동되어 손실이 일어났으나 지방층의 열절연(熱絶緣) 작용이 있으므로 피부 두께가 큰 사람일수록 가중 평균 피부 온도가 낮음을 가리킨다. 이리하여

$$\text{Minimum MWST} = -.0831 \% \text{Fat} + 25.42$$

라는 공식으로 최저 가중 평균 피부 온도가 표시될 수 있었다.

직장 온도 : 직장 온도는 제 3 도에 보듯이 2시간 관

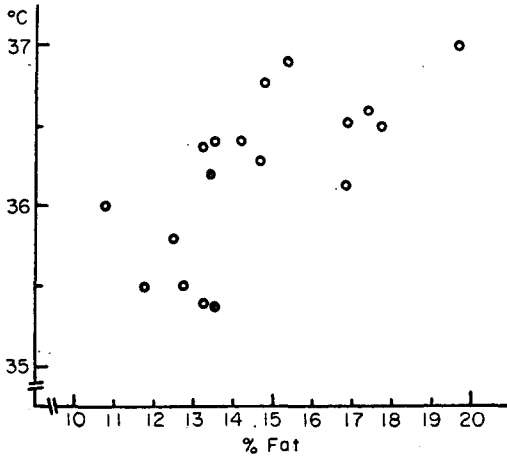


Fig. 7. Relation between % fat and minimum rectal temperature after exposure to cold air at 15°C for 2 hours. Coefficient of correlation was $r = .600$.

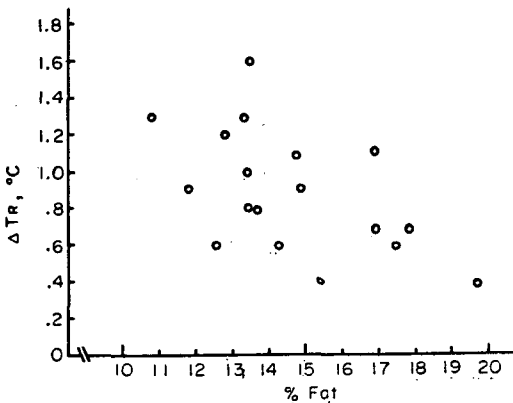


Fig. 8. Relationship between % fat and decrement in rectal temperature (control minus minimum value).

찰 기간을 통하여 계속 하강만을 유지하였는데 이것의 변동은 총지방량과 관련이 깊었다. 총지방량이 많을수록 15°C 공기에 2시간 노출 끝의 최저 직장 온도는 총지방량과의 사이에 $r = .660$ 이라는 상관 관계를 보였으며 제 7도에 보는 바와 같다. 더구나 직장 온도 대조값이 개인에 따라서 상당한 차이(37.7 내지 36.7°C)를 보이면서 분포되었던 일을 무시하여도 위와 같은 상관 관계가 성립하였다. 즉 총지방량이 많은 사람일수록 중심부로부터 열 손실이 적게 일어남을 가리킨다. 직장 온도의 대조치와 2시간 끝의 최저치 사이의 차이 즉 직장 온도 하강의 크기는 총지방량과의 사이에 역상관 관계를 보였으며 상관 계수는 $r = -.738$ 이었고 제 8도에 보는 것 같으며

$$T\Delta_R = -.134 \% \text{ Fat} + 2.94$$

이라는 관계로 표시할 수 있었다. 즉 지방량이 적을수록 열에 대한 절연이 적으며 그만큼 몸의 중심부 온도 (core temperature)가 낮아짐을 나타냈다.

피부 온도와 중심부 온도를 함께 생각하면 15°C의 한냉 환경에 노출되었을 경우에 피부 온도의 감소 절대치는 중심부 온도의 그것에 비하여 훨씬 컸다. 나아가서

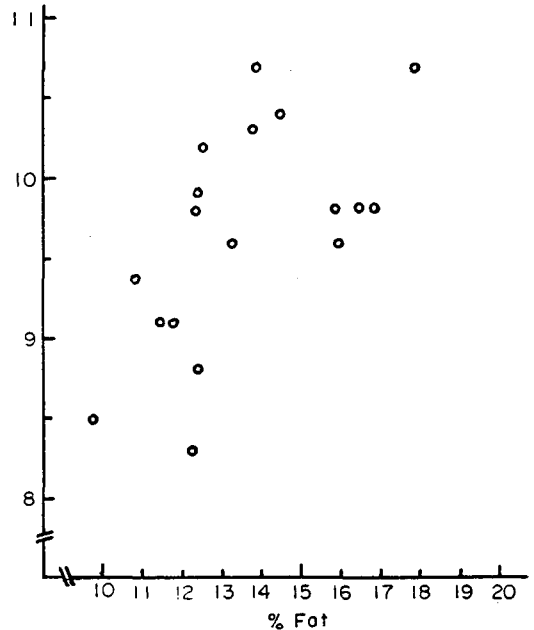


Fig. 9. Relationship between % fat and temperature gradient across skin surface and body core (temperature difference between minimum rectal temperature and minimum MWST).

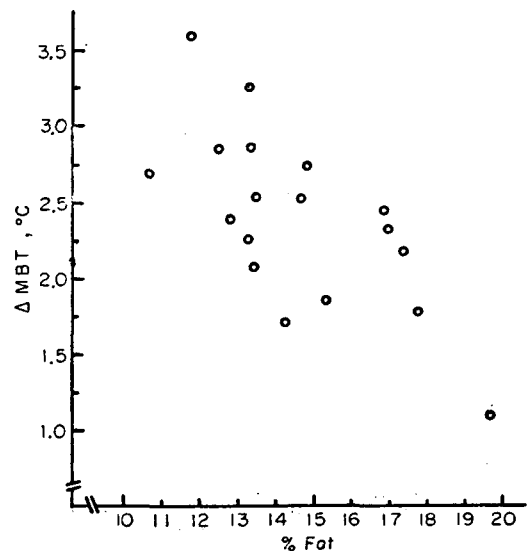


Fig. 10. The falls in the mean body temperature decrease as the % fat increases.

는 총지방량이 클수록 열에 대한 절연이 좋음을 나타냈다. 즉 최저 직장 온도 빼기 최저 가중 평균 온도의 값이 총지방량이 클수록 커졌으며 둘 사이의 상관 계수는 $r = .600$ 이었으며 제 9 도에 보는 바와 같다.

평균 체온(mean body temperature)하강의 절대치가 총지방량 증가에 따라서 적어진 일($r = -.686$)도 신체의 냉각이 총지방량과 밀접한 관계가 있는 표시이며 제 10 도에 보는 바와 같이 대조값과 2시간 값과의 차이가 총지방량이 많은 사람일수록 적었다.

중심부 체온이 하강하는 일은 산소 섭취량 즉 개체의 열 발생량과 관계를 보였다. 직장 온도 감소치와 산소 섭취량 증가량(%) 사이에 $r = .419$ 라는 상관 관계를 보였으며 제 11 도에 보는 바와 같았다. 중심부 체온 하강의 크기가 자국이 되어 신체내 열 발생이 촉진되었던 것이다.

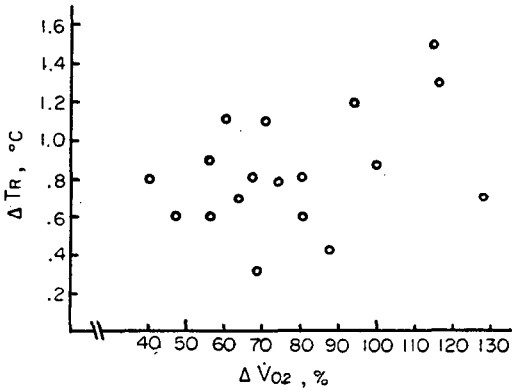


Fig. 11. Relationship between change in rectal temperature and % change in oxygen consumption.

열 부채(heat debt)의 2시간 노출 끝의 값이 총지방량에 대하여 역상관 관계($r = -.587$)를 보였는데, 열 부채 계산 요소 중 중심부 체온의 무게가 0.67 인데 비하여 피부 온도의 무게는 0.33 이므로 위와 같은 역상관 관계가 이해된다.

신체의 열 절연 : 두 시간 끝에 계산한 열 절연도와 총지방량 사이의 상관 관계는 $r = .288$ 이라는 크기의 상관 계수를 보였다. 다른 여러가지 지수와 총지방량 사이의 상관도에 비하면 낮은 것인데 이것은 떨리기가 모든 예에서 일어나서 열 생산의 요인이 많이 가미된 탓이라고 생각된다.

신체 표면적(S)의 신체 용적(V)에 대한 비율(S/V)과 열 손실 : S/V 비율이 클수록 온도 경사를 따라서 열 손실이 더 크게 일어났다. 즉 제 4 표 및 제 5 표에 보는 상관 계수와 같이 S/V와 열 손실의 관계가 단적으로 나타나 있다. 즉 15°C 공기에 2시간 노출된 경우에 S/V

Table 4. Surface area to body volume ratio, S/V, and related change in body temperature

S/V	Minimum T_R , °C	Minimum MWST, °C	Δ MBT, °C	Δ T_R , °C	Heat debt
.282	36.9	26.5	1.86	.4	98
.276	36.5	26.7	1.75	.7	98
.266	37.0	26.2	1.10	.4	61
.291	35.4	27.2	2.26	1.3	92
.290	36.0	27.5	2.71	.9	142
.294	36.4	26.2	2.56	.8	128
.274	36.3	26.0	2.55	1.1	147
.286	36.2	26.3	2.11	.8	118
.289	36.4	26.9	1.72	.6	84
.300	36.4	26.6	3.29	1.0	153
.297	36.4	26.8	2.36	.7	119
.262	36.6	26.8	2.22	.6	137
.311	35.4	26.6	2.88	1.6	130
.281	35.5	27.5	3.60	.9	195
.303	35.6	26.5	2.41	1.2	112
.268	36.8	26.1	2.73	.9	161
.279	35.8	26.7	2.88	1.0	162

Table 5. Correlations

	x	S/V	Regression equation
Minimum T_R , °C		-.582	$y = -22.31x + 42.57$
ΔT_R (Control-Minimum), °C		.618	$y = 14.42x + 3.24$
Minimum T_R -MWST, °C		-.881	$y = -48.2x + 23.4$
Δ MBT, °C		.259	$y = 11.76x - 0.95$
Heat debt		.276	$y = 733.8x - 84.4$

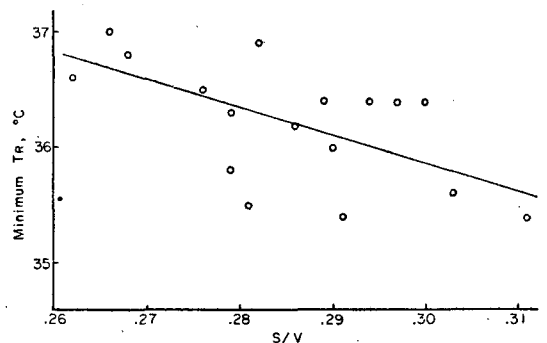


Fig. 12. Relationship between ratio of body surface area to body volume, S/V, and minimum rectal temperature after exposure to cold air at 15°C for 2 hours. Coefficient of correlation was $r = -.582$.

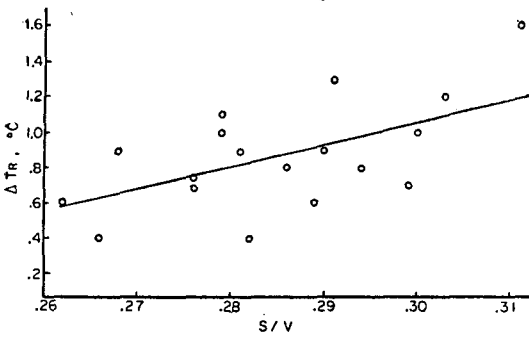


Fig. 13. Relationship between S/V ratio and decrement of rectal temperature. Coefficient of correlation was $r=0.618$.

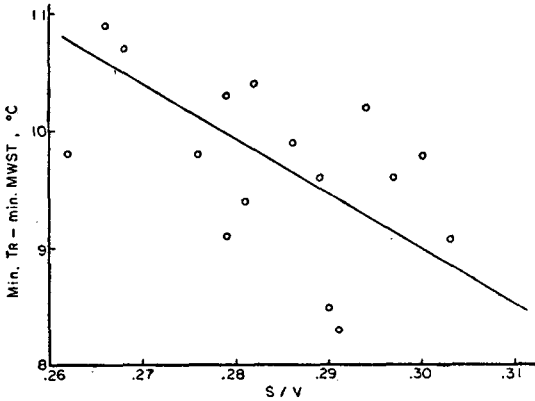


Fig. 14. Relationship between S/V ratio and temperature gradient across skin (minimum rectal temperature minus minimum MWST). Coefficient of correlation was $r=-0.881$.

가 클수록 최저 직장 온도(제 12도)는 낮았으며($r=-0.582$), 직장 온도 하강의 절대치(ΔT_R , 대조값 빼기 최저값)는 $r=0.618$ 의 상관 관계를 보였으며(제 13도), 평균 체온(mean body temperature)의 경우에는 $r=0.259$ 이었고, 열 부채의 경우에는 $r=0.276$ 의 상관 관계를 보이였다. 나아가서는 S/V 비율이 클수록 신체 중심부와 피부 표면 사이의 온도 경사가 적었다. 즉 제 14도는 이 관계를 보이는 것인바, 최저 직장 온도 빼기 최저 가중 평균 피부 온도의 값이 S/V가 클수록 적어졌으며 상관 계수의 크기는 $r=0.881$ 을 보였다. 한편 산소 섭취량 나아가서 열 생산은 S/V와 관계가 없었다. 인체의 말초 피하층에 지방질이 있어서 열 절연체의 구실을 하나, 지방량으로 설명되는 열 손실의 크기보다는 S/V 비율만 가지고 설명할 경우에 오히려 물리적인 열 손실이 잘 설명된다고 하겠다.

고 찰

남자가 나체로 15°C 의 한냉 공기에 노출되었을 경우에 피하지방층 두께로 계산되는 총지방량과 피부 온도 사이에 역상관 관계가 있었으며, 나아가서는 지방층의 열 절연 작용의 표시인 신체 중심부 온도(직장 온도)의 유지, 평균 체온의 유지 등이 관찰되었다. 또한 신체 표면적(S)의 신체 용적(V)에 대한 비율(S/V)이 클수록 열 손실이 크며, S/V와 총지방량은 서로 열 손실과 열 보존에 대하여 반대 방향으로 작용하였다.

한냉 환경에 대한 반응으로 신진대사가 왕성하여짐은 Iampietro 등(1958), Daniels와 Baker (1961), 및 Buskirk 등(1963)이 보고하고, 나아가서는 총지방량과 열 발생량 사이에는 역상관 관계가 있다고 보고하였다. 즉 한냉 환경에 대하여 마른 사람은 뚱뚱한 사람에 비하여 신진대사 증가율이 크다는 것이나 저자들의 실험에서는 이렇게 뚜렷한 성적은 없었다. 이런 실험 성적의 차이에는 두 가지 원인이 있다. 하나는 총지방량 측정의 오차이고 다른 하나는 열 발생 측정의 오차이다. 여기에 저자들은 피부두께 법으로 총지방량을 측정하여 기초로 삼고 있는데, 물속 몸무게 측정의 밀도법에 입각한 피부 두께 법이므로 어느 정도의 오차는 있으리라고 생각된다. 한편 열 발생에 영향할 인자는 대상자의 신체 운동이 있다. 이것은 두 시간 동안이나 계속함에는 마취 없이는 피할 도리가 없는 일이다. 나아가서는 신체 운동은 몸의 떨리기를 도와서 열 발생을 촉진할 것이다(Perkins, 1946). 다만 저자들 실험에서 $\Delta \dot{V}_{O_2}$ 와 ΔT_R 이 $r=0.419$ 라는 상관 관계를 보인 일은 다른 사람일수록 ΔT_R 이 컸으며 이 사람에서 열 발생($\Delta \dot{V}_{O_2}$)이 컸음을 간접적으로 가리킨다고 하겠다.

열 발생과 열 손실의 면에서 생각하면 총지방량 표시는 부적당한지 모르겠다. 왜냐하면 밀도법이건 피부두께 법이건 측정되는 총지방량의 대부분은 내부 지방량(internal fat)이고, 신체 표면에서 열 절연작용을 하는 것은 그중 일부의 피하지방량이기 때문이다.

한냉에 대응하여 열 발생이 증가함은 열 손실을 보상하는 것이기는 하나 손실쪽이 크므로 체온이 감소하였는데, 혈액 순환의 변동을 고려하지 않고 단순히 표면에서 측정된 피부 온도가 몸둥이에서는 재상승(rewarming)을 보이거나 멀리 떨어진 팔다리에서는 재상승이 없었던 일은 열 발생의 주동이 되는 간장같은 기관이 몸둥이에 있으며 팔다리 부위에서는 피하지방층이 적으므로 열 이동이 일방향으로 쉽게 일어난 결과라고 하겠다. 즉 피부 두께 두께가 몸둥이의 가슴이나 등에서 10 mm 전후이나 팔 다리에서는 이것의 1/2 이하의 값에 지나지

않는다. 표면적과 용량의 비율 S/V로 생각하여 보자. 지름이 D인 구(球)의 표면적 πD^2 의 용적 $1/6 \pi D^3$ 에 대한 비율 $S/V=6/D$ 인바, 몸통이의 지름 D가 제일 크고 다음에 넓적다리. 아랫다리, 팔 등의 순서로 작아진다. D가 적다는 것은 그만큼 S/V 비율이 큰 것을 말하는바, 팔다리에서는 S/V가 크므로 이것만으로도 열 손실이 쉽게 일어나는 일이 설명된다. 그러므로 팔다리의 피부 온도는 일반적으로 하강만이 계속되는 일은 S/V 비율이 큰 일과, 피부두께 두께가 작은 일로 설명된다.

부위별로 측정된 피부두께 두께와 최저 피부 온도 사이의 관계에 있어서 몸통이의 가슴과 등에서 고도의 상관 관계가 있으나 그밖의 팔다리에서는 그렇지 않은 것은(제 2 표), 위의 고찰과 같이 피부두께 두께와 S/V 비율의 협동으로 가슴과 등에서는 열 손실이 적게 일어났고 팔다리에서는 크게 일어났으며 상관 계수가 $r=-.5$ 이상인 일은 피하지방층의 국소적 절연 작용이 잘 표현된 것이다.

최저 가중 평균 피부 온도가 총지방량이 많은 사람일수록 낮았는데($r=-.443$), 표면의 15°C 공기에 접촉된 피부로부터 이동하는 열의 공급이 부족함을 나타낸다. 피부 자체의 혈관 분포 나아가서 한냉에 대한 혈관운동의 모양은 팔다리가 몸통이 피부에 비하여 크게 혈관수축을 일으키므로 팔다리의 피부 온도 유지는 혈액에 의한 열운반작용보다도 옅은 피하지방층을 경유하는 부분이 크다. 옅은 피하지방층이지만 열 절연은 상당히 잘 되므로 피부 표면 온도는 낮을 수 밖에 없다. 반면에 몸통이에서는 한냉에 대한 혈관수축이 적게 일므로 표면까지 열 운반이 쉽게 되어 잃어버리는 열을 보충하므로 피부 온도는 높게 유지되나 피하지방층 두께를 무시할 수는 없다. 즉 피부 온도가 피부두께와 $r=-.50$ 이상의 고도의 상관 관계를 보였던 것이다.

총 지방량에 의한 체온의 유지와 S/V 비율에 의한 체온의 하강을 고찰하여 보자. 두 시간 15°C 에 노출하는 동안의 최저 직장 온도가 총지방량과는 정(正) 상관 관계($r=.660$)를 보였는데 반하여 S/V 비율과는 역상관 관계($r=-.582$)를 보여서 서로 반대방향의 관계가 있음이 단적으로 나타나 있다. 그러나 최저 가중 평균 피부 온도는 총지방량과는 역상관 관계($r=-.443$)를 보였으나 S/V 비율과는 관련을 보이지 않은 일은 흥미롭다. 앞서 생각한 것 같이 피부두께 두께가 클수록 중심부로부터 전도에 의하여 표면으로 운반되는 열량이 적으므로 피부 온도가 낮은 일은 설명이 잘 되나, S/V 비율과는 관계가 없었던 일은 몸전체의 S/V 비율 즉 몸전체를 하나의 원통으로 생각하여서는 피부 온도 변동을

설명할 수 없음을 가리킨다. 여기서도 부위별로 가중 평균치를 얻는다면 쉽사리 설명이 가능할지 모르겠다. 이 일은 이 논문의 범위 밖이므로 여기서는 논급할 수 없다. 직장 온도 변화(ΔT_R)가 총지방량과는 역상관 관계($r=-.738$)이고, S/V 비율과는 정상관 관계($r=.618$)인 사실은 위의 생각과 일치하는 일이다. 신체 중심부와 피부 표면 사이의 온도 경사(최저 직장 온도와 최저 가중 평균 피부 온도 사이의 차이)가 총지방량과 정상관 관계($r=.600$)를 보이는 것은 지방층의 절연 작용의 표시이며 S/V 비율과는 역상관 관계($r=-.881$)를 보인 일의 설명은 간단하지 않다. S/V 비율이 클수록 직장 온도가 낮고, ΔT_R 이 크나 가중 평균 피부 온도에는 뚜렷한 영향을 보이지 않았는데 (minimum T_R -min. MWST)의 값과는 역상관 관계를 보였다면 S/V가 클수록 MWST도 커져야만 한다. 다시 말하면 S/V가 클수록 피부 온도의 하강은 적음을 가리킨다. 그러나 S/V 비율로 생각할 수 있는 일은 피부 표면의 온도는 아니고 중심부 온도라고 하겠다.

열 부채나 평균 체온 변동에 대한 총지방량과 S/V 비율의 태도는 앞서의 생각같이 서로 반대합이 잘 나타나 있다.

사람의 신장이 같으나 총지방량이 많은 사람일수록 S/V가 큰 경향을 보이는데(南基鏞, 미발표), 신체 열 손실의 전지에서는 이 두 요소는 서로 반대 작용을 가졌다고 보겠다.

결 론

남자 18명(14~47세)을 대상으로 15°C 의 항온실(恒溫室)에 2시간 나체로 노출하고, 10분마다 10군데 피부 온도와 직장 온도를, 20분마다 산소 섭취량(열 발생)을 측정하였다. 한편 저자들이 발전시킨 피부두께법에 의한 총지방량(% 체중) 및 신체 용적 측정법을 응용한 신체 표면적(S)의 신체 용적(V)에 대한 비율 S/V를 신체로부터의 열 손실에 대한 실험의 기초로 삼았다. 총지방량(% 체중)과 S/V 비율은 신체 열이 바깥 한냉 환경으로 이동함에 있어서 먼저 것은 반비례의 관계를, 뒤의 것은 정비례의 관계로 서로 대립되었다.

피부 부위별 온도는 그 장소의 피부두께 두께와 역상관 관계를 보였으며 가슴에서 $r=-.567$, 등에서 $r=-.507$, 상박에서 $r=-.353$ 이었고 다른 부위에서는 상관도가 낮았다. 나아가서 최저 가중 평균 피부 온도는 총지방량과 역상관 관계($r=-.433$)를 보였으나 S/V 비율과는 이렇다할 관계에 있지 않았다.

한냉 환경에 대하여 산소 섭취량은 증가하였는데 노출 후 30분부터 끝까지 증가의 추세를 보였다. 또한 개

인사이의 차이가 컸다. 총지방량이 적은 사람일수록 직장 온도 하강이 컸는데 이 사람에서 산소 섭취량 증가(%)도 컸다. 즉 마른 사람일수록 산소 섭취량(열 발생)이 컸다.

총지방량(% 체중)과 S/V 비율의 열 손실에 대한 반대 작용은 다음 사실로 표시되었다. 즉 최저 직장 온도는 뚱뚱한 사람일수록 높았고 ($r=.660$), S/V가 큰 사람일수록 낮았으며 ($r=-.582$), 이 결과로 직장 온도의 크기(ΔT_R)는 뚱뚱한 사람에서 적고 ($r=-.738$), S/V가 크면 ΔT 도 컸다 ($r=.618$). 가중 평균 피부 온도에 대한 S/V의 영향은 직접은 없으나 신체 중심부와 피부 표면과의 온도 차이(최저 직장 온도 빼기 최저 가중 평균 피부 온도)는 총지방량과는 정상관 관계($r=.600$)에 있었고, S/V와는 역상관 관계($r=-.881$)에 있었다.

평균 체온 변화분(ΔMBT)과 열 부체는 각각 총지방량과 역상관 관계에 있었으며, S/V와는 정상관 관계에 있었으나 그 상관도는 낮았다.

REFERENCES

- Baker, P.T., and F. Daniels, Jr.: *Relationship between skinfold thickness, and body cooling for two hours at 15°C. J. Appl. Physiol.* 8:409, 1956.
- Buskirk, E.R., R.H. Thompson, and G.D. Whedon: *Metabolic response to cold air in men and women in relation to total body fat content. J. Appl. Physiol.* 18:603, 1963.
- 崔源老: 한인의 체포면적. *항공의학* 4:1, 1956.
- Consolazio, C.F., R.E. Johnson, and L.J. Pecora: *Physiological Measurements of Metabolic Functions in Man. New York, 1963.*
- Daniels, F. Jr., and P.T. Baker: *Relationship between body fat and shivering in air at 15°C. J. Appl. Physiol.* 16:421, 1961.
- Hardy, J.D., and E.R. DuBois: *Regulation of heat loss from the body. Proc. Nat'l. Acad. Sci.* 23:624, 1937.
- Hardy, J.D., and E.F. DuBois: *Differences between man and woman in their response to heat and cold. Proc. Nat'l. Acad. Sci.* 26:389, 1940.
- Hardy, J.D., A.T. Milhorat, and E.F. DuBois: *Basal metabolic rate and heat loss of young women at temperature from 22°C to 35°C. J. Nutrition* 21:383, 1941.
- Hartfield, H.S., L.G.C. Pugh: *Thermal conductivity of tissues. Nature* 168:918, 1951.
- Iampietro, P.F., D.E. Bass, and E.R. Buskirk: *Heat exchanges of nude men in the cold: Effect of humidity, temperature and wind speed. J. Appl. Physiol.* 12:351, 1958.
- Iampietro, P.F., and E.R. Buskirk: *Effects of high and low humidity on heat exchanges of lightly clothed men. J. Appl Physiol.* 15:212, 1960.
- 金鎮久·南基鏞: 남자 중·고등 학생에 있어서 피부두 겹 법에 의한 총지방량 측정. *대한생리학회지* 2:31, 1968.
- 權承洛·南基鏞: 중년 남녀의 최대 산소 섭취량. *대한생리학회지* 2:149, 1968.
- 朴景華: 피부 두겹집기 법에 의한 공군 장병의 총지방량 측정. *항공의학* 11:89, 1963.
- Perkins, J.F.: *Am. J. Physiol.* 145:264, 1946.
- Scholander, P.F.: *Analyzer for accurate estimation of respiratory gases in one-half cubic centimeter samples. J. Biol. Chem.* 167:235, 1947.
- Teichner, W.H.: *Assessment of mean body surface temperature. J. Appl. Physiol.* 12:169, 1958.