

寒冷下運動負荷時の体温調節反応と寒冷血管反応に 及ぼす体力水準の差異

長崎大学 菅原正志
(共同研究者) 同 田井村 明 博
同 大 渡 伸
同 上 平 憲

Effect of Aerobic Power on Thermoregulation and Cold-induced Vasodilation during Exercise in a Cold Environment

by

Masashi Sugawara

Department of Exercise Physiology, Faculty of Education, Nagasaki University

Akihiro Taimura

Natural Environmental Conservation, Faculty of Environmental Studies, Nagasaki University

Nobu Ohwatari

Institute of Tropical Medicine, Nagasaki University

Shimeru Kamihira

Department of Laboratory Medicine, School of Medicine, Nagasaki University

ABSTRACT

Twenty male athletes were grouped into high (H-G) and low (L-G), based on their maximal oxygen intake, were examined for cold-induced vasodilation (CIVD) and autonomic thermoregulatory response during exercise in cold environment. The subjects sit for 30 minutes and exercised using the ergometer at 70 % of maximum oxygen uptake for 30 minutes in a climatic chamber (mean room temperature; 10 °C, mean relative humidity ; 60 %, mean air stream 0.5m/sec). Their rectal temperature (Tre) skin temperature (forehead,

chest, abdomen, back, upper arm, forearm, thigh, dorsum of manus), metabolic rate and CIVD were measured.

On the H-G group, there was a small decrease in rectal temperature, whereas in L-G, an increase was noted before exercise in a cold. Mean skin temperature ($\bar{T}_{sk}$) decreased in both groups immediately after cold exposure. L-G showed a lower $\bar{T}_{sk}$ during exercise. In both groups, metabolic heat production (M ; W/m^2) increased after cold exposure, and the increase was much larger during exercise. The value of M was always highest in H-G. CIVD indicators, which were: mean skin temperature (MST), temperature first rise (TFR) and resistance index (RI), were significantly higher in H-G than in L-G. Time of temperature rise (TTR) in H-G was also faster. The body fat (BF%) was significantly negatively correlated with $\dot{V}O_{2max}$, T_{re} , $\bar{T}_{sk}$ and M ; thus, it may be inferred that high physical fitness for endurance is less affected by body fat. High tolerance to cold can be explained by increases M and skin vessel constriction.

Endurance training may improve thermal sensibilities and metabolic heat production. The relationship between the peripheral vessel vasomotor reaction and the autonomic thermoregulatory response during exercise in the cold environment become clearer.

要 旨

成人男子運動鍛錬者20名について、平均環境温度10℃、平均相対湿度60%そして平均気流0.5m/secの測定室に、長袖シャツにランニングパンツで自転車エルゴメータ上にて30分間安静の後、運動強度70% $\dot{V}O_{2max}$ で30分間運動負荷した。そして運動鍛錬者の $\dot{V}O_{2max}$ (ml/kg/min) が60ml/kg/min以上を高値群(H-G, n=10)、59ml/kg/min以下を低値群(L-G, n=10)の2群に分け、寒冷に対する末梢血管調節反応(CIVD)と自律性体温調節反応について持久性体力水準別に観察し検討した。

直腸温(T_{re})は、安静中H-Gが緩やかに低下しているのに対し、L-Gでは低下が大きく、運動開始とともにH-Gの上昇は大きかった。平均皮膚温($\bar{T}_{sk}$)は、寒冷暴露とともに両群低下し、運動開始後H-GよりL-Gは低かった。代謝量 M (W/m^2)は、寒冷暴露後両群ともに亢進し、さら

に運動により急上昇したが、終始H-Gの M が大きかった。運動開始より30分間のCIVDテストは、H-Gが平均指皮温(MST)、反応発現温度(TFR)は高く、反応発現時間(TTR)は早く、抗凍傷指数(RI)は高かった。体脂肪率(BF%)と $\dot{V}O_{2max}$, T_{re} , $\bar{T}_{sk}$, M とは、負の相関関係にあり、持久性体力の優れた者は、寒冷暴露下での体脂肪による断熱性は低下するものの、産熱量の増加と皮膚血管収縮の増大が耐寒性を獲得していた。

持久的運動トレーニングは、寒冷下運動に対して体温調節の感受性や熱産生反応の改善が見られ、末梢血管調節反応と自律性体温調節反応との間の関連性がより明らかになった。

緒 言

運動トレーニングと寒冷との間に交叉適応が認められること^{1,2)}や、寒冷下の代謝量、体温調節反応と持久的体力水準との間に関係があること^{3,4,5)}、さらに、体力水準や体脂肪率とも関係があ

ること⁶⁾など、運動が寒冷に対して体温調節系の感受性や熱産生反応の改善が認められる報告は枚挙にいとまがない。一方、管原ら⁷⁾は氷水による寒冷血管反応 (cold-induced vasodilation, CIVD) と持久的体力の一指標である最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_2\text{max}$) について3年間追跡した結果、 $\dot{V}O_2\text{max}$ の伸びと CIVD 諸値の亢進とが密接な関係が認められ、CIVD は遺伝的なものや慢性的寒冷暴露等の要因に加え、さらに運動トレーニングによってその強さが決定されることを認めた。また寒冷下椅座安静状態で $\dot{V}O_2\text{max}$ 水準別に体温調節反応と CIVD について比較検討した結果、hunting 反応により末梢血管抵抗は減少して皮膚血流量が増加し指皮温を上昇・維持させる。そして持久性体力の優れた者は、寒冷暴露下での体脂肪による断熱性は低下するが、熱産生の亢進と皮膚温の維持により耐寒性を獲得していることを明らかにした⁸⁾。本報告では、寒冷暴露下で運動を負荷し、運動鍛錬者の寒冷に対する体温調節の機序を明らかにする目的で、体温調節で重要な部位である末梢血管調節反応と自律性体温調節反応について持久性体力水準別に観察した。

1. 研究方法

1. 1 被験者

被験者は、成人男子運動鍛錬者 20 名である。体格、体脂肪% (BF%) と $\dot{V}O_2\text{max}$ を表 1 に示した。BF% はキャリパーにより、 $\dot{V}O_2\text{max}$ はトレッドミルによる漸増負荷法によって求めた。

表 1 Mean values of physique and maximal oxygen intake in the subject groups with higher group (H-G, n=10) and lower group (L-G, n=10) of the $\dot{V}O_2\text{max}$ level

Subject	Characteristics					
	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	Body Fat (%)	$\dot{V}O_2\text{max}$	
					(l/min)	(ml/kg/min)
H-G	29.8	181.2	70.5 *	12.1 *	4.88 ***	69.2 ***
	± 4.4	± 3.8	± 2.9	± 1.9	± 0.32	± 4.4
L-G	28.9	180.9	73.4	14.0	4.00	54.5
	± 5.1	± 3.3	± 2.1	± 1.7	± 0.18	± 3.6

Values are means ± SD ; *, p<0.05, ***, p<0.001, by t-test between higher group and lower group of the $\dot{V}O_2\text{max}$ level

1. 2 寒冷暴露テスト

観察は、食事後の特異動的作用による代謝への影響を考慮し食後5時間以上経過した後、気温 28℃前後の室内に1時間以上椅座安静で滞在させた。次いで平均環境温度 10℃、平均相対湿度 60%そして平均気流 0.5m/sec の測定室に、長袖シャツにランニングパンツで自転車エルゴメータ上にて30分間安静で経過した時点より、運動強度 70% $\dot{V}O_2\text{max}$ で30分間運動負荷し、その間以下の観察を経時的に実施した。皮膚温および直腸温 (Tre) はサーミスタ温度計で1分間隔で連続記録し、5分間の平均値として求めた。皮膚温の部位は、額・胸・腹・背・上腕・前腕内面・手背・大腿の8点であり、平均皮膚温 ($\bar{T}_{sk}$) は、緒方の方法⁹⁾により面積比率を加重負荷して求めた。代謝量 (M) は呼気ガスを連続分析し求めた。

1. 3 寒冷血管反応テスト

寒冷血管反応 (CIVD) テストは、寒冷暴露後30分間安静を経過した後、運動負荷開始と同時に30分間観察した。CIVD テストはYoshimura 法¹⁰⁾により、利き腕と反対側の中指末節背部にサーミスタ温度計を装着し、防水のために白色ワセリンを塗布した後、浸漬前値、0℃氷水に浸漬中 (30分間) の指皮温を30秒間隔で記録した。CIVD 諸値は、浸漬前指皮温 (temperature before water immersion, TBI)、次に指を浸漬させ降下する指皮温が最低に達し再上昇する時点の反応発現温度 (temperature at first rise, TFR) そして TFR までの反応発現時間 (time of temperature rise, TTR)、浸漬5分から30分までの25分間の平均指皮温 (mean

skin temperature, MST) および浸漬中の最低指皮温と浸漬5分から30分までの間の最高指皮温との差, すなわち反応の大きさ (amplitude of temperature, AT) を求めた. これらの諸値から, 中村法¹¹⁾ による抗凍傷指数 (resistance index, RI) を求めた. すなわち MST, TFR および TTR がいずれも TBI と相関する事から, TBI に対する MST, TFR, TTR の回帰線を5区分し各5点評点法を設定し3項目の合計を RI とした.

以上の観察時刻は, 空腹状態で12時より16時の間に実施した. 得られたすべての数値は, 各項目ごとに平均と標準偏差を算出し, 平均値の差の検定はt検定で行った.

2. 結 果

被験者20名について, $\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min) が60ml/kg/min 以上を高値群 (H-G, n=10), 59ml/kg/min 以下を低値群 (L-G, n=10) の2群に分けた.

表1に年齢, 身長, 体重, BF%, $\dot{V}O_2\text{max}$ を平均値 $\pm$ SDとして示した. 体重 ($p<0.05$), BF% ($p<0.05$), $\dot{V}O_2\text{max}$ ($p<0.001$) に統計的な群間有意差があった.

図1は寒冷暴露中の安静から運動終了時までの T_{re} の推移を示した. 安静中はH-Gが緩やかに低下しているのに対し, L-Gでは15分後より低下が大きくなっている. 運動開始 (寒冷暴露後30分) 後は両群とも上昇し, 運動開始10分以降はH-GがL-Gより有意に高かった ($p<0.05 \sim p<0.01$). 図2は $\bar{T}_{sk}$ の推移を示した. 寒冷暴露後両群とも低下し, 安静20分以降はL-GがH-Gより有意に低かった ($p<0.05 \sim p<0.001$). 図3はM (W/m^2) の推移を示した. 寒冷暴露後両群ともに代謝量は亢進し, H-Gは運動によりL-Gよりも急激に上昇した. 運動開始時より終始H-Gの代謝量が有意に大きかった ($p<0.05 \sim p<0.001$). 図4は運動開始 (寒冷暴露30分後) より30分間のCIVDテストでの指皮温の推移を示した. 氷水中での指皮温は

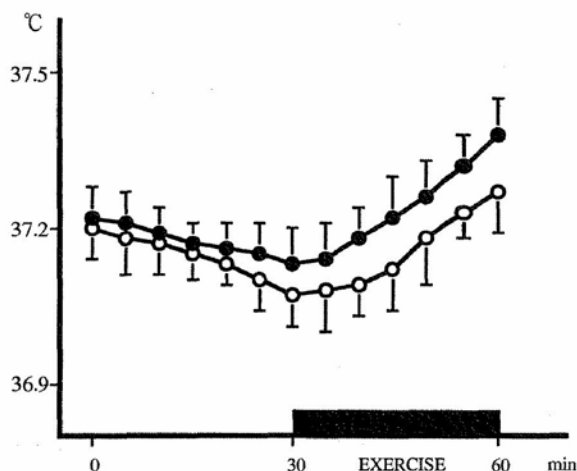


図1 Time courses of rectal temperature (T_{re}) for the higher group (●) and lower group (○) of the $\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min) level during 10 °C cold exposure. Values are mean $\pm$ SD

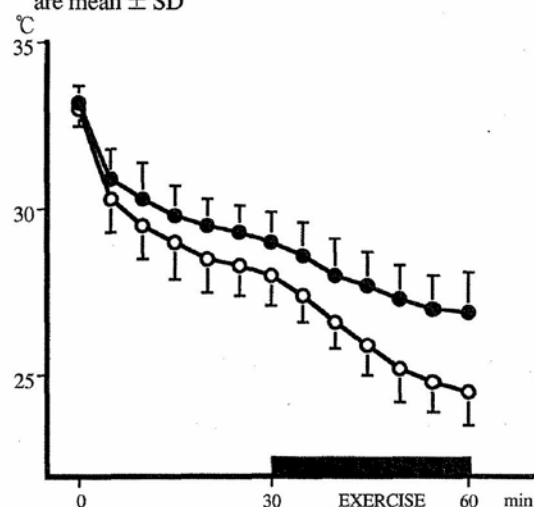


図2 Time courses of mean skin temperature ($\bar{T}_{sk}$) for the higher group (●) and lower group (○) of the $\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min) level during 10 °C cold exposure. Values are mean $\pm$ SD

H-GがL-Gより高く推移している. そして, 図4より求められるCIVD諸値を表2に示した. MSTはH-Gが 8.76 ± 2.01 °C に対しL-Gは 6.24 ± 1.93 °C ($p<0.05$), TFRはH-Gが 6.68 ± 1.89 °C に対しL-Gは 4.50 ± 2.03 °C ($p<0.05$), TTRはH-Gが 13.53 ± 2.04 min に対しL-Gは 15.88 ± 2.25 min ($p<0.05$), RIはH-Gが 11.2 ± 1.4 に対しL-Gは 9.7 ± 1.3 ($p<0.05$) であった.

BF%と運動中 (寒冷暴露後30分から60分) の ΔT_{re} , $\Delta \bar{T}_{sk}$, ΔM との相関係数は, -0.644 ($p<0.01$; ΔT_{re}), -0.716 ($p<0.001$; $\Delta \bar{T}_{sk}$), -0.670 ($p<0.01$; ΔM) であった. また, BF%と

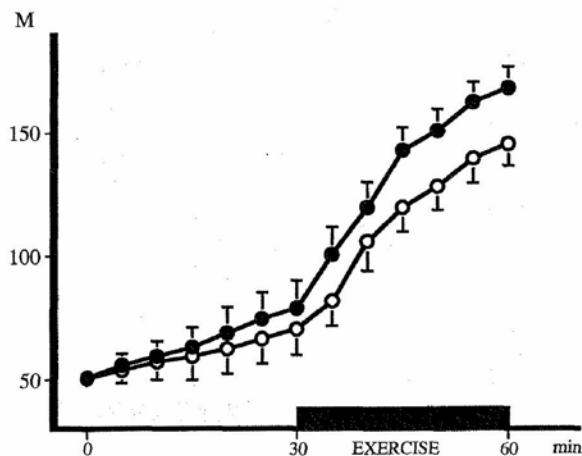


図3 Time courses of metabolic heat production (M) for the higher group (●) and lower group (○) of the $\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min) level during 10 °C cold exposure. Values are mean $\pm$ SD

$\dot{V}O_2\text{max}$ の相関係数は -0.665 ($p < 0.01$) であった。

3. 考 察

菅原ら⁹⁾は先の報告で、12 °C 寒冷下安静で持久性体力が皮膚温の維持と熱産生の亢進に関係し寒冷に対しての自律性体温調節反応を向上させる生理学的調節能は、代謝量すなわち熱産生の増加にあったことを認めた。この事実に対しては、Lange Andersenら¹⁾は、ヒトを長期間にわたり寒冷下で運動トレーニングすることにより、ふるえ熱産生を増加させ耐寒性が亢進したことや、森谷ら⁵⁾も7 °Cの寒冷環境下でふるえの程度と $\dot{V}O_2\text{max}$ 、そして代謝量とが密接に関係していると報告したことからも明らかであった。そのメカニズムとして Strömmeら¹²⁾は、動物実験で運動トレーニング

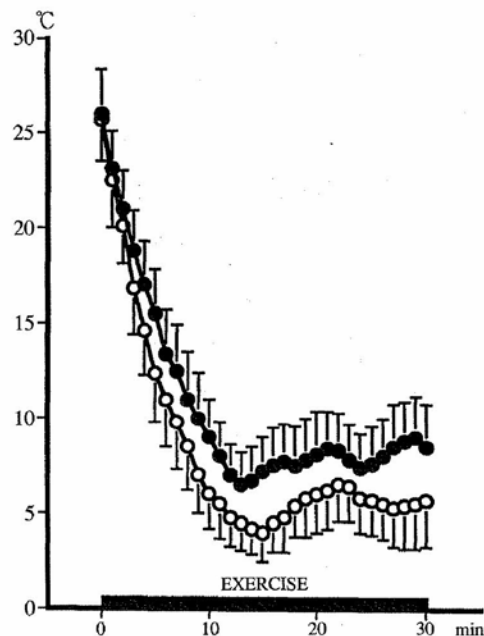


図4 Time courses of cold-induced vasodilation response (CIVD) for the higher group (●) and lower group (○) of the $\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min) level during exercise in 10 °C cold exposure. Values are mean $\pm$ SD

により骨格筋の大きさ、毛細血管分布の増加が認められるので、骨格筋でのふるえ熱産生が起こり代謝性による耐寒性の亢進を獲得できるとし、同様に Chinら¹³⁾は、運動トレーニングによってカテコールアミンの作用が心拍出量の増加、酸素摂取能力の促進、内臓器官への血流量の増加や骨格筋血管収縮作用の抑制となって熱産生の促進に効果があり耐寒性が高まることを認めている。Smolanderら¹⁴⁾は、5 °C 寒冷下で自転車エルゴメータを用い軽度の運動強度で30分間子供と成人について直腸温、皮膚温そして代謝量を観察し成熟度によって反応の差異を認めた。また Falkら¹⁵⁾

表2 Mean values of cold-induced vasodilation responses of the higher group (H - G) and the lower (L - G) group of the $\dot{V}O_2\text{max}$ level in ice water immersion at 10 °C exposure

Subject	Characteristics of CIVD in ice water					
	TBI (°C)	MST (°C)	TFR (°C)	TTR (min)	RI	AT (°C)
H-G (N = 10)	26.02 $\pm$ 2.42	8.76 * $\pm$ 2.01	6.68 * $\pm$ 1.89	13.52 * $\pm$ 2.04	11.2 * $\pm$ 1.4	9.04 $\pm$ 3.98
L-G (N = 10)	25.30 $\pm$ 2.19	6.24 $\pm$ 1.93	4.50 $\pm$ 2.03	15.88 $\pm$ 2.25	9.7 $\pm$ 1.3	8.41 $\pm$ 3.72

TBI : temperature before water immersion. MST : mean skin temperature (values during the first five minutes of water immersion are excluded). TFR : temperature at first rise after water immersion. TTR : time of temperature rise after water immersion.

RI : resistance index. AT : amplitude of temperature reaction.

Values are means $\pm$ SD ; * : $p < 0.05$, by t-test between higher group and lower group of the $\dot{V}O_2\text{max}$ level

は、同じく5℃寒冷下で軽度の運動強度で、若年者、高齢者運動群と高齢者非運動群の3群を比較し、高齢者では運動の経験の有無による差異を認めず、しかも産熱量を高めても直腸温に反映されなかったと報告している。本観察では、若年者の $\dot{V}O_2\text{max}$ 水準から見た運動能力が比較的高い運動鍛錬者で、室温10℃、70% $\dot{V}O_2\text{max}$ と高い運動強度で30分間実施した結果、 $\dot{V}O_2\text{max}$ 水準の高値群(H-G)が、低値群(L-G)より体温調節反応から見た耐寒性が高かった。すなわちMは、 $\dot{V}O_2\text{max}$ 水準に応じて寒冷下安静で増加し、それはTreの減少を低く抑え、そして運動開始と同時に急上昇してTreを高く保つ結果となっている。また $\bar{T}_{sk}$ についても寒冷下安静では低下が著しいが、運動後はその低下が抑えられ、その程度は $\dot{V}O_2\text{max}$ 水準に一致していた。

CIVDは、局所耐寒性の指標となる報告が数多くある¹⁶⁻²⁸⁾。管原ら^{7,8)}は、CIVDについての観察をこれまで次のように報告してきた。運動経験年数が長ければRIが高く、寒冷暴露の機会が多い屋外の運動種目は屋内の運動種目に比べCIVD諸値も高いこと。3年間の観察ではRIと $\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min)に関係があり、CIVD値の亢進と運動能力の向上とは密接な関係が認められたこと。運動能力別に局所性寒冷適応を全身非寒冷暴露(温度中性域)と全身寒冷暴露下で観察したところ、寒冷暴露下にある時でも、CIVD諸値は持久性体力水準の高いH-GがL-Gより亢進したことである。本観察でのCIVDテストは、運動能力の高い者の局所性寒冷適応は獲得され、寒冷暴露下と非寒冷暴露でのCIVD諸値は相対的に不変であり、運動能力別差異のみが存在する状況で、寒冷暴露下の運動によって末梢血管抵抗の運動能力別差異に関する検討である。結果は、これまで報告してきたことと同様で持久性体力水準が高ければ、CIVD諸値を高く維持し、それはhunting反応が出現するまでの温度(TFR)と時間(TTR)に密接

な関係があり、全身が寒冷暴露下にある時でも、手指部の末梢血管抵抗は動静脈吻合の開張により側路血流を増やし指皮温を上昇させる能力は持久性体力水準と関係することが明らかとなった。

一般に皮下脂肪が体温調節反応に断熱として果たす役割は大きいとされ、Kolliasら⁶⁾は、10℃で2時間の寒冷暴露時の体温調節反応が体力水準やBF%と関係があり、BF%が低いと熱産生は増加し、BF%が高いと増加しなかったと報告し、また、森谷ら²⁹⁾は体型を考慮して幅広いBF%を持つ被験者を対象に寒冷暴露を実施し、BF%とMを除いた体温調節反応特性との間に高い負の相関関係を認めている。本被験者のBF%は10.1～16.1%の範囲であり、BF%と運動中(寒冷暴露後30分から60分)の ΔTre 、 $\Delta \bar{T}_{sk}$ 、 ΔM および $\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min)とには有意な負の相関関係が認められた。この結果は管原ら⁸⁾の既報とはほぼ同様の傾向であり、持久性体力の優れた者は、寒冷暴露下での体脂肪による断熱性は低下するものの、産熱量の増加と皮膚血管収縮の増大が寒冷暴露下においてTre、 $\bar{T}_{sk}$ 、Mを高く維持し、耐寒性を獲得しているとしたことがより明確となった。

持久的運動トレーニングに伴い、寒冷下運動に対して体温調節の感受性や熱産生反応の改善が見られ、末梢血管調節反応と自律性体温調節反応との間に有意な関連性がより明らかになった。今後の課題としては、寒冷暴露中の血中ホルモン応答などについても検討していきたい。

4. まとめ

成人男子運動鍛錬者20名について、平均環境温度10℃、平均相対湿度60%そして平均気流0.5m/secの測定室に、長袖シャツにランニングパンツで自転車エルゴメータ上にて30分間安静の後、運動強度70% $\dot{V}O_2\text{max}$ で30分間運動負荷した。そして運動鍛錬者の $\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min)が

60ml/kg/min以上を高値群 (H-G, n=10), 59ml/kg/min以下を低値群 (L-G, n=10) の2群に分け, 寒冷に対する末梢血管調節反応 (CIVD) と自律性体温調節反応について持久性体力水準別に観察し検討した.

直腸温 (T_{re}) は, 安静中H-Gが緩やかに低下しているのに対し, L-Gでは低下が大きく, 運動開始とともにH-Gの上昇は大きかった. 平均皮膚温 (T_{sk}) は, 寒冷暴露とともに両群低下し, 運動開始後H-GよりL-Gは低かった. 代謝量 M (W/m^2) は, 寒冷暴露後両群の代謝量は亢進し, さらに運動により急上昇したが, 終始H-Gの M が大きかった. 運動開始より30分間のCIVDテストは, H-Gが平均指皮温 (MST), 反応発現温度 (TFR) は高く, 反応発現時間 (TTR) は早く, 抗凍傷指数 (RI) は高かった. 体脂肪% (BF%) と $\dot{V}O_2max$, T_{re} , T_{sk} , M とは, 負の相関関係にあり, 持久性体力の優れた者は, 寒冷暴露下での体脂肪による断熱性は低下するものの, 産熱量の増加と皮膚血管収縮の増大が耐寒性を獲得していた.

持久的運動トレーニングは, 寒冷下運動に対して体温調節の感受性や熱産生反応の改善が見られ, 末梢血管調節反応と自律性体温調節反応との間の関連性がより明らかになった.

文 献

- 1) Lange Andersen, K., Eide, R., Hammel, H.T., Hellström, B., Hildes, J.A., Löfstedt, B., Segrem, N., Simon, E., Strömme, S. and Wilson, O.; Metabolic and circulatory aspects of tolerance to cold as affected by physical training, *Fed. Proc.*, **25**, 1351- 1356 (1966)
- 2) Dressendorfer, R.H., Smith, R.M., Baker, D.G. and Hong, S.K.; Cold tolerance of long-distance runners and swimmer in Hawaii, *Int. J. Biometeor.*, **21**, 51-63 (1977)
- 3) Billel, J.H.M.; Heat debt as an index for cold adaptation in men, *J. Appl. Physiol.*, **62**, 1627-1634 (1987)
- 4) Billel, J.H.M., Monotte-Varley, C., Livecchi-Gonnt, G.H., Savourey, G.L.M. and Hanniquet A.M.; Physical fitness and thermoregulatory reaction in a cold environment in men, *J. Appl. Physiol.*, **65**, 1984-1989 (1988)
- 5) 森谷潔, 須田力, 服部正明, 横山真太郎; 寒冷気暴露された青年男子の体温調節反応と最大酸素摂取量の関係, *日生氣誌*, **30**, 77-84 (1993)
- 6) Kollias, J., Boileau, R. and Buskirk, E.R.; Effects of physical conditioning in man on thermal responses to cold air, *Int. J. Biometeorol.*, **16**, 389-402 (1972)
- 7) 菅原正志, 平田文夫; 定期的運動が寒冷血管反応に及ぼす効果, *体力科学*, **42**, 495-501 (1993)
- 8) 菅原正志, 田井村明博; 最大酸素摂取量の違いによる寒冷暴露下での体温調節反応と寒冷血管反応, *体力科学*, **45**, 101-110 (1993)
- 9) 緒方維弘; 日本人の耐寒性とその測定法, 日本人の適応能, 講談社, 東京, 18-31 (1970).
- 10) Yoshimura, H. and Iida, T.; Studies on the reactivity of skin vessels on extreme cold. Part I. A point test on the resistance against frost bite, *Jpn. J. Physiol.*, **1**, 147-159 (1950)
- 11) 中村正, 野原博, 槌本六良, 菅原正志, 菅原和夫; 指の寒冷血管反応の新たな評価法, *日衛誌*, **32** (1) 268 (1977)
- 12) Strömme, S.B. and Hammel, H.T.; Effects of physical training on tolerance to cold in rats, *J. Appl. Physiol.*, **23**, 815-824 (1967)
- 13) Chin, A.K., Seaman, R. and Kapileshwarker, M.; Plasma catecholamine response to exercise and cold adaptation, *J. Appl. Physiol.*, **34**, 409-412 (1973)
- 14) Smolander, J., Bar-Or, O., Korhonen, O. and Ilmarinen, J.; Thermoregulation during rest and exercise in the cold in pre- and early pubescent boys and in young men, *J. Appl. Physiol.*, **72**, 1589-1594 (1992)
- 15) Falk, B., Bar-Or, O., Smolander, J. and Frost, G.; Response to rest and exercise in the cold: effects of age and aerobic fitness, *J. Appl. Physiol.*, **76**, 72-78 (1994)
- 16) Grant, R.T. and Bland, E.F.; Observations on arteriovenous anastomoses in human skin and in bird's foot with special reference to the reaction to cold, *Heart*, **15**, 385-411 (1931)
- 17) Hirai, K., Horvath, S.M. and Weinstein, V.; Differences in the vascular hunting reaction between

- Caucasians and Japanese, *Angiology*, 21, 502-510 (1970)
- 18) 飯田敏行；寒冷血管反応に関する研究（第1報）寒冷血管反応の生理的意義に就いて，日本生理誌，11, 73-78 (1949)
 - 19) Lewis, T. ; Observations upon the reactions of the vessels of the human skin to cold, *Heart*, 15, 177-208 (1930)
 - 20) LeBlanc, J., Hildes, J.A. and Hroux, O. ; Tolerance of Gaspé fisherman to cold water, *J. Appl. Physiol.*, 15, 1031-1034 (1960)
 - 21) Livingstone, S.D. ; Change in cold-induced vasodilation during Arctic exercises, *J. Appl. Physiol.*, 40, 455-457 (1976)
 - 22) 中村正，渡辺孟，菅原和夫，槌本六良，桑野紘一，山口洋一，深堀英彦；寒冷血管反応による局所耐寒性の評価法の新しい試み，長崎医学誌，47, 180-187 (1972)
 - 23) 菅原正志，中村正，平田文夫，野口正憲；身体運動が寒冷血管反応成績に及ぼす影響，体力科学，31, 163-171 (1982)
 - 24) 菅原正志，中村正；運動鍛錬と寒冷血管反応，体力科学，32, 1-7 (1983)
 - 25) Tanaka, M. ; Experimental studies on human reaction to cold, Differences in the vascular hunting reaction to cold according to sex, season, and environmental temperature, *Bull. Tokyo med. and Dent. Univer.*, 18, 269-280 (1971)
 - 26) Tanaka, M. ; Experimental studies on human reaction to cold, With reference to difference between males and females, *Bull. Tokyo med. and Dent. Univer.*, 19, 1-18 (1972)
 - 27) Tanaka, N., Senga, Y., Yamada, K. and Hori, S. ; Studies on the digital vascular hunting reaction in cold air with special reference to the effect of physical training, *Jpn. J. Biometeor.*, 24, 9-16 (1987)
 - 28) Yoshimura, H. and Iida, T. ; Studies on the reactivity of skin vessels on extreme cold. Part2. Factors governing the individual difference of the reactivity, or the resistance against frost bite, *Jpn. J. Physiol.*, 2, 177-185 (1952)
 - 29) 森谷潔；運動鍛錬者の局所寒冷反応，日生気誌，18 (3), 16 (1981)