

# 車椅子競技者の寒冷下運動時における 自律性体温調節とホルモン応答

|           |       |
|-----------|-------|
| 長崎大学      | 菅原正志  |
| (共同研究者) 同 | 土屋勝彦  |
| 同         | 田井村明博 |
| 同         | 上平憲   |

## Thermoregulation and Hormonal Responses During Cold Exposure in Wheelchair Athletes

by

Masashi Sugawara

*Department of Exercise Physiology,  
Faculty of Education, Nagasaki University*

Katsuhiko Tsuchiya, Akihiro Taimura

*Natural Environmental Conservation,  
Faculty of Environmental Studies, Nagasaki University*

Shimeru Kamihira

*Division of Laboratory Medicine,  
Graduate School of Biomedical Sciences, Nagasaki University*

### ABSTRACT

The purpose of this study was 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 was higher in the wheelchair athletes than college students during cold exposure. On the other hand, the decrease in the mean skin temperature was less 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.

## 要 旨

本研究は、脊髄損傷を有する車椅子マラソン競技者の寒冷環境下での運動に対する生理学的反応を主として体温調節反応特性から明らかにすることである。被験者は、脊髄損傷の男子車椅子マラソン競技者（車椅子競技者）と一般男子大学生（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。測定条件と運動負荷は、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 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、寒冷血管拡張反応である。寒冷暴露下運動中の鼓膜温、平均皮膚温、産熱量およびカテコールアミンは、大学生より車椅子競技者が亢進していた。寒冷下での寒冷血管拡張反応は、車椅子競技者が大学生より抗凍傷指数が高かった。寒冷下での運動に対して体温調節の感受性・熱産生および末梢血管反応は、車椅子競技者が一般大学生より優れていた。

## 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<sup>1,2)</sup>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<sup>3,4,5)</sup>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<sup>6)</sup>は氷水による寒冷血管拡張反応 (cold-induced vasodilation ; CIVD) と持久的体力の一指標である最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_{2max}$ ) について検討した結果、 $\dot{V}O_{2max}$  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  $\dot{V}O_{2max}$  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 reaction 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<sup>7)</sup>。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<sup>8,9,10)</sup>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、脊髄損傷を有する車椅子マラソン競技者の寒冷環境下での運動に対する生理学的反応を体温調節反応特性を中心に明らかにし、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とする。

## 1. 研究方法

### 1. 1 被験者

被験者は、脊髄損傷の有る男子車椅子マラソン競技者10名(WG)と一般男子大学生5名(SG)である。体格と $\dot{V}O_{2max}$ を表1に示した。 $\dot{V}O_{2max}$ は、漸増負荷法によるarm crankingエルゴメータ運動により求めた。なお、本研究は、全被験者に対し事前に研究の目的と内容を説明し、参加の同意を得て実施した。

### 1. 2 寒冷暴露の測定

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4時間以上経過した後、平均気温28℃の室内に1時間以上安静で滞在させ、これを前値(0分)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(SG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。皮膚温および鼓膜温(Tty)は1分間隔で連続記録し、5分間の平均値とした。皮膚温の測定部位は、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、

緒方の方法<sup>11)</sup>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分間ごとの平均値として求めた。

### 1. 3 寒冷血管拡張反応の測定

寒冷血管拡張反応(CIVD)の測定は、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<sup>12)</sup>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、0.2℃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、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temperature at first rise (TFR)、そしてTFRまでのtime of temperature rise (TTR)、浸漬5分から30分までの25分間の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amplitude of temperature (AT)を求めた。これらの諸値から、中村法<sup>13)</sup>による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。

### 1. 4 血液値の測定

採血は、室温28℃安静(control値)、寒冷暴露後30分(安静)、運動開始後30分(寒冷暴露後60分)そして運動終了時(寒冷暴露後90分)に行い、blood lactate (LT)はLactate Pro (Arkray)にて、plasma adrenaline (A)、plasma noradrenaline (NA)およびplasma dopamine (D)はHigh-performance liquid chromatography system (Waters, Milfford)により観察した。

以上の観察時刻は、10時より15時の間に実施した。統計的な検定は、統計ソフトStat Viewにより行った。各グループごとの変化は一元配置分散分析で検定し、両グループ間の経時的比較

は二元配置分散分析で検定した。また、両グループ間の測定項目の比較には対応のないt-testを行った。本研究においては、5%未満をもって有意差ありとした。

## 2. 結果

表1に年齢、身長、体重、 $\dot{V}O_{2\max}$ を平均値±SDとして示した。 $\dot{V}O_{2\max}$ は、WG3.13±

表1 Mean values of physique and maximal oxygen intake in the subject groups with wheelchair group(WG) and students group(SG).

| Subject   | Characteristics |              |              |                            |                                |
|-----------|-----------------|--------------|--------------|----------------------------|--------------------------------|
|           | Age (yr)        | Height (cm)  | Weight (kg)  | $\dot{V}O_{2\max}$ (l/min) | $\dot{V}O_{2\max}$ (ml/kg/min) |
| WG (N=10) | 32.4 ± 9.2      | 165.6 ± 3.7  | 53.2** ± 6.7 | 3.13 ± 0.67                | 58.8** ± 4.6                   |
| SG (N=5)  | 21.1 ± 2.1      | 171.60 ± 2.8 | 64.5 ± 4.6   | 3.11 ± 0.46                | 48.2 ± 4.8                     |

Values are means ± SD; \*\*:p<0.01 by t-test between WG and SG.

0.67 l/min に対しSG3.11±0.46 l/min と差はなかったが、単位体重当たりではWG58.8±4.6ml/kg/min に対しSG48.2±4.8ml/kg/min と群間有意差 (p<0.01) があった。図1に安静と運

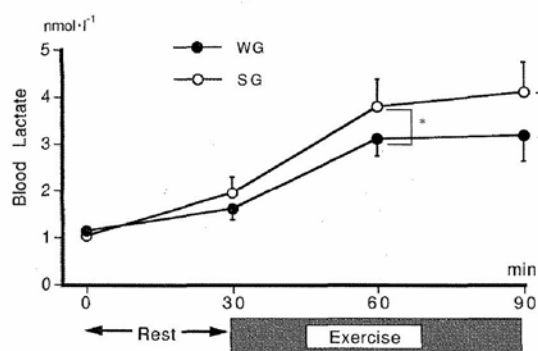


図1 Time cours of blood lactate for the wheelchair group (WG) and students group (SG) during exercise in a cold air exposure. Values are means ± SD. \*:p<0.05 by t-test between WG and SG.

動中における血中乳酸濃度を示した。WG, SGともに運動開始より有意 (p<0.001) に増加し、WGとSG間の差は、運動開始30分以降に有意 (p<0.05) であった。図2はTty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前値までには達しな

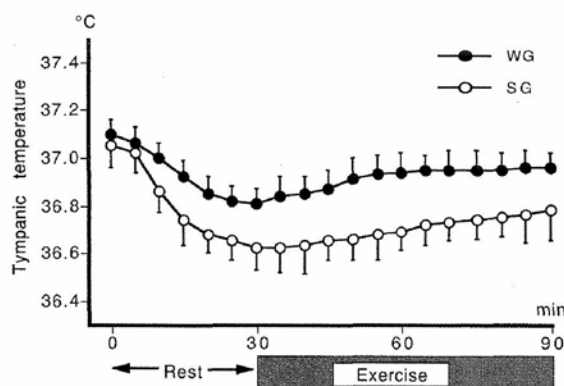


図2 Time cours of tympanic temperature for the wheelchair group (WG) and students group (SG) during exercise in a cold air exposure. Values are means ± SD.

かった。そして運動直後より運動終了時までWGとSGとの間は有意 (p<0.001) であった。図3はTskの推移を示した。寒冷暴露とともに

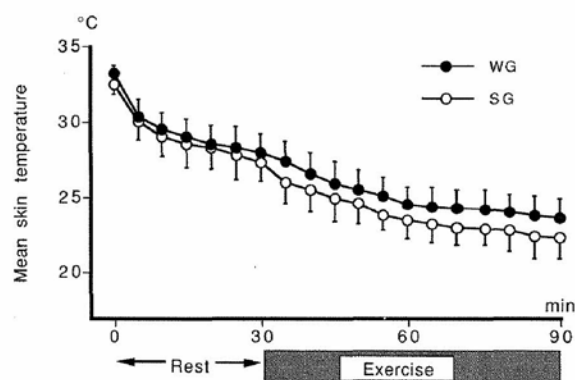


図3 Time cours of mean skin temperature for the wheelchair group (WG) and students group (SG) during exercise in a cold air exposure. Values are means ± SD.

両群低下し、運動開始30分以降ではWGよりSGの低下が大きかった。図4はM (W/m²) 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WGとSGともに定常状態を示している。運動開始10分より終始WGの代謝量が有意に大きかった (p<0.001)。表2にA, NA, Dを示した。Aは観察中変化がなかったのに対し、NA, Dともに寒冷暴露後30分には有意に増加し、運動開始後にさらに上昇して運動終了時が最も高かった。そして、NAとDは運

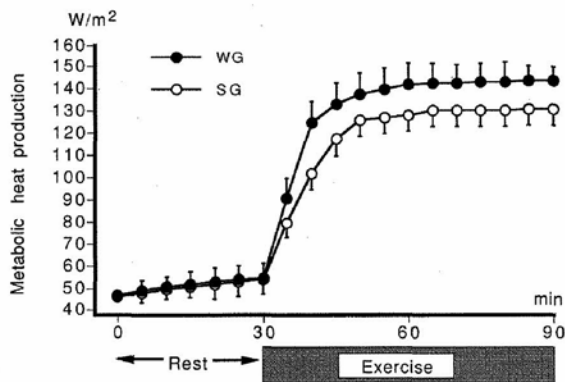


図4 Time course of metabolic heat production for the wheelchair group (WG) and students group (SG) during exercise in a cold air exposure. Values are means  $\pm$  SD.

動開始後30分、60分においてWGがSGより有意 ( $p<0.05 \sim p<0.01$ ) に高かった。表3は、寒冷暴露30分後より30分間のCIVD諸値を示した。MSTはWG7.32  $\pm$  1.24  $^{\circ}\text{C}$  に対しSG5.21  $\pm$  1.60  $^{\circ}\text{C}$  ( $p<0.05$ )、TFRはWG4.31  $\pm$  1.20  $^{\circ}\text{C}$  に対し

SG2.84  $\pm$  1.03  $^{\circ}\text{C}$  ( $p<0.05$ )、RIはWG11.0  $\pm$  1.1 に対しSG9.4  $\pm$  1.2 ( $p<0.05$ ) であった。

### 3. 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<sup>14)</sup>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差異を認め、またFalkら<sup>15)</sup>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。すなわち、若年者は運動により耐寒性を獲得することを明らかにしている。同様に、

表2 Plasma catecholamine(adrenaline(A), noradrenaline(NA), dopamine(D)) concentration from the WG and SG during exercise in cold air exposure.

(nmol $\cdot$ l $^{-1}$ )

| Room Temperature ( $^{\circ}\text{C}$ ) | Time (min) | Subject  | A               | NA                  | D                 |
|-----------------------------------------|------------|----------|-----------------|---------------------|-------------------|
| 28                                      | 0          | Control  |                 |                     |                   |
|                                         |            | WG       | 0.70 $\pm$ 0.20 | 1.94 $\pm$ 0.42     | 0.16 $\pm$ 0.18   |
| 12                                      | 30         | Exercise |                 |                     |                   |
|                                         |            | WG       | 0.81 $\pm$ 0.65 | 9.52 $\pm$ 0.92 *   | 0.32 $\pm$ 0.12 * |
|                                         | 60         | Exercise |                 |                     |                   |
|                                         |            | WG       | 1.01 $\pm$ 1.14 | 16.82 $\pm$ 2.24 ** | 0.43 $\pm$ 0.12 * |
|                                         | 90         | Exercise |                 |                     |                   |
|                                         |            | WG       | 1.15 $\pm$ 1.33 | 19.91 $\pm$ 3.12 ** | 0.60 $\pm$ 0.13 * |
|                                         |            | SG       | 0.79 $\pm$ 0.83 | 7.56 $\pm$ 0.89     | 0.22 $\pm$ 0.11   |
|                                         |            | SG       | 0.89 $\pm$ 1.14 | 14.60 $\pm$ 2.43    | 0.34 $\pm$ 0.12   |
|                                         |            | SG       | 1.08 $\pm$ 1.27 | 17.56 $\pm$ 2.85    | 0.41 $\pm$ 0.10   |

Values are means  $\pm$  SD; \*:  $p<0.05$ , \*\*:  $p<0.01$  by t-test between WG and SG.

表3 Mean values of cold-induced vasodilation responses of wheelchair group(WG) and students group(SG) in ice water immersion at cold air exposure.

| Subject   | Characteristics of CIVD in ice water |                            |                            |                  |                 |                           |
|-----------|--------------------------------------|----------------------------|----------------------------|------------------|-----------------|---------------------------|
|           | TBI ( $^{\circ}\text{C}$ )           | MST ( $^{\circ}\text{C}$ ) | TFR ( $^{\circ}\text{C}$ ) | TTR (min)        | RI              | AT ( $^{\circ}\text{C}$ ) |
| WG (N=10) | 25.83 $\pm$ 3.66                     | 7.23* $\pm$ 1.24           | 4.31* $\pm$ 1.20           | 11.65 $\pm$ 2.31 | 11.0* $\pm$ 1.1 | 7.09 $\pm$ 3.27           |
| SG (N=5)  | 24.89 $\pm$ 2.18                     | 5.21 $\pm$ 1.60            | 2.84 $\pm$ 1.03            | 12.67 $\pm$ 2.09 | 9.4 $\pm$ 1.2   | 5.19 $\pm$ 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  $\pm$  SD; \*:  $p<0.05$  by t-test between WG and SG.

管原ら<sup>7)</sup>はふるえによる産熱が起こらない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<sup>1)</sup>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<sup>5)</sup>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<sup>16)</sup>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WGがSG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WGがSGより優れていた。管原ら<sup>6,7)</sup>は、CIVDに関し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 $\dot{V}O_{2max}$  (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の報告と同様で持久性体力水準が高ければ、すなわち、WGがSGより $\dot{V}O_{2max}$  (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WGでも明らかとなった。Grahamら<sup>17)</sup>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WGがSGより増加していた。Strobelら<sup>18)</sup>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<sup>19)</sup>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。車椅子競技者は、寒冷下運動に対して体温調節の感受性・熱産生および末梢血管反応の改善が認められた。今後は、暑熱環境下での脊髄損傷競技者の体温調節反応に関する研究を通して、quality of life (QOL) の向上に寄与したい。

#### 4. まとめ

本研究の目的は、脊髄損傷を有する車椅子マラソン競技者の寒冷環境下での運動に対する生理学的反応を主としておける体温調節反応特性から明らかにすることである。被験者は、脊髄損傷を有する男子車椅子マラソン競技者（車椅子競技者）と一般男子大学生（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。測定の条件と運動負荷は、平均気温28℃の室内に1時間以上安静で滞在させた後、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30分間安静の後、arm crankingエルゴメ



一タ運動を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。寒冷暴露下運動中の鼓膜温、平均皮膚温、産熱量およびカテコールアミンは、大学生より車椅子競技者が亢進していた。寒冷下での寒冷血管拡張反応は、車椅子競技者が大学生より抗凍傷指数が高かった。寒冷下での運動に対して体温調節の感受性・熱産生および末梢血管反応は、車椅子競技者が一般大学生より優れていた。

# 文 献

- 1) Lange Andersen, K., Eide R., Hammel, H.T., Hellström, 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.*, 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) 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)
- 7) 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)
- 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.*, 18, 501-508 (1986)
- 9) Davis, G.M. Exercise capacity of individuals with paraplegia. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 25, 423-432 (1993)
- 10) Hoffman, M.D. Cardiorespiratory fitness and training in quadriplegics and paraplegics. *Sports Medicine*, 11, 67-73 (1986)
- 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, 18-31 (1970)
- 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.*, 1, 147-159 (1950)
- 13) 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)
- 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) Chin, A.K., Seaman, R. and Kapileshwarker, M. Plasma catecholamine response to exercise and cold adaptation. *J. Appl. Physiol.*, 34, 409-412 (1973)
- 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.*, 70, 2052-2058 (1991)
- 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.*, 66, 421-426 (1993)
- 19) Pearson, R., Ungpakorn G. and Harrison G.A. Catecholamine and cortisol level in Oxford college rowers. *Br. J. Sports Med.*, 29, 174-177 (1995)