高神大學醫學部 論文集 第4卷 第1號
The Journal of Kosin Medical College
Vol.4, No.1, March, 1988

잠수복 착용 피검자에서 침수시 잠수장갑 및 버선 착용에 따른 체온조절기능의 변화

고신대학 의학부 생리학교실 및 잠수과학연구소

최장규, 김정숙, 박양생

Changes in Thermoregulatory Response by wearing Gloves and Boots in Wet-Suited Subjects immersed in Cold Water

Jang Kyu Choi, Jung Sook Kim and Yang Saeng Park

Department of Physiology and Diving Science Institute,
Kosin Medical College, Pusan 602-030, Korea

= Abstract =

In 5 wet-suited subjects, changes in body temperature, heat exchanges and thermal insulations were studied at rest and during exercise in water of 13℃. The subjects wore neoprene gloves and boots in one series and exposed their hands and feet to water in the other series of experiments.

In the subjects resting in water, the gloves and boots did not affect the level of rectal temperature but increased the mean skin temperature slightly, reducing the core-to-skin temperature gradient. However, the total thermal insulation of the subject was reduced significantly and consequently the rate of skin heat loss was increased by wearing gloves and boots. The metabolic response of the subject appeared to be significantly augmented by wearing gloves and boots.

In exercising subjects the level of body temperature and the thermoregulatory variables were not apparently changed by wearing gloves and boots.

These results indicated that in wet-suited subjects resting in cold water, exposure of hands and feet increases peripheral insulation and consequently effectively reduces heat loss to water. Such an effect of peripheral cooling is lost during exercise by hypermia to skeletal muscles in the limbs.

서 론

한냉환경에서 인체의 체온은 체내 열생산량과 체외로의 열 손실량의 차에 의하여 결정되는데 후자가 전자보다 클 경우 체온은 계속 하강한다. 대략 34℃ 이하의 물에 인체가 노출되면 체온이 하강하는데[7,21] 그 하강정도는 수온,[13,16,23,28] 피하지방층의 두께,[6,7,14,18,20,23] 체표면적 대 체중의 비,[22,23,26] 근육량[23,28,29] 및 운동량[8,14,18,24] 등에 의해 좌우된다. 수중작업시 잠수복을 착용하면 심한 체온저하를 방지할 수 있는데,[19,25] 일반적으로 널리 사용되고 있는 잠수복으로는 foamed neoprene wet suits를 들 수 있다. 한국 해녀들 역시 이러한 잠수복을 사용하는데, 흥미롭게도 그들은 동절기에도 잠수작업시 저고리, 바지, 버선, 모자 등은 착용하지만 장갑은 착용하지 않는다.[11] 따라서 이들은 수중작업시 강한 한냉자극을 손을 통해 받게 될 것이다.

손과 발은 표면적 대 체적의 비가 신체의 타 부위보다 크므로 열발산이 가장 쉽게 일어날 수 있는 부위이다. 그러나 찬물에 손과 발이 노출되면 사지의 혈류량이 감소될 뿐만 아니라 counter-current heat exchange 작용이 효율적으로 일어나 체열손실이 감소될 수 있다.[1,2,3,27] 더구나 손과 발의 표면적은 체표면적의 약 12%에 불과하므로[12,14,31] 이를 통해 소실되는 체열량은 그리 크지 않을 것이다. 그러므로 잠수복 착용 잠수사가 손발을 선택적으로 노출함으로써 사지의 순환조절이 효과적으로 변화하게 하면 체열 보존에 오히려 유리하게 될 수도 있다. 최근 Van Someren 등[30]은 29℃ 물에 맨몸으로 침수된 피검자에서 손과 발을 선택적으로 차게 하였을 때 체내 열생산량이 증가하여 심부체온 유지가 더 효율적으로 일어남을 관찰한 바 있다. 또 본 교실에서 시행한 연구결과에 의하면 잠수복을 착용한 피검자들이 17℃ 내외의 찬물에 침수되어 손 혹은 손과 발을 모두 노출하였을 때 총외각 열절연도 증가에 의해 해녀들에서는 직장온도가 오히려 0.3℃ 가량 높게 나타났으며[11] 비잠수종사자인 경우에는 손과 발을 보온하였을 때와 거의 유사하게 직장온도가 유지되었다.[9] 이러한 성적들은 손과 발에 가해지는 한냉자극이 체온조절에 중요한 요인이 됨을 나타내고 있으나 위의 결과들은 피검자들이 shivering을 하지 않는 상태에서 관찰된 것이다. 그러므로 본 연구에서는 shivering이 유발되는 critical water temperature 이하의 찬물에서 잠수복 착용 피검자가 안정하거나 운동할 때 손발의 노출이 체온조절기능에 어떤 영향을 미치는지를 조사하였다.

실험방법

피검자로 최근 한달동안 찬물에 노출된 경험이 없는 5명의 건강한 청년을 선정하였는데 그들의 신체적 특성은 Table 1에 나타난 바와 같다. 각 피검자는 잠수복을 착용하고 13℃로 조절된 항온수조 내에 두부를 제외한 전신을 침수한 채 두시간 동안 안정하거나 수조내에 장치된 bicycle ergometer를 이용하여 일정한 강도로 운동하였다.

침수 중 피검자의 직장온도(T_{re}, ℃), 피부온도(T_{sk}, ℃) 및 산소소모량($\dot{V}_{O2}$, $l/m^2 \cdot h$, STPD)을 10분 및 30분 간격으로 측정하였다. 직장 및 피부온도는 copper-constantan thermocouple을 이용한 digital thermometer (Bailey Instrument Inc, Model BAT 8) 또는 Data Logger(NEC San-ei Instruments, LTd, 7VO6)로 측정하였는데, 피부온도는 8부위, 즉 가슴(Tc, left sternal border), 등(Tb, scapular 밑), 상완부(Tua, triceps muscle 위), 전완부(Tla, flexor capri radialis 위), 대퇴부(Tul, quadriceps femoris 위), 하퇴부(Tll, tibialis anterior 위), 손등(Th) 및 발등(Tf)에서 각기 측정하였다. 산소소모량 측정은 Open Circuit법으로 시행되었는데, Douglas

Table 1. Physical Characteristics of the Subjects

	Age (yr)	Ht (cm)	BW (kg)	BSA (m^2)	SFT (mm)*
Lee KM	23	173.5	63.6	1.754	3.175
Leem YS	25	172.2	64.1	1.759	0.955
Yoon YM	23	173.0	68.3	1.813	5.128
Song YC	23	161.0	64.8	1.683	5.783
Kim YK	31	176.5	60.6	1.749	1.947
Mean	25	171.2	64.3	1.752	3.398
S.E.	1.5	2.7	1.2	0.021	0.917

*SFT : mean subcutaneous fat thickness

bag에 호기를 채취한 후 Dry Gasmeter로 그 양을 측정하고 Acid-Base Analyzer(Radiometer, Copenhagen, Model ABL30)로 호기내의 P_{O_2}를 측정하여 산소소모량을 산출하였다.

이상의 측정으로부터 다음과 같이 평균피부온도($\bar{T}_{sk}$), 평균체온(T_b), 대사량($\dot{M}$, kcal/m^2·h), 피부를 통한 열손실량($\dot{H}_{sk}$, kcal/m^2·h), 체조직의 열절연도(I_{body}, ℃/[kcal/m^2·h]) 및 총 외각절연도(I_{total}, ℃/[kcal/m^2·h])를 각기 산출하였다.[9]

$$\bar{T}_{sk}=0.15\ T_c+0.15\ T_b+0.15\ T_{ua}+0.10\ T_{la}+0.05\ T_h+0.2\ T_{ul}+0.13\ T_{ll}+0.07\ T_f$$

$$T_b=0.6\ T_{re}+0.4\ \bar{T}_{sk}$$

$$\dot{M}=4.83\times\dot{V}_{O2}$$

$$\dot{H}_{sk}=0.92\ \dot{M}\pm\Delta S\quad(\Delta S=\Delta T_b\times 0.83\times BW/BSA)$$

$$I_{body}=(T_{re}-\bar{T}_{sk})/\dot{H}_{sk}$$

$$I_{total}=(T_{re}-T_w)/\dot{H}_{sk}$$

피검자가 착용한 잠수복은 5mm 두께의 foamed neoprene 저고리(jacket)와 바지(pants)였으며, 각 피검자에서 잠수복만 착용했을 때(No Gloves and Boots)와 장갑 및 버선(5mm Neoprene Gloves and Boots)을 모두 착용했을 때(Full Wet Suits)의 체온조절기능을 비교하였다. 침수 중 잠수복 사이로의 대류성 열손실[33]을 최소화하기 위하여 피검자들은 허리에 벨트를 찼으며, 장갑 및 버선을 착용하지 않을 때는 잠수복 위로 손목과 발목을 고무줄로 묶었다.

결 과

Fig. 1은 5명의 잠수복 착용 피검자가 13℃ 물속에서 안정하거나(Fig. 1-A) 운동할 때(그림 1-B 및 C) 측정된 직장온도(T_{re}), 평균피부온도($\bar{T}_{sk}$) 및 대사율($\dot{M}$)의 평균치를 침수시간에 따라 표시한 것인데, 실선은 장갑과 버선을 착용한 경우(Full Wet Suits)이고 점선은 장갑과 버선을 착용하지 않은 경우(No Gloves and Boots)를 나타낸다.

수중 안정시 T_{re}는 장갑과 버선을 착용할 때나 착용치 않을 때나 모두 두시간 후에는 36.1~36.3℃까지 하강하였으며 최종 T_{re} 및 T_{re} 하강율(0.37~0.39℃/h)은 양자간에 차이가 없었다. $\bar{T}_{sk}$는 침수 초기에 4~5℃ 가량 급격히 하강하다가 그 이후에는 서서히 감소하였다. 침수 종반의 $\bar{T}_{sk}$는 장갑 및 버선 착용시(26.6±0.3(SE)℃)가 비착용시(25.6±0.3℃)보다 유의하게 높았다($p<0.05$). $\dot{M}$는 장갑과 버선의 착용여부에 관계없이 침수 전보다 유의하게 증가하여 shivering이 일어남을 보여주었다. 두시간 침수 후의 $\dot{M}$(장갑 및 버선착용시 76±5kcal/m^2·h : 비착용시 69±5)는 침수 전에 비해 장갑 및 버선 착용시에는 약 78%, 그리고 비착용시에는 약 54% 정도 높

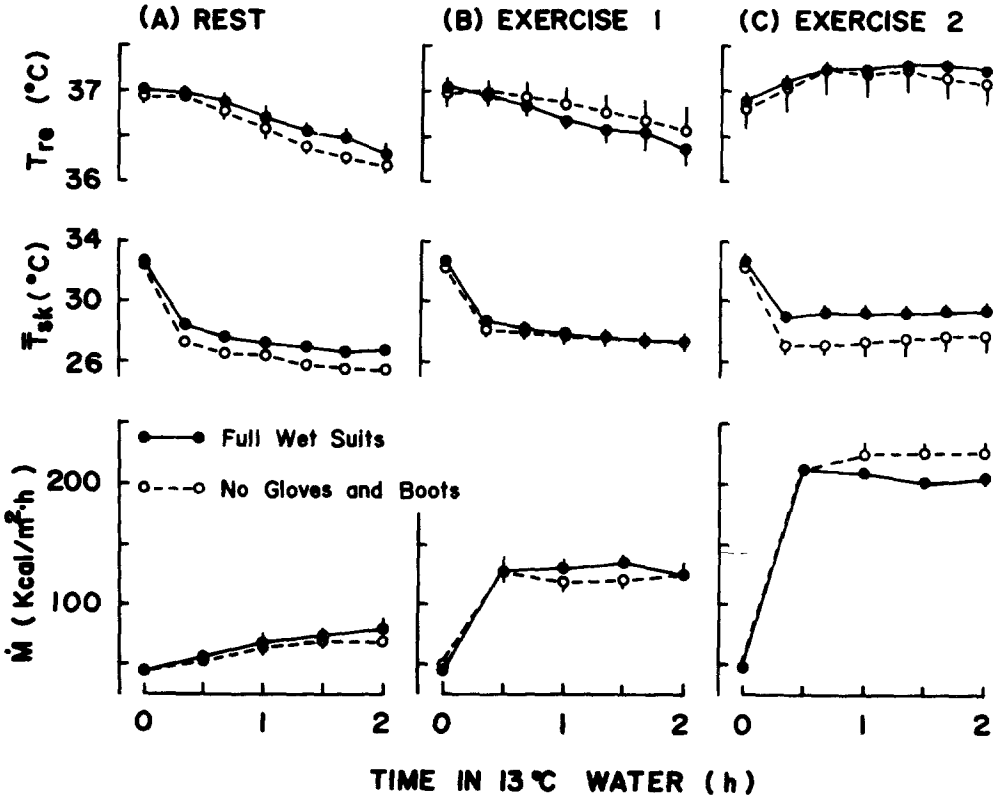

Fig. 1. Time course of rectal temperature, T_{re} (top), mean skin temperature, $\bar{T}_{SK}$ (middle), and metabolism, $\dot{M}$ (bottom), in wet-suited subjects during 2-hr immersion in 13°C water. Solid line represent data with gloves and boots; Dashed line without gloves and boots. Each point and vertical bar represents the mean±SE of 5 subjects.

았으므로 shivering의 정도는 장갑과 버선 착용으로 오히려 감소되었다고 하겠다.

경한 운동($\dot{M}$=122~130kcal/m²·h)시에도 T_{re} 및 $\bar{T}_{sk}$는 수중안정시와 유사하게 감소했으나 그 감소정도는 안정시에 비해 다소 작았으며, 장갑과 버선 착용여부에 따라 크게 달라지지 않았다.

한편 대사율 200kcal/m²·h 이상의 강한 운동을 할 때는 T_{re}가 상승하여 침수 1시간 후에는 침수 전에 비해 0.3℃ 가량 높아졌고 그 이후에는 그대로 유지되었다. 그러나 $\bar{T}_{sk}$는 안정시나 경한 운동시와 마찬가지로 침수초기에는 급속히 하강하였지만 20분 후에는 더 하강하지 않았으며, 장갑과 버선 착용시가 비착용시보다 1.7℃ 가량 높게 유지되었다.

Fig. 2는 각 피검자에서 두시간 침수 중에 발생한 직장온도의 변화(ΔT_{re}=final T_{re}−initial T_{re})를 운동강도(대사율, $\dot{M}$으로 표시했음)에 대한 함수로 나타낸 것인데, ΔT_{re}가 (+)면 직장온도의 상승을, (−)면 하강을 의미한다. 전체적으로 볼 때 직장온도는 운동강도가 약 180kcal/m²·h 이상일 때는 상승하고 그 이하일 때는 하강하였는데 그 하강정도는 운동강도가 낮을수록 컸다. 장갑 및 버선 착용시에나 비착용시에나 T_{re}와 운동강도 사이에는 직선적인 상관성을 보였는데(장갑 및 버

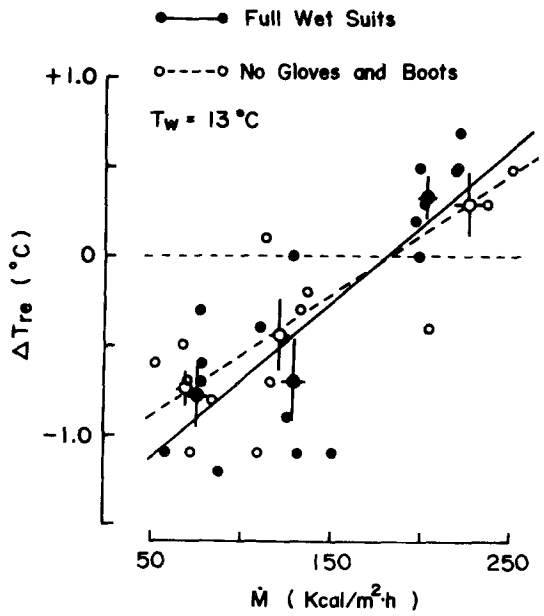

Fig. 2. Correlation between change of rectal temperature (ΔTre=final T_{re}-initial T_{re}) and exercise intensity in 5 wet-suited subjects with (Solid symbols and line) and without (open symbols and dashed line) wearing gloves and boots in 13°C water. The exercise intensity was expressed as metabolic rate. Symbol + represent mean±SE at rest, exercise I and exercise II.

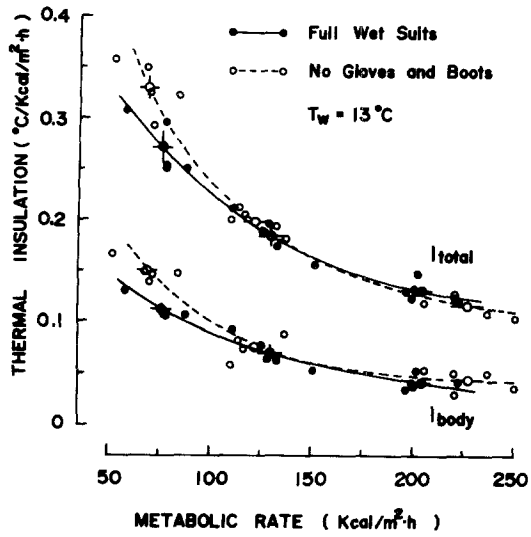

Fig. 3. Overall and body insulation (I_{total} and I_{body}) at rest, exercise I and exercise II, is plotted for all 5 wet-suited subjects with and without wearing gloves and boots in 13°C water as a function of exercise intensity. Symbols and lines as in Fig. 2.

선 착용시 : ΔT_{re}=0.0086 $\dot{M}$−1.55, r=0.75, p<0.05, 비착용시 : ΔT_{re}=0.0068 $\dot{M}$−1.24, r=0.82, p<0.05), covariance analysis 결과 그 상관성은 양자간에 차가 없음을 알 수 있었다.

Fig. 3은 각 피검자의 조직절연도(I_{body})와 총외각절연도(I_{total})를 운동강도에 대한 함수로 나타낸 것인데, 양자 모두 운동강도가 증가함에 따라 지수함수적으로 감소하였다. 안정시 I_{body}와 I_{total}이 장갑 및 버선의 착용에 의해 약 20% 감소되었으나(p<0.05) 운동시에는 양자간에 열절연도의 차이는 없는 것으로 나타났다.

Table 2는 두시간 침수중 최종 30분 동안의 평균 T_{re}, $\bar{T}_{sk}$, $\dot{M}$ 및 이로부터 산출된 피부를 통한 열손실율(H_{sk})과 열절연도(I_{total} 및 I_{body})를 보여준다. 수중안정시 장갑과 버선을 착용할 때가 착용치 않을 때에 비하여 T_{re}는 차가 없지만 $\bar{T}_{sk}$는 1℃ 정도 높았다. 그러므로 체심부로부터 체표로 열이동을 일으키는 원동력(즉 T_{re}-$\bar{T}_{sk}$)은 장갑 및 버선 착용시가 비착용시 보다 작았는데, 그럼에도 불구하고 $\dot{H}_{sk}$는 오히려 전자(87.9±3.9kcal/m²·h)가 후자(71.4±2.4kcal/m²·h) 보다 23% 정도 컸다. 이러한 결과는 장갑과 버선 착용으로 외각절연도가 오히려 감소되었음을 의미하는데, 실제로 총외각절연도(I_{total})와 조직절연도(I_{body}) 값이 모두 장갑과 버선 착용시(I_{total}=0.272±0.012℃/[kcal/m²·h] ; I_{body}=0.112±0.004)가 비착용시(I_{total}=0.330±0.014 ; I_{body}=0.150±0.004)에 비해 의의있게 낮게 나타났다. 한편 운동시에는 T_{re}, $\bar{T}_{sk}$, $\dot{H}_{sk}$, I_{total}, I_{body} 중 어느 것도 장갑과 버선 착용시와 비

Table 2. Body Temperatures, Metabolic Rate, Skin Heat Loss and Thermal Insulations During 90-120 min Immersion in Water of 13°C

	Gloves & Boots	Rest	Exercise I	Exercise II
T_{re}	with	36.40±0.13	36.44±0.18	37.28±0.06
(℃)	without	36.25±0.05	36.65±0.25	37.14±0.21
$\bar{T}_{sk}$	with	26.6±0.3	27.4±0.5	29.4±0.5
(℃)	without	25.6±0.3*	27.4±0.5	27.7±1.1
$\dot{M}$	with	76.0±4.9	129.8±6.4	204.2±4.7
(kcal/㎡·h)	without	69.2±5.1*	122.2±5.3	227.1±7.9*
$\dot{H}_{sk}$	with	87.9±3.9	130.9±6.2	188.3±6.3
(kcal/㎡·h)	without	71.4±2.4*	119.9±3.8	207.4±6.7
I_{total}	with	0.272±0.012	0.185±0.010	0.131±0.005
(℃/kcal/㎡·h)	without	0.330±0.014*	0.199±0.005	0.117±0.004
I_{body}	with	0.112±0.004	0.071±0.007	0.042±0.003
(℃/kcal/㎡·h)	without	0.150±0.004*	0.076±0.004	0.045±0.005

Data represents the mean ± SE of 5 wet-suited subjects.

* Significantly different ($p<0.05$ in paired t-test) from the value with gloves and boots on.

Table 3. Local Skin Temperatures of Wet-Suited Subjects during the Final 30 min of 2 hr Immersion in 13°C water

Skin site	Gloves & Boots	Rest	Exercise I	Exercise II
Chest	with	31.06±1.07	30.15±1.00	31.62±1.25
	without	29.97±1.22	31.55±1.07	30.56±2.18
Back	with	31.46±0.37	30.09±0.74	31.10±1.16
	without	31.54±0.26	31.49±0.82	30.24±1.65
Upper Arm	with	23.35±0.67	24.73±0.92	26.42±0.43
	without	23.62±0.29	26.21±0.41	28.08±1.76
Thigh	with	28.03±0.46	29.91±0.45	31.76±0.53
	without	27.16±0.37	29.99±0.36	31.61±0.56
Forearm	with	26.58±0.86	27.01±0.38	29.40±0.56
	without	25.01±0.74*	27.63±0.46	28.95±0.75
Calf	with	25.79±0.69	28.96±0.77	31.54±0.31
	without	25.44±0.65	28.31±1.31	26.56±1.93*
Hand	with	18.53±0.82	17.90±1.03	18.86±1.86
	without	13.30±0.07*	13.39±0.04*	13.92±0.36*
Foot	with	17.39±0.39	18.45±1.07	24.18±1.23
	without	13.06±0.10*	13.39±0.15*	14.13±0.36*

Values represent mean ± SE of 5 subjects. The average metabolic rate was 73 kcal/㎡·h at rest, 126 kcal/㎡·h during exercise level 1 and 216 kcal/㎡·h during exercise level 2.

* Significantly different ($p<0.05$ in paired t-test) from the value with gloves and boots on.

착용시간에 의의있는 차가 없었다.

Table 3은 침수 후반부(90~120분)에 신체 각 부위에서 측정된 피부온도 값을 요약한 것이다. 수중안정시 장갑과 버선을 착용했을 때는 착용치 않았을 때에 비해 손과 발 뿐만 아니라 전완부에서도 피부온도가 높게 유지되었으며, 그외 부위(가슴, 등, 대퇴부, 하퇴부 및 상완부)에서는 양자간에 차가 없었다. 운동시에도 역시 손과 발의 온도는 장갑과 버선 착용으로 상대적으로 높게 유지되었으나 기타 부위에서는 그렇지 않았다.

고 찰

잠수장갑과 버선의 착용은 손과 발의 외각 절연도를 증가시켜 손발 표면으로부터의 열손실을 감소시킬 것으로 예상되어진다. 그럼에도 불구하고 본 연구에서는 장갑과 버선착용이 침수 중 피검자들의 체열보존에 아무런 도움이 되지 않는 것으로 나타났다. 피검자들의 직장온도는 장갑과 버선착용 여부에 관계없이 동일하게 변했으며(Fig. 1,2 및 Table 2), 피부를 통한 열손실은 특히 수중 안정시의 경우 장갑과 버선착용으로 오히려 크게 나타났다(Table 2). 이러한 결과는 일견 모순된 것 같지만 한냉자극에 대한 인체의 생리학적 반응의 특성을 고려할 때 가능한 현상이라고 사료된다.

인체가 한냉환경에 노출되면 말초혈관을 수축하여 체절연도를 증가시키므로서 체표를 통한 열손실을 감소시키는데, 이러한 혈관수축은 체간보다 사지에서 강하게 일어난다.[30,32] 사지의 혈관수축은 한냉자극이 강할수록 심할것이므로 장갑과 버선착용시 보다 비착용시에 손과 발의 혈류량이 더 심하게 감소되었으리라 추측된다. 본 실험에서 체조직의 평균절연도(I_{body})가 장갑 및 버선 착용시보다 비착용시에 34% 정도 높은 점은(Table 2) 후자의 경우에 말초혈관 수축이 더 강하게 일어났음을 강력히 시사한다. 수족과 같은 말초조직의 혈류량은 피부온도가 낮을 때 심하게 감소되는데, 이는 혈관수축성교감신경의 항진 뿐만 아니라 온도저하에 따른 혈액의 점성도 증가 및 저온에 의한 말초혈관의 직접적인 수축에 의해 나타난다.[4,21] 그러므로 장갑과 버선착용은 국소의 외각절연도를 증가시키지만 그로 인해 손과 발의 피부온도가 비교적 높게 유지됨에 따라(Table 3) 혈관수축이 불완전하게 일어나고 그 결과 조직절연도가 감소되어 전체 절연도가 오히려 작아지는 것으로 사료된다. 이와 유사한 결론을 critical water temperature에 잠수복 착용 피검자를 노출한 연구[10]에서도 내린 바 있는데, 상기 연구에서 heat flux disc를 이용하여 손을 통한 열손실율을 직접 측정한 바, 장갑착용시 보다 비착용시에 월등히 낮았으며, 손의 국소절연도 역시 장갑착용으로 현저히 감소되는 것으로 나타났다.

수중안정시와는 달리 수중운동시에는 피검자들의 열절연도가 장갑과 버선착용으로 달라지지 않았다(Table 2 및 Fig. 3). 이는 아마도 사지의 운동근에 대한 혈액순환 증가가 한냉자극에 의한 사지혈관의 수축효과를 상쇄하기 때문이 아닌가 추측된다.

본 실험에서 관찰한 흥미있는 사실은 수중안정시 장갑과 버선을 착용치 않을 경우 착용시에 비해 shivering이 둔화되는 점이다(Table 2). Shivering은 심부온도와 피부온도에 의해 모두 영향을 받는다.[4,15] 일반적으로 심부온도가 "set point" 이하로 낮아지면 shivering이 일어나는데 피부온도가 낮을수록 더 강한 shivering이 일어난다.[4] 본 연구에서 피검자들의 심부온도(직장온도)는 장갑과 버선 착용시와 비착용시간에 차가 없었고 평균 피부온도는 후자의 경우(25.6±0.3℃)에 전자(26.6±0.3℃) 보다 1℃ 정도 낮았다(Table 2). 그럼에도 불구하고 후자에서 shivering이 더 약하게 일어난데 대한 기전은 현재로서는 명확히 이해되지 않고 있다. 그러나 이것이 혹시 한냉자극에 대한 손과 발의 냉각수용기의 반응 특성을 반영하는 것이 아닌가 의심된다. Hen-

sel[16,17]에 의하면 손에 분포된 냉각수용기의 활동전위 발생 빈도는 정적인 반응(static response)인 경우 피부온도가 20℃까지 내려갈 때까지는 점차 증가하지만 그 이하가 되면 감소된다고 한다. 본 연구에서 피검자들의 피부온도는 손과 발에서 20℃ 이하로 유지되었으며 장갑과 버선을 착용하지 않을 때가 착용시에 비해 월등히 낮았다(Table 3). 그러므로 만일 손과 발에 분포된 냉각수용기의 활동이 shivering 유발에 영향을 미쳤다면 그 영향은 장갑과 버선 착용시가 비착용시보다 더 강했을 것이다. 손과 발의 노출시 shivering의 둔화는 그 기전 여하에 불문하고 체조직의 절연도(I_{body})를 상대적으로 높게 유지시키는 한가지 요인이 되었을 것이다.

결 론

잠수복착용 피검자가 13℃ 물 속에 침수되어 휴식하거나 운동할 때 잠수장갑과 버선착용 여부에 따라 체온조절 기능이 어떻게 달라지는지를 연구하여 다음과 같은 결과를 얻었다.

1. 수중안정시 피검자들의 평균피부온도는 장갑과 버선 착용시 보다 비착용시에 다소 낮게 유지되었으나 직장온도는 양자간에 차가 없었다. 따라서 손과 발의 노출에 의해 체심부와 피부 사이의 온도차는 커졌음에도 불구하고 체절연도의 증가로 인해 체열손실율은 오히려 감소되었다.
2. 수중운동시 체열교환상태도 장갑과 버선 착용 여부에 의해 달라지지 않았다.

이러한 결과는 잠수복 착용 후 찬물 속에서 안정하고 있을 때 손발과 같은 사지말단부의 선택적 냉각은 체절연도를 증가시켜 효율적으로 체열손실을 감소시킬 수 있지만 이러한 효과는 운동시 말초근육조직으로의 혈액순환량이 증가할 때는 나타나지 않음을 시사한다.

REFERENCES

1. Allwood MJ, Burry HS : The effect of local temperature on blood flow in the human foot. J Physiol, 124 : 345, 1954
2. Barcroft H, Edholm OG : The effect of temperature on blood flow and deep temperature in the human forearm. J Physiol, 102 : 5, 1943
3. Bazett HC, Love L, Newton M, Eisenberg L, Day R, Forster R : Temperature changes in blood flowing in arteries and veins in man. J Appl Physiol, 1 : 3, 1948
4. Benzinger TH : Heat regulation : Homeostasis of central temperature in man. Physiol Rev, 49 : 671, 1969
5. Burton AC, Edholm OG : Man in Cold Environment. New York and London, Hafner Pub., 1969
6. Cannon P, Keatinge WR : The metabolic rate and heat loss of fat and thin men in heat balance in cold and warm water. J Physiol, 154 : 329, 1960
7. Carlson LD, Hsieh ACL, Fullington F, Elsner RW : Immersion in cold water and body tissue insulation. J Aviat Med, 29 : 145, 1958
8. Craig AB Jr, Dvorak M : Thermal regulation of man exercising during water immersion. J Appl Physiol, 25 : 28, 1968
9. Choi JK, Hong SW, Park YS : Thermal balance of wet-suited subjects during exercise in cold water with special reference to the effect of wearing gloves and boots. J Kosin Med College, 2 : 73, 1986 (In Korean)
10. Choi JK, Park YS, Park YH, Kim JS, Yeon DS, Kang DH, Rennie DW, Hong SK : The effect of wearing gloves on the thermal balance of Korean women wet

suit divers in cold water. Undersea Biomed Res, 15, 155, 1988(In press)
11. Choi JK, Yeon DS, Park YS : The effect of wearing glves on the thermal balance of Korean women wet suit divers in cold water. J Kosin Med College, 1 : 11, 1985 (In Korean)
12. DuBois D, DuBios EF : Clinical calorimetry : A formula to estimate the approximate surface area if height and weight be known. Arch Intern Med, 17, 863, 1916
13. Hayward JS, Eckerson JD, Collis ML : Thermal balance and survival time prediction of man in cold water. Can J Physiol Pharmal, 53 : 21, 1975
14. Hayward MG, Keatinge WR : Roles of subcutaneous fat and thermoregulatory reflexes in determining ability to stabilize body temperature in water. J Physiol, 320 : 229, 1981
15. Hemingway A : Shivering. Physiol Rev, 43 : 397, 1963
16. Hensel H : Thermoreception and Temperature Regulation, London, Academic Press, 1981
17. Hensel H, Boman KK : Afferent impulses in cutaneous sensory nerves in human subjects. J Neurophysiol, 23 : 564, 1960
18. Holmer I, Bergh U : Metabolic and thermal responses to swimming in water at varying temperatures. J Appl Physiol, 37 : 702, 1974
19. Kang DH, Park YS, Park YD, Lee IS, Yeon DS, Lee SH, Hong SY, Rennie DW, Hong SK : Energetics of wet-suit diving in Korean women breath-hold divers. J Appl Physiol, 54, 1702, 1983
20. Keatinge WR : The effects of subcutaneous fat and previous exposure to cold on the body temperature, peripheral blood flow and metabolic rate of men in cold water. J Physiol, 153 : 66, 1960
21. Keatinge WR : Survival in Cold Water, Oxford, UK : Blackwell, 1969
22. Kollias J. Barlett L, Bergsteinova V, Skinner JS, Buskirk ER, Nicholas WC : Metabolic and thermal responses of women during cooling in water. J Appl Physiol, 36 : 577, 1974
23. McArdle WD, Magel JR, Gergley TJ, Spina RJ, Toner MM : Thermal adjustment to cold-water exposure in resting men and women. J Appl Physiol, 56 : 1565, 1984
24. McArdle WD, Magel JR, Spina RJ, Gergley TJ, Toner MM : Thermal adjustment to cold-water exposure in exercising men and women. J Appl Physiol, 56 : 1572, 1984
25. Shiraki K, Sagawa S, Konda N, Park YS, Komatsu T, Hong SK : Energetics of wet-suit diving in Japanese male breath-hold divers. J Appl Physiol, 61 : 1475, 1986
26. Sloan REG, Keatinge WR : Cooling rates of young people swimming in cold water. J Appl Physiol, 35 : 371, 1973
27. Spealman CR : Effect of ambient air temperature and of hand temperature on blood flow in hands. Am J Physiol, 145 : 218, 1945
28. Strong LH, Gee GK, Goldman RF : Metabolic and vasomotor insulative responses occuring on immersion in cold water. J Appl Physiol, 58 : 964, 1985
29. Toner MM, Sawka MN, Foley ME, Pandolf KB : Effects of body mass and morphology on thermal responses in water. J Appl Physiol, 60 : 521, 1986

30. Van Someren RNM. Coleshaw SRK, Mincer PJ, Keatinge WR : Restoration of thermoregulatory response to body cooling by cooling hands and feet. J Appl Physiol, 53 : 1228, 1982
31. Wade CE, Dacanay S, Smith RM : Regional heat loss in resting man during immersion in 25.2℃ water. Aviat Space Environ Med, 50 : 590, 1979
32. Webb P : Thermal stress in undersea activity. Underwater Physiology, Vol II, 1976, pp 705~724
33. Wolff AH, Coleshaw SRK, Newstead CG, Keatinge WR : Heat exchanges in wet suits. J Appl Physiol, 58 : 770, 1985