

車椅子競技者の寒冷暴露下での体温調節, 末梢血管調節及びホルモン応答

管原 正志¹⁾・田井村 明博²⁾・上平 憲³⁾・伊藤 孝⁴⁾

- 1) 長崎大学教育学部保健体育講座
- 2) 長崎大学環境科学部自然環境保全講座
- 3) 長崎大学医学部臨床検査医学講座
- 4) 日本体育大学衛生学公衆衛生学講座

(平成12年3月15日受理)

Thermoregulation, peripheral vessel vasomotor regulation, and hormonal responses during cold exposure in wheelchair athletes

Masashi SUGAWARA¹⁾, Akihiro TAIMURA²⁾, Shimeru KAMIHIRA³⁾
and Takashi ITO⁴⁾

- 1) Department of Exercise Physiology, Faculty of Education,
Nagasaki University, Nagasaki 852-8521
- 2) Natural Environmental Conservation, Faculty of Environmental Studies,
Nagasaki University, Nagasaki 852-8521
- 3) Department of Laboratory Medicine, School of Medicine,
Nagasaki University, Nagasaki 852-8523
- 4) Department of Public Health and Preventive Medicine,
Nippon Sport Science University, Tokyo 158-0081

(Received March 15,2000)

Abstract

The purpose of this study is to clarify the characteristics of thermoregulation and physiological responses during exercise in a cold environment in wheelchair athletes with spinal cord injury. The subjects were male wheelchair athletes with spinal cord injury and healthy male college students. The maximal oxygen intake as a parameter of endurance exercise ability was higher in the wheelchair athletes than in the college students. Measurements were performed at an environmental temperature of 12 °C with a mean relative humidity of 60% at a mean air stream of 0.5m/sec. After rest for 30 minutes, the subjects performed arm cranking exercise at 20 watts (50 rpm) for 60 minutes. The measurement items were tympanic temperature, mean skin temperature, heat production, catecholamine, and cold-induced vasodilation.

During exercise under exposure to cold, the tympanic temperature, heat production,

and catecholamine more markedly increased in the wheelchair athletes than in the college students. The resistance index as a value of cold-induced vasodilation were higher in the wheelchair athletes than college students during cold exposure. On the other hand, the decrease in the mean skin temperature was slighter in the wheelchair athletes than in the college students. The thermoregulation sensitivity and heat production responses to exercise in a cold environment were more markedly increased in the wheelchair athletes than in the college students.

I. 緒 言

一般に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³⁾⁴⁾⁵⁾など、運動トレーニングにより寒冷に対する体温調節系の感受性や熱産生反応の改善が認められている。管原ら⁶⁾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 ($\dot{V}O_2\text{max}$) について検討した結果、 $\dot{V}O_2\text{max}$ の伸びと CIVD 諸値の亢進とに密接な関係が認められ、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明らかにしている。また $\dot{V}O_2\text{max}$ 水準別に寒冷暴露下での体温調節反応と 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するものの、皮膚血流量が増加し指皮温を上昇・維持させ、耐寒性を獲得していることを明らかにした⁷⁾。近年、障害者のスポーツへの関心が増し、様々なスポーツ種目への進出が見られ、中でも脊椎損傷者の車椅子スポーツが盛んになってきた。車椅子マラソンに関しては、レース用車椅子の性能と競技者の競技力向上により、世界ではプロフェッショナルな競技として行われるようになってきている。そして、車椅子競技者の運動時の生理的応答やトレーニング効果に関する報告⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾は数多くあるが、寒冷刺激下での運動中の体温調節反応特性や生理学的反応に関する検討は皆無である。

本研究では、脊髄損傷で車椅子マラソン競技者の寒冷環境下での運動時における体温調節反応特性と生理学的反応を明らかにし、競技人口が多くなりつつある車椅子マラソン競技者に対しての基礎資料を提供する。

II. 研究 方 法

A. 被験者

被験者は、研究の主旨を十分に説明したうえで同意を得た、脊髄損傷の男子車椅子マラソン競技者 5 名 (WCG) と健常な一般男子大学生 5 名 (USG) である。体格と $\dot{V}O_2\text{max}$ を Table 1 に示した。 $\dot{V}O_2\text{max}$ は、arm cranking エルゴメータ運動により漸増負荷法によって求めた。

B. 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 6 時間以上経過した後、平均気温 25℃ の室内に 1 時間以上安静で滞在させ、これを control 値とした。次いで平均環境温度 12℃、平均相対湿度 60% そして平均気流 0.5m/sec の測定室に、長袖シャツにトレー

ニングパンツで車椅子 (USG は椅子) にて30分間安静で経過した時点より, arm cranking エルゴメータにて運動強度20watts (50rpm) で60分間運動負荷し, その間以下の観察を経時的に実施した。皮膚温及び鼓膜温 (Tty) は1分間隔で連続記録し, 5分間の平均値とした。皮膚温の部位は, 額・胸・腹・背・上腕・前腕内面・手背の7箇所であり, 平均皮膚温 (Tsk) は, 緒方¹¹の方法により面積比率を加重負荷して求めた。産熱量 (M) は呼気ガスを連続分析し5分間毎の平均値として求めた。また, テスト前後に体重を観察した。

C. 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の30分間を観察した。CIVD テストは Yoshimura 法¹²により, 利き腕と反対側の中指末節背部に温度計サーミスタを装着し, 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¹³による抗凍傷指数 (resistance index, RI) を5点評点法で求めた。CIVD の観察は, 運動負荷日以前に行った。

D. 血液テスト

採血は, 室温25℃安静 (control 値, 0分), 寒冷暴露後30分 (安静), 運動開始後30分そして運動終了時に行い, blood lactate (LT), plasma adrenaline (A), plasma noradrenaline (NA), plasma dopamine (D) を観察した。

以上の観察時刻は, 10時より15時の間に実施した。得られた全ての数値は, 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*-test, 経時変化についてはくり返しがある分散分析で行った。

Table 1 Mean values of physique and maximal oxygen intake in the subject groups with wheelchair group (WCG) and student group (USG).

Subject	Characteristics			$\dot{V}O_{2max}$	
	Age (yr)	Height (cm)	Weight (kg)	(ℓ /min)	($\text{ml}/\text{kg}/\text{min}$)
WCG	30.5	168.4	52.6**	3.34	63.5**
(N=5)	±8.9	±2.5	±5.7	±0.84	±8.9
USG	21.1	171.60	64.5	3.11	48.2
(N=5)	±2.1	±2.8	±4.6	±0.46	±4.9

Values are means \pm SD; **: $p < 0.01$ by *t*-test between WCG and USG.

Ⅲ. 結 果

Table 1 に年齢, 身長, 体重, $\dot{V}O_2\max$ を平均値 \pm SD として示した。体重と単位体重当たり $\dot{V}O_2\max$ に統計的な群間有意差 ($p < 0.01$) があつた。

Fig. 1 に安静と運動中における血中乳酸を示した。WCG, USGともに運動開始より有意 ($p < 0.001$) に増加し, WCG と USG 間の差は, 運動開始30分以降に有意 ($p < 0.01$) であつた。Fig. 2 は T_{ty} の推移を示した。寒冷暴露後安静中は両群が緩やかに低下し, 運動開始とともに上昇したが control 値までには達しなかつた。そして運動直後より運動終了時まで WCG と USG との間は有意 ($p < 0.001$) であつた。Fig. 3 は T_{sk} の推移を示した。寒冷暴露とともに両群低下し, 運動開始30分以降では WCG より USG の低下が大きかつた。Fig. 4 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, さらに運動により急激に上昇し, 運動開始30分経過後は WCG と USG ともに定常状態を示している。運動開始10分より終始 WCG の代謝量が有意に大きかつた ($p < 0.001$)。Fig. 5 に A, Fig. 6 に NA, Fig. 7 に D を示した。A は観察中変化なかつたのに対し, NA, D ともに寒冷暴露後30分には有意に増加し, 運動開始後に更に上昇して運動終了時が最も高かつた。そして, NA と D は運動開始後30, 60分において WCG が USG より有意 ($p < 0.05 \sim p < 0.01$) に高かつた。Table 2 は, 寒冷暴露30分後より30分間の CIVD 諸値を示した。MST は WCG $7.35 \pm 1.08^\circ\text{C}$ に対し USG $5.21 \pm 1.60^\circ\text{C}$ ($p < 0.05$), TFR は WCG $4.86 \pm 1.60^\circ\text{C}$ に対し USG $2.84 \pm 1.03^\circ\text{C}$ ($p < 0.05$), RI は WCG 11.3 ± 1.3 に対し USG 9.4 ± 1.2 ($p < 0.05$) であつた。Fig. 8 に寒冷下での運動前後の体重減少量を示した。WCG, USG ともに, 減少量は少なかつた。

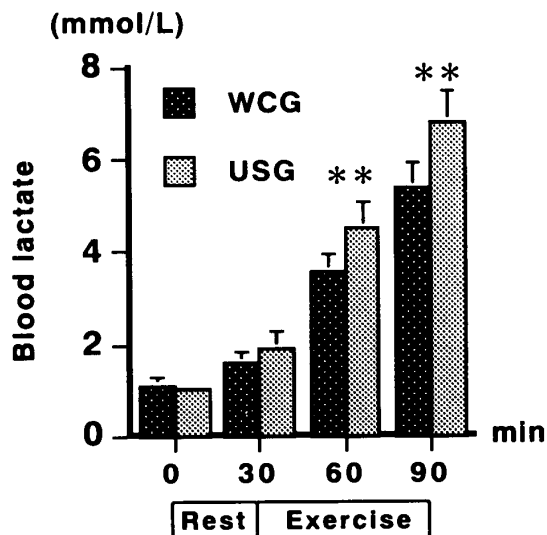


Fig. 1 Blood lactate changes during cold air exposure in wheelchair group (WCG) and student group (USG).

**: $p < 0.01$ by t-test between WCG and USG.

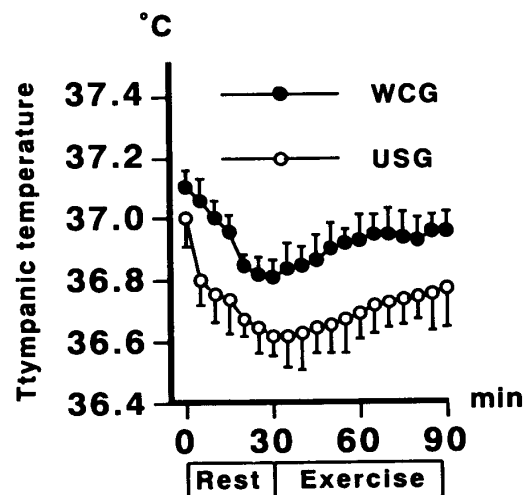


Fig. 2 Time courses of tympanic temperature for the wheelchair group (WCG) and student group (USG) during cold air exposure.

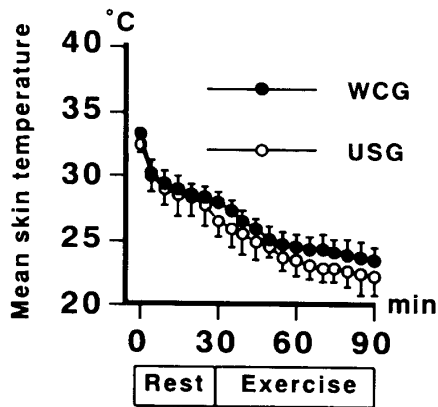


Fig. 3 Time courses of mean skin temperature for the wheelchair group (WCG) and student group (USG) during cold air exposure.

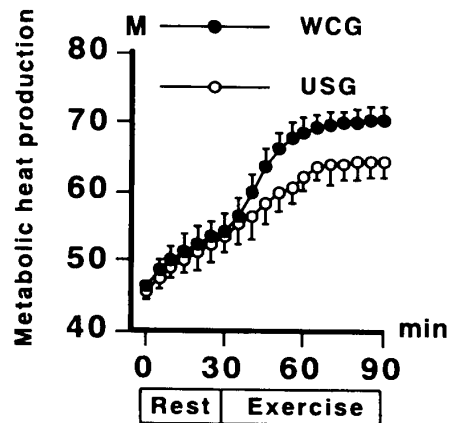


Fig. 4 Time courses of metabolic heat production for the wheelchair group (WCG) and student group (USG) during cold air exposure.

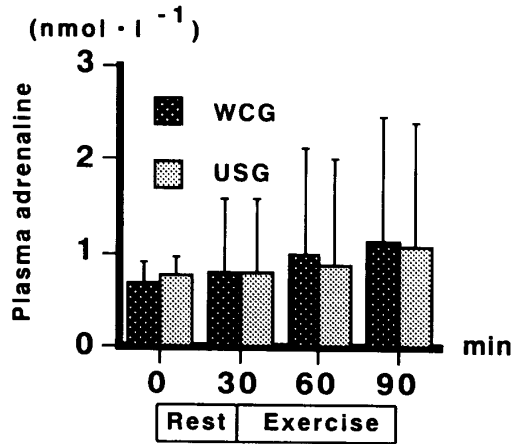


Fig. 5 Plasma adrenaline changes during cold air exposure in wheelchair group (WCG) and student group (USG).

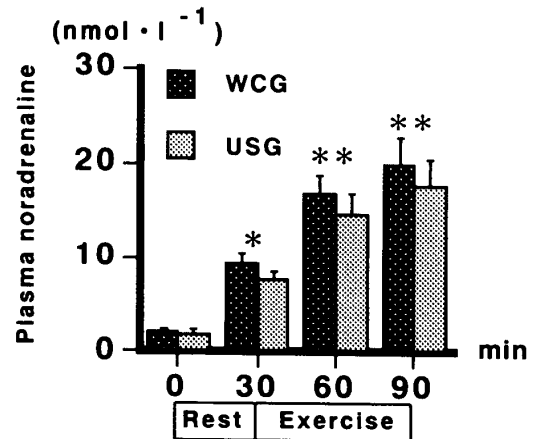


Fig. 6 Plasma noradrenaline changes during cold air exposure in wheelchair group (WCG) and student group (USG).
*:p<0.05, **:p<0.01 by t-test between WCG and USG.

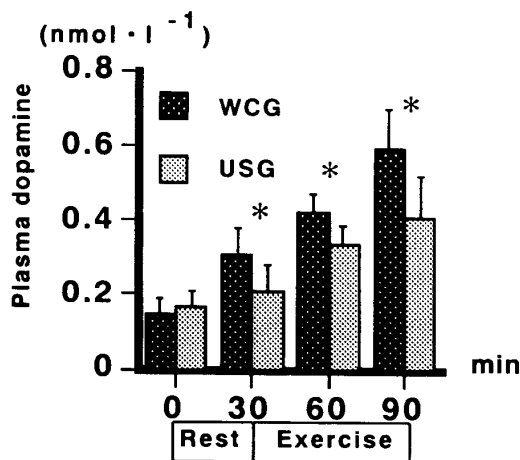


Fig. 7 Plasma dopamine changes during cold air exposure in wheelchair group (WCG) and student group (USG).
*:p<0.05 by t-test between WCG and USG.

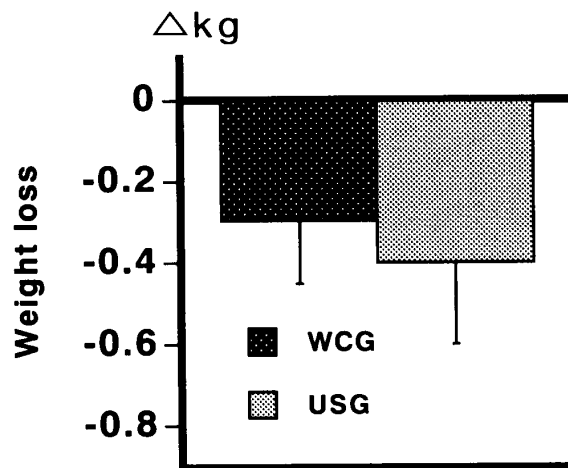


Fig. 8 Weight loss changes during exercise in cold air exposure in the wheelchair group (WCG) and student group (USG).

Table 2 Mean values of cold-induced vasodilation responses of wheelchair group (WCG) and student group (USG) in ice water immersion at cold exposure.

Subject	Characteristics of CIVD in ice water					
	TBI (°C)	MST (°C)	TFR (°C)	TTR (min)	RI	AT (°C)
WCG (N=5)	25.81 ±3.67	7.35* ±1.08	4.86* ±1.60	11.32 ±2.52	11.3* ±1.3	6.98 ±3.07
USG (N=5)	24.89 ±2.18	5.21 ±1.60	2.84 ±1.03	12.67 ±2.09	9.4 ±1.2	5.19 ±2.99

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 ± SD; *p < 0.05 by t-test between WCG and USG.

IV. 考 察

寒冷刺激が年齢によってどのように生理的応答を示すかは、Smolanderら¹⁴⁾によると、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反応は成熟度によって部位に差異を認め、またFalkら¹⁵⁾によると、寒冷下での軽い運動強度で、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ことを報告している。

管原ら⁷⁾は、12℃寒冷下の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⁸⁾も7℃の寒冷環境下でふるえの程度と持久的運動能力、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Chin ら¹⁶⁾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。

本観察でも産熱量は、持久的運動能力水準が高いWCGがUSGより寒冷下安静で増加し、それは鼓膜温の減少を低く抑え、そして運動開始と同時に急上昇して鼓膜温を高く保つ結果となっている。また平均皮膚温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WCGがUSGより優れていた。管原ら⁹⁾は、CIVDに関する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 $\dot{V}O_2\max$ (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、全身が寒冷暴露下にある時でもCIVD諸値は持久性体力水準に従って亢進したことである。本観察でのCIVDテストは、寒冷暴露下であり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、すなわち、WCGがUSGより $\dot{V}O_2\max$ (ml/kg/min) が高いことが、CIVD諸値を高く維持しており、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ことがWCGでも明らかとなった。

Graham ら¹⁷⁾は、成人男子について5℃寒冷暴露下の運動でカテコールアミンの増加に伴い代謝量の亢進と平均皮膚温の上昇を認めている。本観察では、NAとDは、control値より寒冷下安静中そして運動中に有意な増加を認め、その程度はWCGがUSGより増加していた。Strobel ら¹⁸⁾によると、長距離ランナーと一般成人とのNAとDを運動前後に比較し、前者が後者より増加が有意に大きく、両群の差異も明確であった。本観察でのAについて、安静と運動中でわずかの増加であったのは、Pearson ら¹⁹⁾が報告したように、NAは長時間の運動によって上昇するのに対し、Aは一定水準までは増加するが、運動が長時間継続するに従って漸減する、とした結果と類似していた。

以上のように、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車椅子競技者に見られた。今後は、脊椎損傷者の暑熱環境における生体応答の解析を運動系・自律機能・免疫能より行う予定である。

V. ま と め

本研究の目的は、脊髄損傷で車椅子マラソン競技者の寒冷環境下での運動時における体温調節反応特性と生理学的反応を明らかにすることである。被験者は、研究の主旨を十分に説明した上で同意を得た、脊髄損傷の男子車椅子マラソン競技者(車椅子競技者)と健常な一般男子大学生(大学生)であり、持久的運動能力の指標である最大酸素摂取量は車椅子競技

者が大学生より大きかった。測定は、秋より冬にかけて平均環境温度12℃、平均相対湿度60%そして平均気流0.5m/secの測定室で実施した。測定の方法は、30分間安静の後、arm cranking エルゴメータ運動を20watts (50rpm) で60分間負荷した。測定項目は、安静と運動中の鼓膜温、平均皮膚温、産熱量そしてカテコールアミン、寒冷血管反応である。

寒冷暴露中の安静時鼓膜温は、車椅子競技者が緩やかに低下しているのに対し、大学生では低下が大きかった。また運動中の鼓膜温は、車椅子競技者の上昇は大きく、運動開始後40分以降は横這いであった。平均皮膚温は、寒冷暴露後の安静で両群低下し、運動開始後より30分までは、車椅子競技者より大学生の低下が大きかった。産熱量は、寒冷暴露後の安静で両群亢進し、さらに運動により急上昇したが、終始車椅子競技者が大きかった。また運動開始30分経過後の産熱量は、車椅子競技者と大学生ともに定常状態であった。寒冷下での寒冷血管反応は、車椅子競技者が大学生より抗凍傷指数が高かった。カテコールアミンは、ノルアドレナリン、ドーパミンともに25℃の安静時より寒冷暴露後(安静状態)30分、運動開始後30分そして運動終了時と高くなり、その上昇は、車椅子競技者が大学生より大きかった。寒冷下での運動に対して体温調節の感受性や熱産生反応は、車椅子競技者が一般大学生より優れていた。

本研究の一部は、文部省科学研究費一般研究C課題番号10680039によった。

文 献

- 1) LangeAndersen, K., EideR., Hammel, H.T., Hellstrm, B., Hildes, J.A., Lofstedt, B., Segrem, N., Simon, E., Stromme, S. and Wilson, O. Metabolic and circulatory aspects of tolerance to cold as affected by physical training. *Fed.Proc.*, (1966), 25, 1351-1356.
- 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.*, (1977), 21, 51-63.
- 3) Billel, J. H. M. Heat debt as an index for cold adaptation in men. *J.Appl. Physiol.*, (1987), 62, 1627-1634.
- 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.*, (1988), 65, 1984-1989.
- 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*, (1993), 30, 77-84.
- 6) 管原正志, 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*, (1993), 42, 495-501.
- 7) 管原正志, 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*, (1996), 45,101-110.
- 8) Cowell, L. L., Squires, W. G., and Raven, P. B. Benefits of aerobic exercise for the paraplegic:a brief review. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1986), 18, 501-508.
- 9) Davis, G. M. Exercise capacity of individuals with paraplegia. *Med. Sci. Sports Exerc.*, (1993), 25, 423-432.
- 10) Hoffman, M. D. Cardiorespiratory fitness and training in quadriplegics and paraplegics. *Sports Medicine*, (1986), 11, 67-73.
- 11) 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, (1970), 18-31.
- 12) 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.*, (1950), 1, 147-159.

- 13) 中村 正, 野原 博, 植本六良, 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, (1977), 32(1), 268。
- 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.*, (1992), 72, 1589-1594.
- 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.*, (1994), 76, 72-78.
- 16) Chin, A. K., Seaman, R. and Kapileshwarker, M. Plasma catecholamine response to exercise and cold adaptation. *J. Appl. Physiol.*, (1973), 34, 409-412.
- 17) Graham T. E., Sathasivam P. and MacNaughton K. W. Influence of cold, exercise, and caffeine on catecholamines and metabolism in men. *J. Appl. Physiol.*, (1991), 70, 2052-2058.
- 18) Strobel G., Hack V., Kinscherf R. and Weicker H. Sustained noradrenaline sulphate response in long-distance runners and intrained subjects up to 2h after exhausting exercise. *Eur. J. Appl. Physiol.*, (1993), 66, 421-426.
- 19) Pearson. R., Ungpakorn G. and Harrison G. A. Catecholamine and cortisol level in Oxford college rowers. *Br. J. Sports Med.*, (1995), 29, 174-177.