

# 脊髄損傷者の車椅子テニス実施時における 体温調節反応に関する研究

広島大学 山崎昌廣  
(共同研究者) 同 深倉弘美

## Body Temperature Regulation During Playing Wheelchair Tennis in Persons with Spinal Cord Injury

by

Masahiro Yamasaki, Hiromi Fukakura  
*Hiroshima University*

### ABSTRACT

The purpose of this study was to clarify the relationship between body temperature and the level of injury in persons with spinal cord injury (PSCI) during wheelchair tennis. Eleven male PSCI with lesions located between C8 and L2 participated in this study. The PSCI performed wheelchair tennis for 90min including warming up (10min), stroking (20min), volleying (10min), receiving (10min), serving (10min) and game (30min). The experiment was carried out on fine days from the end of June to the beginning of July. The ambient temperature and relative humidity were 31.7 to 34.2 °C and 43 to 67 %, respectively. The tympanic membrane temperature (Tt), skin temperatures (Tsk) at four points, and heart rate (HR) were continuously measured throughout the experiment. The PSCI at C8 complained of a headache at the beginning of the experiment because of the heat. For this reason, he stopped playing wheelchair tennis. The PSCI were divided into two groups according to the responses of body

temperature; one of them included the PSCI above Th7, 8 and the other below T11. The PSCI with lesions above Th7, 8 showed not only higher Tt and Tsk but higher HR in comparison with those with lesions below T11. The higher Tt and Tsk are attributable to a reduced skin vasomotor response in the paralyzed area and the small sweating area in the PSCI with lesions above Th7, 8.

## 要 旨

本研究の目的は車椅子テニスを実施している脊髄損傷者（脊損者）の体温変動を観察し、脊髄損傷（脊損）レベルと体温変動の関係を明らかにすることである。被験者は頸髄損傷者（C8）1名、胸髄損傷者8名（Th4-Th12）、および腰髄損傷者2名（L1, L2）の合計11名であった。測定は6月下旬から7月上旬にかけ、晴天の日を選んで実施した。測定期間中、環境温度は31.7から34.2℃および相対湿度は43から67%の範囲であった。車椅子テニスは準備運動を含めて90分間実施した。運動中、鼓膜温、皮膚温（胸部、上腕部、大腿前面部および下腿前面部）、車椅子走行距離、速度および心拍数を記録した。被験者C8は暑さのために準備段階において頭痛を訴えたために、その後の車椅子テニスを断念せざるを得なかった。脊損レベルがTh7, 8より上位の脊損者では、脊損レベルがTh11以下の被験者と比較して、鼓膜温および皮膚温とも高い値を示した。Th7, 8より高位の脊損者では麻痺部が上半身にもおよぶことから発汗部位が狭く、さらに麻痺部の皮膚血管拡張が起こらないために、鼓膜温および皮膚温の上昇が著しかったものと考えられた。

## 緒 言

脊髄損傷者（脊損者）は人体における放熱のための重要な因子である発汗機能および皮膚血管運動の障害により、体温調節機能が低下していることが知られている。これは主に脊髄損傷（脊損）

による交感神経性調節機能不全のために、脊損レベル以下の発汗機能および血管運動が障害を受けているからである<sup>1),2)</sup>。このため、脊損者が様々な温度環境に暴露された場合、健常者に比べて体内温度が環境温度に影響を受けやすいのである<sup>3),4),5),6)</sup>。Attiaら（1983）<sup>4)</sup>は、脊損者を15℃から40℃までの温度環境に暴露した場合、健常者の内部温度がほぼ一定であったのに対し、脊損者のそれは環境温度の増加にほぼ比例して上昇したことを示した。このことからAttiaら（1983）<sup>4)</sup>は脊損者の体温調節の特徴を変温性（poikilothermia）の傾向があると指摘した。

したがって脊損者が暑熱環境下に曝露された場合や運動時には、健常者と比較して高体温になりやすい<sup>7),8),9)</sup>。このような脊損者の体温調節機能低下は脊損レベルによっても異なっている。とくに頸髄損傷の場合では発汗が全身に起こらないこと、また血管運動が麻痺している部位が広いことなどから、暑熱環境下や運動時の体温上昇が著しい事も認められている<sup>10),11),12)</sup>。

このように脊損者の体温調節の特徴については実験室内で行われている研究によって徐々に明らかにされつつある。しかしながら、実際のスポーツ実施中の脊損者の体温変化についてはほとんど研究されていない。最近、山崎ら（2000）<sup>13)</sup>は異なった脊損レベルを持った被験者を対象に、車椅子バスケットボール実施中の体温変動を観察した。測定は夏季の体育館内で行われ、空調により環境温を25℃に調整された場合と空調を使用していない環境温約30℃の2条件下で行った。頸髄損

傷者 (C8) は 25℃環境下であっても鼓膜温はバスケットボール中上昇し続け、30℃環境下では Th7, 8 以上の損傷レベルの人でも鼓膜温が上昇し続けることを示した。

一方、車椅子テニスは屋外で実施する機会が多く、炎天下での練習あるいは試合もめずらしいことではない。このような環境下でのスポーツが脊損者の体温に大きく影響することは容易に予想できることである。しかしながら、炎天下において車椅子テニス実施中の体温変動に関する報告はなされていない。

そこで本研究では、脊損者を被験者として、夏の炎天下に車椅子テニス実施中の体温変動を観察した。今回はとくに脊損レベルに焦点をあて、脊損レベルと車椅子テニス中の体温変動の関係を明らかにすることを研究目的とした。

## 1. 方法

### 1.1 被験者

被験者は頸髄損傷者 (C8) 1 名、胸髄損傷者 8 名 (Th4-Th12)、および腰髄損傷者 2 名 (L1) の合計 11 名であった。表 1 に被験者の年齢、体重、身長、損傷レベルおよび発汗部位を示している。発汗部位は被験者にどの部位での発汗があるかを尋ねた結果に基づいている。発汗の障害がないと回答した者は腰髄損傷者 2 名であった。

各被験者は全員車椅子を常用していた。また日頃から車椅子スポーツを行っており、テニス、バスケットボール、水泳、マラソンのいずれか、あるいは複数のスポーツを実施していた。車椅子テニスに関しては、現在車椅子テニストーナメント出場のためにトレーニングを行っている者、車椅子テニス教室に通っている者あるいは過去に車椅子テニスを経験したことがある者などで、すべてが車椅子テニスの経験者であった。しかしながら、車椅子テニスの技術レベルとしては全員がそれほど高い方ではない。

各被験者には実験に先立ち、実験の目的、危険性およびいつでも自分の意志で実験を止めることができることなどについて十分な説明を行い、実験の被験者となることの同意を得た。

### 1.2 実験手続き

測定は 6 月下旬から 7 月上旬にかけ、晴天の日を選んで午後 2 時から実施し、1 日に 2 人の測定を同時に行った。環境温湿度は一回の測定の間にも変動したが、測定期間中の範囲は気温 31.7℃から 34.2℃および相対湿度 43% から 67% であった。また、できるだけ晴天の日を選んだが、時折雲によって太陽光がさえぎられることがあった。

測定開始前に、被験者に皮膚温センサーおよび心拍数測定機器を、また使用するテニス用車椅子

表 1 被験者の身体的特徴

被験者	年齢 (歳)	体重 (kg)	身長 (cm)	脊損レベル	発汗部位
	30	62	178	C8	全身無発汗
A	29	58	174	Th4	頭部
B	40	54	163	Th6	乳頭レベル以上
C	36	73	170	Th6	乳頭レベル以上
D	52	45	160	Th7, 8	臍点レベル以上
E	46	67	183	Th11	下肢以外
F	49	79	176	Th11	下肢以外
G	35	54	164	Th12	全身 (大腿・下腿の発汗は弱い)
H	54	56	163	Th12	全身 (下腿の発汗は弱い)
I	35	56	167	L1	全身
J	24	52	168	L2	全身

には車椅子走行距離装置を取り付けた。これらの準備に約0.5時間を要した。準備が終わり次第直ちに車椅子テニス実施前の測定を行った。その後、準備体操10分間、乱打20分間、ボレー10分間、サーブ10分間およびレシーブ10分間の練習を行い、最後に30分間の試合を行った。被験者には測定1時間前からの摂食および飲水を控えるよう依頼し、車椅子テニス実施中にも飲水を行わせなかった。

### 1. 3 測定項目

体温変動の指標として、鼓膜温および皮膚温を測定した。鼓膜温は赤外線鼓膜体温計（ジーニアス社製3000A）を用い、車椅子テニス練習中は10分ごとに、また試合中は15分ごとに練習あるいは試合を中断して測定した。皮膚温は胸部、上腕部、大腿前面部および下腿前面部を足立計器社製データコレクタ（AM-7002）を用いて1分ごとに記録した。また、被験者の運動強度の客観的な指標として車椅子走行距離、速度および心拍数を1分ごとに記録した。これらの測定はハートコンピュータ（CAT EYE社製MSC 2DX）を用いて行い、記録されたデータをMSC用ダウンロードキット（CAT EUE社製MSC e-Train DATA）によりコンピュータに読み込むことによって求めた。

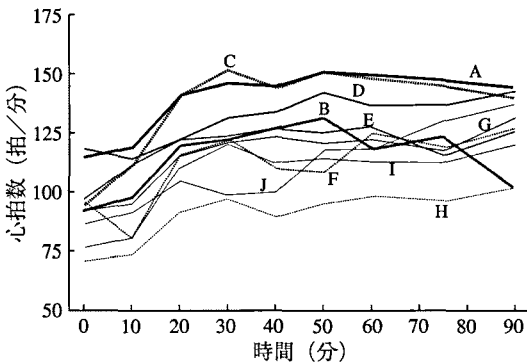


図1 時間経過にともなう各被験者の心拍数の変化。各練習中は10分ごと、試合中は15分ごとの平均値で示してある。

### 1. 4 データ処理

心拍数は練習期間中は10分ごと、試合中は15分ごとに平均値を算出し時間経過とともに示した。さらに、期間中の全心拍数の平均値と標準偏差を算出した。鼓膜温は時間経過にともなう変化および最高鼓膜温を求めた。皮膚温はRamanathanの4点法<sup>14)</sup>により平均皮膚温を算出した。また最高平均皮膚温および各部位の最高皮膚温を算出した。最後に、鼓膜温と皮膚温の関係を検討した。

## 2. 結果

頸髄損傷者（C8）は測定開始直後から体温上昇にともなう身体の不調を訴えた。その症状は頭痛、身体のだるさなどであった。結局、センサーを取り付けただけで、資料の収集は断念せざるを得なかった。また、走行距離はボレー、サーブおよびレシーブの場合はほとんど動いておらず、また試合中でも移動距離は300m～500m程度と少なかった。速度についても個人差はほとんど観察されなかった。

図1は時間経過にともなう各被験者の心拍数の変動を示したものである。最初の10分間は準備体操であるから、それほど心拍数の上昇は観察されなかった。練習の最初のメニューである乱打が始まると心拍数は急激に上昇し、その後は同じような心拍水準を保つか、あるいは時間経過にとも

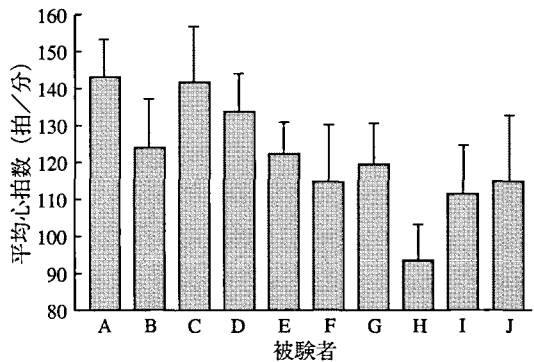


図2 実験期間中における各被験者の平均心拍数と標準偏差。

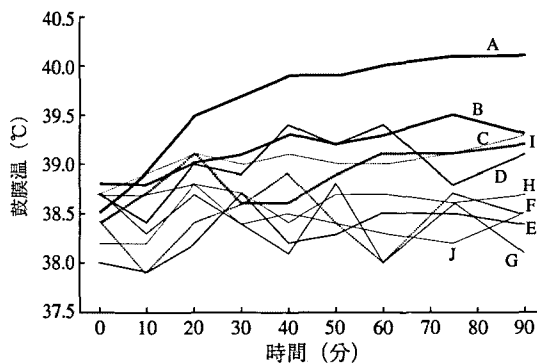


図3 時間経過ともなう各被験者の鼓膜温の変化。

ないわずかな上昇を示していた。最も高い心拍水準にあったのは被験者AとCであった。一方、最も低い心拍数レベルであったのは被験者Hであった。図2は全期間の心拍数の平均値と標準偏差を示したものである。被験者A、CおよびDが高い値を示しており、脊損レベルが高い被験者ほど高い心拍数を示す傾向が認められた。

図3は時間経過ともなう各被験者の鼓膜温の変化を示したものである。被験者Aは高体温である上に、時間経過とともに上昇し続けている。被験者B、C、DおよびIも高体温を示した。一方、他の被験者の鼓膜温は実験当初と比較しても大きな上昇は観察されておらず、車椅子テニス実施期間中はほぼ一定の鼓膜温であった。図4は実験期間中における各被験者の最高鼓膜温を示している。被験者A-Dの鼓膜温は他の被験者より高い値を示している。脊損レベルが低い被験者E以下ではIが高い値を示しているが、被験者A-D群とE-J群では鼓膜温の反応に違いが観察される。

図5は実験期間中における各被験者の最高平均皮膚温を示している。被験者A-Dは37°Cを超える高い平均皮膚温を示したのに対し、脊損レベルが低い被験者E以下はすべて37°C以下であった。高い平均皮膚温を示したグループ(A-D)とその他のグループ(E-J)の皮膚温を比較すると、胸部および上腕部ではそれほど大きな差は認められ

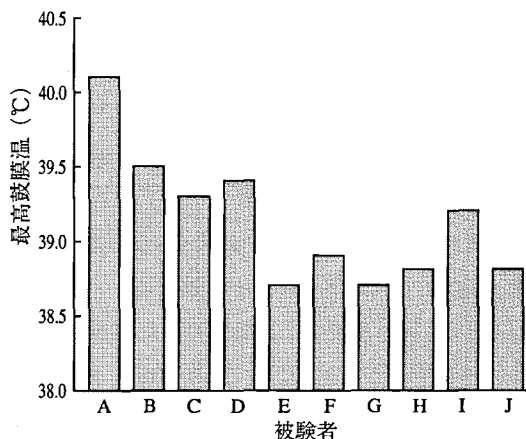


図4 実験期間中における各被験者の最高鼓膜温

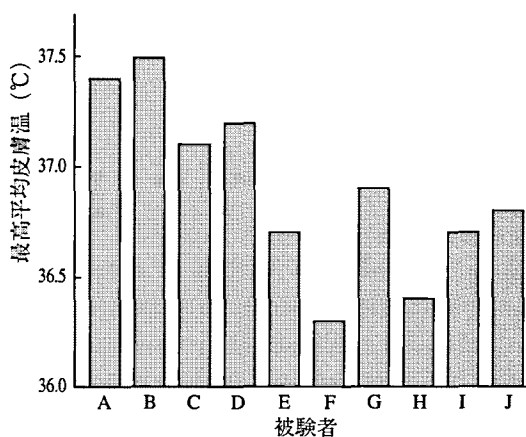


図5 実験期間中における各被験者の最高平均皮膚温

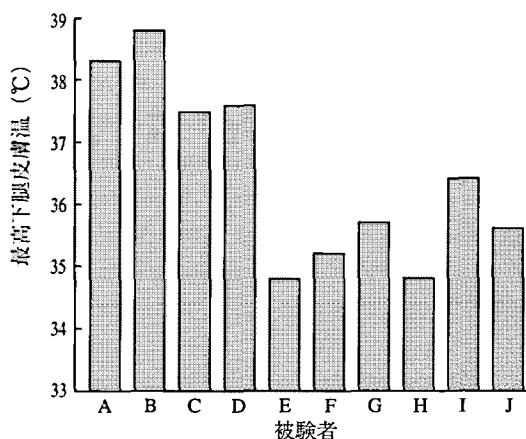


図6 実験期間中における各被験者の最高下腿皮膚温

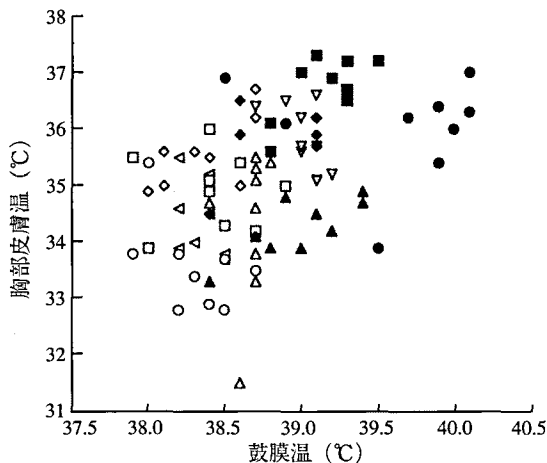


図7 鼓膜温と胸部皮膚温の関係  
(黒：Th7, 8以上, 白：Th11以下)

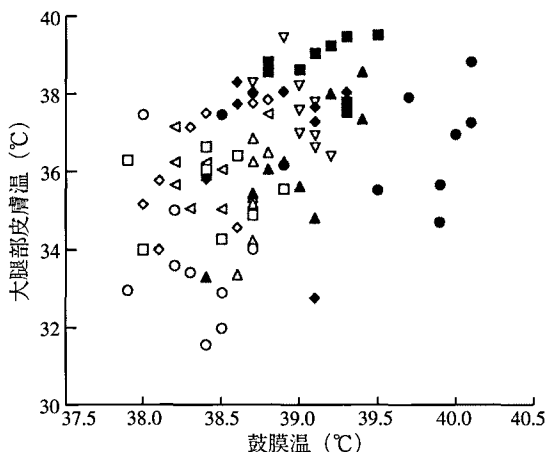


図8 鼓膜温と大腿部皮膚温の関係  
(黒：Th7, 8以上, 白：Th11以下)

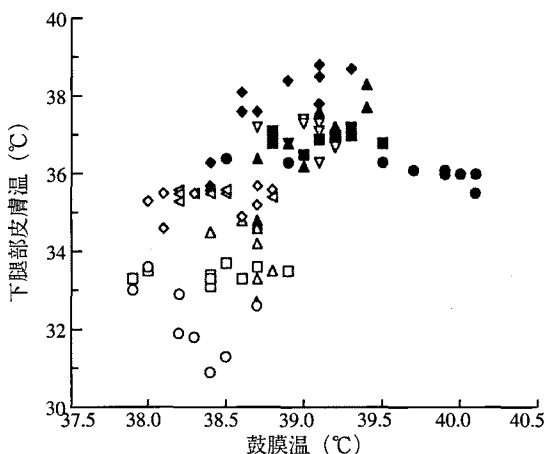


図9 鼓膜温と下腿部皮膚温の関係  
(黒：Th7, 8以上, 白：Th11以下)

なかったが、大腿部および下腿部と下肢になるにつれ明確な差が観察された。図6は全期間中における各被験者の最高下腿皮膚温を示したものである。被験者A-Dと被験者E以下の最高下腿皮膚温には明らかな差が観察される。

図7, 図8および図9はそれぞれ鼓膜温と胸部, 大腿部および下腿部皮膚温との関係をみたものである。それぞれの皮膚温は鼓膜温を測った時点の値である。各図中, 黒く塗りつぶしてある印は被験者A-Dの値であり, 白抜きのもは被験者E-Jの値である。どの図においても全体的に黒色の印は右方向, すなわち鼓膜温が高い方に集まっている。

一方, 胸部皮膚温では黒あるいは白の印が上下の方向に集まっておらず(図7), 被験者A-DとE-Jでは大きな胸部皮膚温の差がなかったことを示している。ところが, 大腿部皮膚温になると黒い印が上に集まっている(図8)。このことは大腿部皮膚温には両グループに差があったことを示している。図9の下腿部皮膚温になると, 黒と白の印は明確に上下左右に分かれており, 鼓膜温だけでなく下腿部皮膚温にも明らかな差があったことを示している。

### 3. 考 察

本実験は梅雨の合間の晴天の日に行った。環境温は30℃を超える暑さであったために脊損者にとっては過酷な条件であった。事実, 頸髄損傷者は測定を始める前の準備段階において体温上昇による身体の不調を訴え, その後の測定を断念せざるを得なかった。一方, 胸髄および腰髄損傷者は身体に不調を訴えることなく車椅子テニスを行った。しかし, 測定中の飲水を禁止していたために, 終了直後に強い喉の渇きを訴えたのでただちにスポーツ飲料水を与えた。測定中に水分を与えると発汗や循環系に影響がでるために結果の解釈が複雑になるのではないかと判断し, 測定中の飲水を

禁止したのである。しかし、今回のような環境下での脊損者を対象とした実験では、定期的に一定量の水分を与える必要があることを痛感した。

脊損者の発汗あるいは皮膚血管運動は基本的には脊損レベル以下の麻痺部では起こらない<sup>15)</sup>。しかし、同じ損傷レベルと判定されていたとしても、発汗機能および皮膚血管運動の障害程度はさまざま、障害の発現様式には個人差が大きい。本研究の被験者においても、自己申告による無発汗部位はほぼ麻痺部と一致していたが、左右差があったり、同じ損傷レベルの被験者であっても全く同じ発汗部位・程度ではなかった。

本研究結果は脊損レベルにより体温の上昇に大きな差があることが示された。とくに被験者DとEの間には鼓膜温および皮膚温とも大きな違いがあった。これには発汗部位の広さおよび皮膚血管運動の有無が大きく影響しているものと考えられる。

通常発汗が起これると放熱が著しく促進することから皮膚温は低下する。しかし、発汗が起こらない部位では皮膚は乾燥し、外気温の影響を受けて皮膚温は上昇するのである。本研究では胸部および上腕部皮膚温には脊損レベルによる違いは観察されなかったが、大腿部、下腿部と下肢になるにつれ脊損レベル上位者の皮膚温が高くなる傾向が認められた。麻痺部では発汗機能は低下しており<sup>16-17)</sup>、発汗による皮膚冷却効率が低下したことにより皮膚温が上昇したのである。発汗が起こらなければ当然のことながら核心部温は上昇する。被験者DとE間の大きな違いはTh11以下の被験者では全員上半身に発汗があったことである。脊損者では発汗部位の広さに比例して核心部温が上昇することから<sup>18)</sup>、被験者DとE間に体温上昇の顕著な差があったものと考えられる。

さらに、損傷レベルがT7, 8とTh11では皮膚血管運動に大きな違いがあることが示されている。Cooper et al. (1957)<sup>10)</sup>は脊損者の寝を温めること

による体温への影響を観察した。その結果、T10からC5までの脊損者の足の血管拡張は観察されなかったのに対し、T11およびT12ではわずかな血管拡張、およびL1では健常者と同様の血管拡張が認められた。血管拡張による熱放散が生じなかった結果、T10からC5までの脊損者では体温の著しい上昇が観察されたのである。さらに、暑熱環境曝露および運動により体温上昇が起こったとしても、Th11あるいはTh12あたりを境として、このレベルより高くなると交感神経性の皮膚血管運動が機能せず、大腿部の皮膚血流量は変化しないことが確かめられている<sup>19)-22)</sup>。したがって、T7, 8とTh11間に体温の上昇の程度に差があったのは、放熱のための麻痺部の血管拡張運動の有無も要因の一つとなっているものと考えられる。

#### 文 献

- 1) Randall, W. C., R. D. Wurswter, R. J. Lewin ; Responses of patients with high spinal transection to high ambient temperatures, *J. Appl. Physiol.*, 21, 985-993 (1966)
- 2) Sawka, M. N., W. A. Latzka, K. B. Pandolf ; Temperature regulation during upper body exercise (able-bodied and spinal cord injured), *Med. Sci. Sports Exercise*, 21, 132-140 (1989)
- 3) Guttman, L., J. Silver and C. H. Wyndham ; Thermoregulation in spinal man, *J. Physiol.*, 142, 406-419 (1958)
- 4) Attia, M. and P. Engel ; Thermoregulatory set point in patients with spinal cord injuries (spinal man), *Paraplegia*, 21, 233-248 (1983)
- 5) Attia, M. and P. Engel ; Thermoregulatory set-point in paraplegics. *Thermal Physiology*, J. R. S. Hales (Ed.), *New York Raven Press*, 79-82 (1984)
- 6) Downey, J. A., C. E. Huckaba, S. J. Myers, and R. C. Darling ; Thermo-regulation in the spinal man. *J. Appl. Physiol.*, 34, 790-794 (1973)
- 7) Fitzgerald, P. I., D. A. Sedlock, R. G. Knowlton ;

- Circulatory and thermal adjustments to prolonged exercise in paraplegic women. *Med. Sci. Sports Exerc.*, 22, 629-635 (1990)
- 8) Price, M. J., I. G. Campbell ; Thermoregulatory responses of spinal cord injured and able-bodied athletes to prolonged upper body exercise and recovery, *Spinal Cord*, 37, 772-779 (1999)
  - 9) Yamasaki, M., M. Shiokawa, S. W. Choi, S. Muraki ; Effect of acute heat exposure on skin blood flow of the paralyzed thigh in persons with spinal cord injury, *Spinal Cord*, 38, 224-228 (2000)
  - 10) Cooper, K. E., H. M. Ferres, L. Guttmann ; Vasomotor responses in the foot to raising body temperature in the paraplegic patient, *J. Physiol.*, 136, 547-555 (1957)
  - 11) Petrofsky, J. S.; Thermoregulatory stress during rest and exercise in heat in patients with a spinal cord injury, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 64, 503-507 (1992)
  - 12) Gerner, H. J., P. Engel, G. C. Gass, T. Hannich, G. Feldmann ; The effects of sauna on tetraplegic and paraplegic subjects, *Paraplegia*, 30, 410-419 (1992)
  - 13) 山崎昌廣, 米重祐馬, 深倉弘美, 高取直志, 橋口大輔, 脇真司; 脊髄損傷者のバスケットボール試合時の体温変動に関する研究, 中村裕記念身体障害者福祉財団平成11年度助成研究報告書, 37-46 (2000)
  - 14) Ramanathan, N. L. ; A new weighting system for mean surface temperature of the human body, *J. Appl. Physiol.*, 19, 531-533 (1964)
  - 15) Normell, L. A. ; Distribution of impaired cutaneous vasomotor and sudomotor function in paraplegic man, *Scan. J. Clin. Lab. Invest.*, 33, Suppl. 138, 25-41 (1974)
  - 16) Huckaba, C. E., D. B. Frewin, J. A. Downey, H. S. Tam, R. C. Darling, and H. Y. Chen ; Sweating responses of normal, paraplegic and anhidrotic subjects. *Med. Rehabil.*, 57, 268-274 (1976)
  - 17) Seckendolf, R., and W. C. Randall. ; Thermal reflex sweating in normal and paraplegic man. *J. Appl. Physiol.*, 16, 796-800 (1961)
  - 18) Dawney, J. A., C. E. Huckaba, P. S. Kelley, H. S. Tam, R. C. Darling, and H. Y. Chen ; Sweating responses to central and peripheral heating in spinal man. *J. Appl. Physiol.*, 40, 701-706 (1976)
  - 19) Muraki, S., M. Yamasaki, K. Ishii, K. Kikuchi, K. Seki ; Relationship between core temperature and skin blood flux in lower limbs during prolonged arm exercise in persons with spinal cord injury. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 72, 300-304 (1996)
  - 20) Muraki, S., M. Yamasaki, Y. Ehara, K. Kikuchi, and K. Seki ; Effect of maximal arm exercise on skin blood flux in the paralyzed lower limbs in persons with spinal cord injury, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 74, 481-483 (1996)
  - 21) 山崎昌廣, 村木里志; 車椅子常用脊髄損傷者の運動時循環応答. *Jap. J. Sports Sci.*, 15, 101-106 (1996)
  - 22) 山崎昌廣, 村木里志; 脊髄損傷者の暑熱環境下および運動時の体温調節反応特性, 医療体育, 19, 15-23 (2000)