

# 脊髄損傷競技者の暑熱環境下における体温調節， 皮膚血流及び浸透圧，ホルモン応答

管 原 正 志

長崎大学教育学部紀要 自然科学 第78号 別刷

平成22年3月

Bulletin of Faculty of Education, Nagasaki University

Natural Science No. 78 (March 2010)

## 脊髄損傷競技者の暑熱環境下における体温調節, 皮膚血流及び浸透圧, ホルモン応答

長崎大学教育学部生活健康講座

管 原 正 志

Studies of physiological responses of thermoregulation,  
skin blood flow, osmolality, and catecholamine during  
exercise in wheelchair athletes in a hot environment

Masashi SUGAWARA

Department of Exercise Physiology, Faculty of Education, Nagasaki University

(Received October 30, 2009)

This study was carried out to clarify characteristics of responses of thermoregulation and other physiological responses in wheelchair athletes with spinal cord injury during exercise in a hot environment. Evaluations were made in a climatic chamber at a moderate exercise intensity and during actual training (field). The subjects were 5 wheelchair marathon racers (MG), 5 wheelchair basketball players (BG), and 5 healthy male college students (SG). The measurements were performed between late July and mid-October. In the climatic chamber, the subjects exercised on an arm cranking ergometer at 60%  $VO_{2max}$  for 60 minutes after a 60-minute rest at a room temperature of 35°C and a relative humidity of 60%. In the field, the subjects of Group MG drove the wheelchair at a mean speed of 35 km/h for 90 minutes in a 2-km outdoor course, those of Group BG performed routine practice for 90 minutes in the gymnasium, and those of Group SG performed 90-minute running. The WBGT (wet bulb globe temperature) in the field was 29.40-34.91°C. The subjects was allowed free access to a sports beverage during the exercise. The items measured were heart rate, mean skin temperature, sweat loss, skin blood flow, tympanic temperature, blood lactate, osmolality and catecholamine level.

A. In a hot climatic chamber, mean skin temperature during exercise was higher in MG and BG than in SG. Sweat loss during exercise was smaller in MG and BG than in SG. During exercise, skin blood flow increased rapidly in all 3 groups, but it was always greater in MG and BG than in SG. The increase in tympanic temperature during exercise was greater in MG and BG than in SG. Catecholamine increased with adrenaline, noradrenaline, and dopamine progressively at 30 minutes after the beginning of exercise and at the end of exercise, and its increase was slightly greater in MG and BG

than in SG.

B. In the field, the heart rate during exercise was 132beats/min (bpm) in MG, 138 bpm in BG, and 133 bpm in SG. Mean skin temperature during exercise was highest in BG, followed by MG, and lowest in SG. Sweat loss during exercise was smaller in MG and BG than in SG, but there was no difference in the fluid intake. The increase in tympanic temperature during exercise was the largest in BG and smallest in SG. Adrenaline, noradrenaline, dopamine, blood lactate and osmolality increased after the beginning of exercise, and its increase was slightly greater in MG and BG than in SG.

The sensitivity of thermoregulation during exercise was lower in the wheelchair athletes than in normal college students in the climatic chamber and outdoor and indoor exercise situations, probably because spinal cord injury has a considerable effect on thermoregulation during exercise in a hot environment. When wheelchair athletes exercise in a hot environment, special precautions such as a sufficient fluid intake and avoiding hot hours are recommended to avoid heatstroke.

## I. 緒言

近年、脊髄損傷者のスポーツに対する関心は高まり、車椅子による競技人口が増加している。生体が暑熱ストレスにさらされた際に、神経系・内分泌系を介して恒常性が維持され、環境に対する適応機転が図られることは周知の通りであるが、脊髄損傷者の暑熱環境下での運動ストレスにおける恒常性維持機序については、いまだ十分に解明されていない。

これまで管原らは、健常者の寒冷下運動負荷での体温調節反応と末梢血管反応<sup>1-8)</sup>、暑熱下運動負荷での体温調節反応<sup>9-11)</sup>についての検討、そして脊髄損傷者の恒常性維持機序について、車椅子マラソン競技者の寒冷環境下での運動負荷時における体温調節反応、末梢血管調節反応およびホルモン応答<sup>12)</sup>を検討し、健常者も脊髄損傷者も寒冷下での体温調節反応と末梢血管調節反応は、運動経験年数によって耐寒性の獲得に差異があることを認め、自律神経調節系もこれに同調していることを明らかにした。

本研究では、暑熱下での脊髄損傷競技者（車椅子マラソン競技者、車椅子バスケット競技者）の運動時における自律性体温調節、皮膚血流量及びホルモンについてその動態を明らかにすることで、競技人口が多くなっている脊髄損傷競技者に対して quality of life (QOL) の向上に寄与できる。

## 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、脊髄損傷者で車椅子マラソン競技者5名 (MG)、車椅子バスケット競技者5名 (BG)、そして健康な大学生男子5名 (SG) である。体格と最大酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2\max$ ) を表1に示した。 $\dot{V}O_2\max$  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. 測定時期

測定は、2001年7月下旬より10月中旬の間、及び2002年7月下旬より9月中旬の間である。

### C. 2001 年の測定条件

測定は, 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, 長袖シャツにトレーニングパンツで平均環境温度 35°C, 平均相対湿度 60%そして平均気流 0.5m/sec の測定室にて 60 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 (K923, Technol Seven) 及び鼓膜温 (Tty) (赤外線鼓膜体温計, ジニアス) は 1 分間隔で記録し, 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, 緒方の方法<sup>13)</sup>により面積比率を加重負荷して求めた。皮膚血流量は, 前腕部 (レーザー血流計, アドバンス ALF21) を測定した。採血は, 安静, 運動開始後 30 分そして運動終了時 60 分に行い, 血中乳酸, アドレナリン, ノルアドレナリン, ドーパミン, 浸透圧を測定した。

また, 飲水量は, 個人専用の 1 リッター飲用水用ボトルを準備し, 飲水前後のボトル重量をデジタル・クッキング・スケール (タニタ) によって測定した。また, 飲料水は大塚製薬より提供されたスポーツドリンク (成分は Na<sup>+</sup>: 23mEq/ℓ, Cl<sup>-</sup>: 18mEq/ℓ, K<sup>+</sup>: 5mEq/ℓ, クエン酸: 10mEq/ℓ, 糖: 約 7 g /100ml) を用い, これを 3 倍に希釈し 5~15°C の温度範囲に保った。発汗量は, 50g 精度のデジタル体重計 (A & D, UC-300) を用いて練習前と練習後に汗を十分拭き取った状態のパンツ 1 枚で計測し, 発汗量や脱水率, 水分補給率を次式により算出した。

発汗量 (kg) = (練習前体重 + 飲水量) - 練習後体重

脱水率 (%) = (練習前体重 - 飲水量) / 練習後体重 × 100

水分補給率 (%) = (飲水量 / 発汗量) × 100

### D. 2002 年の測定条件

測定は, 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, フィールドでの運動負荷を, 車椅子マラソン競技者は一周 2 km のコースを平均 32.5km/h の速度で 90 分間の練習, 車椅子バスケット競技者は体育館内において 90 分間の通常の練習, 大学生は一周 2 km のコースを 90 分間ランニングをそれぞれ実施した。運動中は自由飲水とした。測定項目は, 皮膚温 (TEMP-8A, ニューロサイエンス) 及び鼓膜温 (Tty) (赤外線鼓膜体温計, ジニアス) 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, 緒方の方法<sup>13)</sup>により面積比率を加重負荷して求めた。採血は, 安静, 運動開始後 45 分そして運動終了時 90 分に行い, 血中乳酸, アドレナリン, ノルアドレナリン, ドーパミン, 浸透圧を測定した。また, 運動中の飲水量, 発汗量, 脱水率, 水分補給率を求めた。2002 年の測定時刻は, 日射や気温の高い時間帯を避け 8 時より 10 時の間に実施した。フィールドでの環境温度は, WBGT で屋外平均 34.91°C, 屋内平均 29.40°C であった。[WBGT (湿球黒球温度): 屋外 = 0.7NWB + 0.2GT + 0.1NDB, 屋内 = 0.7NWB + 0.3GT, 乾球温度 (NDB), 湿球温度 (NWB), 黒球温度 (GT)]

得られた 2001 年, 2002 年の全ての数値は, 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 で行った。

### Ⅲ. 結果

#### A. 人工気候室での測定

表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。 $\dot{V}O_2\max$ にMG, BG, SGの違いは認められなかった。

表1 被験者の身体的特性

		年齢	身長	体重	$\dot{V}O_2\max$
		yr	cm	kg	l/min
MG (N=5)	mean	31.6	162.3	52.2	3.28
	SD	$\pm 7.8$	$\pm 2.9$	$\pm 3.2$	$\pm 0.74$
BG (N=5)	mean	33.1	164.2	58.4	3.12
	SD	$\pm 8.3$	$\pm 3.1$	$\pm 2.4$	$\pm 0.77$
SG (N=5)	mean	21.8	171.60	64.5	3.22
	SD	$\pm 1.7$	$\pm 4.5$	$\pm 3.6$	$\pm 0.57$

MG: 車椅子マラソン競技者  
BG: 車椅子バスケット競技者  
SG: 大学生

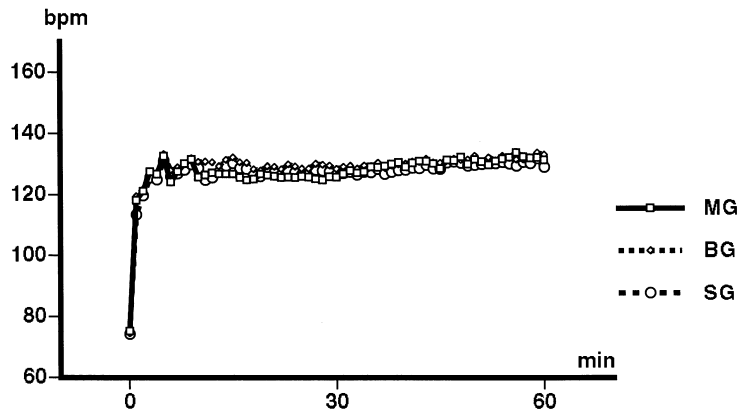


図1 人工気候室での運動中における心拍数の変化

MG: 車椅子マラソン競技者  
BG: 車椅子バスケット競技者  
SG: 大学生

図1に心拍数を示した。相対的運動負荷強度であったので, MG, BG, SGの心拍数に差はなかった。表2に人工気候室の運動中の飲水量, 発汗量, 脱水率, 水分補給率を示した。飲水量はBGが多く, 次いでMG, SGであり, 発汗量はSGが多く, MG, BGの順であった。従って, 脱水率はBGが少なく, 水分補給率はBGが多かった。図2に前腕血流量を示した。前腕の血流は運動開始30分まではMG, BG, SG共に増加し, 更に60分までは横

這いであった。図3に平均皮膚温を示した。MG, BG は運動後30分までは、SGより大きく上昇したが、その後、MG, BG, SG共に発汗により低下しているが、SGは終始低値であった。図4に鼓膜温を示した。MG, BG, SG共に運動と共に上昇し、MG, BGの上昇が、SGよりも大きかった。図5にアドレナリンを示した。MG, BG, SG共に運動と共に増加した。ノルアドレナリン、ドーパミンともにアドレナリン同様の推移であった。図6に浸透圧を示した。MG, BGの上昇は、SGよりも大きかった。

表2 人工気候室での arm cranking 運動中の飲水量, 発汗量, 脱水率, 水分補給率

		MG		BG		SG	
		mean	SD	mean	SD	mean	SD
飲水量	kg	0.320	0.311	0.350	0.211	0.300	0.370
発汗量	kg	1.120	0.540	1.130	0.432	1.200	0.403
脱水率	%	1.5	0.4	1.3	0.5	1.4	0.4
水分補給率	%	28.6	5.8	31.0	5.2	25.0	4.8

MG: 車椅子マラソン競技者  
 BG: 車椅子バスケット競技者  
 SG: 大学生

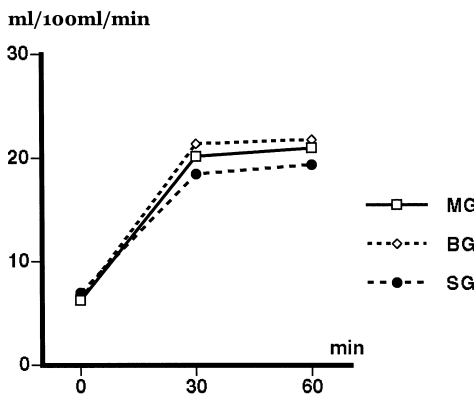


図2 人工気候室での運動中における前腕皮膚血流量の変化

MG: 車椅子マラソン競技者  
 BG: 車椅子バスケット競技者  
 SG: 大学生

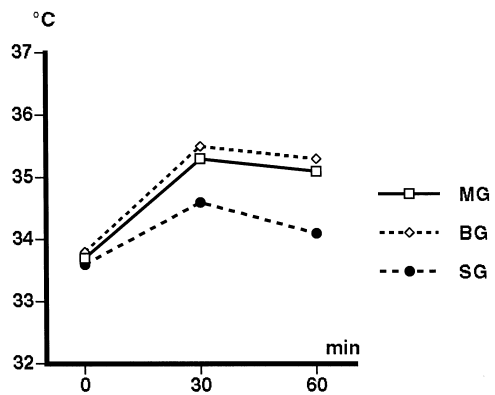


図3 人工気候室での運動中における平均皮膚温の変化

MG: 車椅子マラソン競技者  
 BG: 車椅子バスケット競技者  
 SG: 大学生

### B. フィールドでの測定

図7に心拍数を示した。運動中の平均心拍数は、MG131.7beats/minとSG132.8beats/minがほぼ同じであるが、BG137.7beats/minと多かった。表3にフィールドでの運動中の飲水量, 発汗量, 脱水率, 水分補給率を示した。傾向は、人工気候室と同

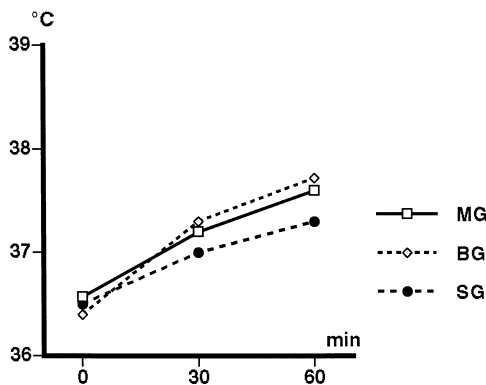


図4 人工気候室での運動中における鼓膜温の変化

MG：車椅子マラソン競技者  
BG：車椅子バスケット競技者  
SG：大学生

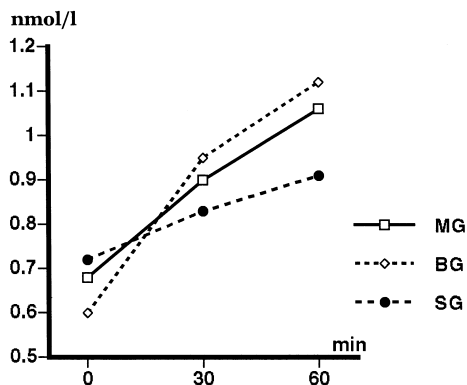


図5 人工気候室での運動中におけるアドレナリン (A) の変化

MG：車椅子マラソン競技者  
BG：車椅子バスケット競技者  
SG：大学生

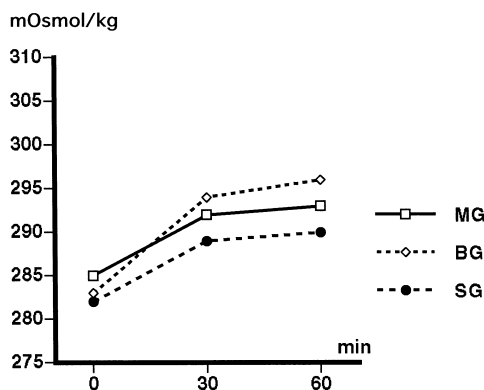


図6 人工気候室での運動中における血漿浸透圧の変化

MG：車椅子マラソン競技者  
BG：車椅子バスケット競技者  
SG：大学生

様であった。図8に平均皮膚温を示した。運動後45分までは、BGがMG、SGより上昇し、その後、発汗によりいずれも低下したが、BGは相対的にMG、SGより高かった。図9に鼓膜温を示した。上昇の程度は、BGがMG、SGより大きかった。図10にアドレナリンを示した。MG、BG、SG共に運動と共に増加し、その増加はMG、BGがSGより大きかった。ノルアドレナリン、ドーパミンともに同様であった。図11に浸透圧を示した。MG、BGの上昇は、SGよりも大きかった。

#### IV. 考察

山田ら<sup>14)</sup>によると、暑熱下での自転車エルゴメータ運動で、運動鍛錬者は非鍛錬者より

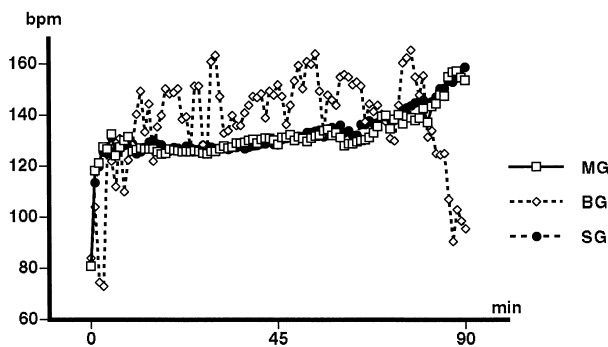


図7 フィールドでの運動中における心拍数の変化

MG: 車椅子マラソン競技者  
 BG: 車椅子バスケット競技者  
 SG: 大学生

表3 フィールドでの運動中の飲水量, 発汗量, 脱水率, 水分補給率

		MG		BG		SG	
		mean	SD	mean	SD	mean	SD
飲水量	kg	1.150	0.711	1.220	0.66	1.220	0.570
発汗量	kg	2.650	0.670	2.520	0.713	2.720	0.720
脱水率	%	2.9	0.5	2.2	0.6	2.3	0.4
水分補給率	%	43.4	6.4	48.4	5.9	44.9	5.5

MG: 車椅子マラソン競技者  
 BG: 車椅子バスケット競技者  
 SG: 大学生

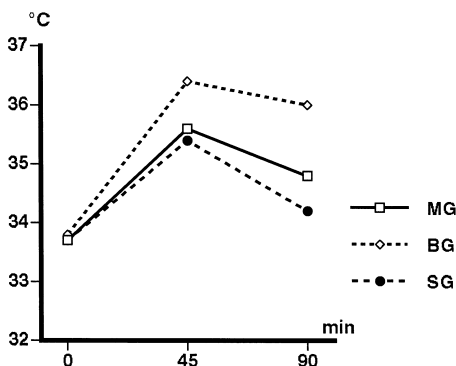


図8 フィールドでの運動中における平均皮膚温の変化

MG: 車椅子マラソン競技者  
 BG: 車椅子バスケット競技者  
 SG: 大学生

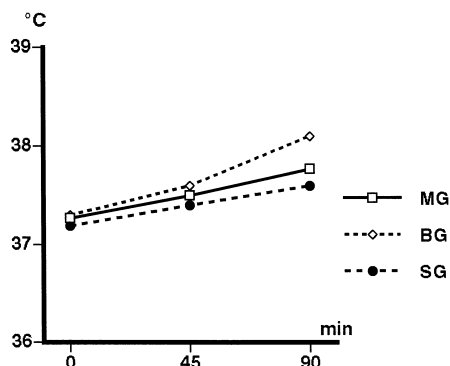


図9 フィールドでの運動中における鼓膜温の変化

MG: 車椅子マラソン競技者  
 BG: 車椅子バスケット競技者  
 SG: 大学生



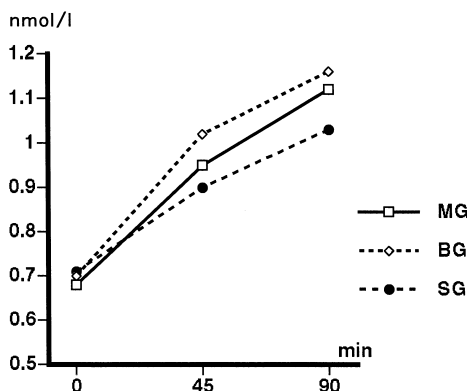


図 10 フィールドでの運動中におけるアドレナリン (A) の変化

MG：車椅子マラソン競技者  
BG：車椅子バスケット競技者  
SG：大学生

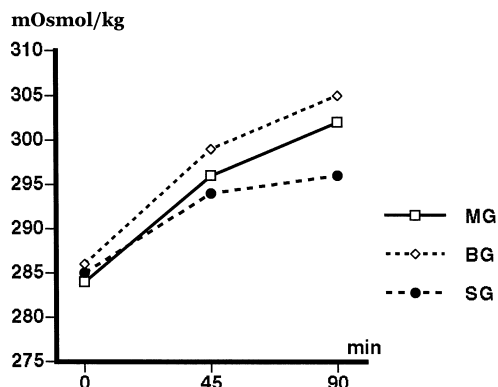


図 11 フィールドでの運動中における血漿浸透圧の変化

MG：車椅子マラソン競技者  
BG：車椅子バスケット競技者  
SG：大学生

高温に対する生理的応答の変動が少なく、優れていることを明らかにしている。本研究での被験者は、運動経験年数は比較的長く、呼吸循環機能の指標である最大酸素摂取量から見ても生理的応答は一般の鍛錬者と同じと見られる。暑熱下における生理的反応の違いは、人工気候室よりもフィールドにおいて顕著に見られた。すなわち、SGよりもMG、BGの鼓膜温、平均皮膚温、血漿浸透圧が高く、またMGとBGではBGの方が高かった。Scottら<sup>15)</sup>は、運動に伴う血漿浸透圧の上昇が血液の濃縮と密接に関係し、それが深部体温の上昇とも関係のあることを報告している。このように、人工気象室と暑熱下屋外、屋内各運動現場での運動時における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低くかったのは、脊髄損傷が暑熱下運動時の体温調節に少なからず影響を及ぼしていることが示唆され、暑熱下での車椅子競技者の運動に際しては、熱障害発生の予防として、十分な水分補給や温度の高い時間帯を避けるなどの工夫が望まれる。

## V. まとめ

研究の目的は、脊髄損傷競技者の暑熱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。2001年は人工気象室において相対的な運動強度での反応、2002年は実際の運動現場（フィールド）での検討を実施した。被験者は、脊髄損傷者で車椅子マラソン競技者5名（車椅子競技者）、車椅子バスケット競技者5名（車椅子競技者）、そして健康な大学生男子5名（鍛錬者）である。測定は、2001年と2002年の7月下旬より10月中旬に実施した。人工気象室は、室温35℃、相対湿度60%の条件の中で半袖シャツに長ズボンで60分間安静の後、arm cranking ergometer運動を60% $\dot{V}O_2$ maxで60分間負荷した。フィールドでの運動負荷は、車椅子マラソン競技者は一周2 kmのコースを平均32.5km/hの速度で90分間の練習、車椅子バスケット競技者は体育館内において90分間の通常の練習、大学生は一周2 kmのコースを90分間のランニングをそれぞれ実施した。フィールドでのWBGTは、屋外平均34.91℃、屋内平均29.40℃であった。

運動中は自由飲水とした。測定項目は, 心拍数, 飲水量, 発汗量, 平均皮膚温, 前腕皮膚血流量, 鼓膜温そして血中カテコールアミン, 血中乳酸, 浸透圧である。

A. 人工気象室での運動中の平均皮膚温は, 車椅子競技者が大学生より増加が大きかった。運動による発汗量は, 車椅子競技者が大学生よりも少ない傾向であった。前腕皮膚血流量は, 車椅子競技者, 大学生ともに急上昇したが, 終始車椅子競技者が大きかった。運動中の鼓膜温の上昇は, 車椅子競技者が大学生より大きかった。カテコールアミン (アドレナリン, ノルアドレナリン, ドーパミン) は, とともに運動開始後 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い傾向であった。車椅子マラソン競技者と車椅子バスケット競技者との間には, 平均皮膚温, 発汗量, 皮膚血流量, 鼓膜温そしてカテコールアミン, 浸透圧に差はなかった。

B. フィールドでの運動中の平均心拍数は, 車椅子マラソン競技者 132beats/min, 車椅子バスケット競技者 138beats/min, 大学生 133beats/min であった。運動中の平均皮膚温は, 車椅子バスケット競技者が最も大きく, 車椅子マラソン競技者, 大学生の順であった。運動による発汗量は, 車椅子競技者の方が大学生より少なかったが, 飲水量に違いはなかった。運動中の鼓膜温の上昇は, 車椅子バスケット競技者が最も大きく, 大学生は小さかった。アドレナリン, ノルアドレナリン, ドーパミン, 浸透圧ともに運動開始後高くなり, その上昇は, 終始車椅子競技者が大学生より大きい傾向であった。

人工気象室と暑熱下屋外, 屋内各運動現場での運動時における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低くかったのは, 脊髄損傷が暑熱下運動時の体温調節に少なからず影響を及ぼしていることが示唆され, 暑熱下での車椅子競技者の運動に際しては, 熱障害発生の予防として, 十分な水分補給や温度の高い時間帯を避けるなどの工夫が望まれる。

## 文献

- 1) 管原正志, 中村正: 運動鍛錬と寒冷血管反応体力科学, 32(1), 1-7, 1983.
- 2) 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, 42(5), 495-501, 1993.
- 3) 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, 45(1), 101-109, 1996.
- 4) 管原正志, 田井村明博: 手指の温熱血管収縮反応に及ぼす運動トレーニングの影響, 日本運動生理学, 6(1), 47-53, 1998.
- 5) 管原正志, 田井村明博: ドイツ人とドイツ滞在日本人の手指における寒冷血管拡張反応と温熱血管収縮反応, 体力科学, 46(2), 221-228, 1997.
- 6) 管原正志, 田井村明博, 大渡伸, 上平憲: 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, デサントスポーツ科学, 20, 140-147, 1999.
- 7) 管原正志, Klaus Pleschka, 田井村明博, 高西敏正: 寒冷下運動負荷時の体温調節反応とカテコールアミンに及ぼす有酸素能力の影響, 体力・栄養・免疫学雑誌, 10(1), 39-45, 2000.
- 8) 管原正志, 向井友季子, 田井村明博: 若年女性の運動トレーニングが寒冷血管拡張反応に及ぼす影響, 体力科学, 53(3), 293-300, 2004.

- 9) 丹羽健市, 中井誠一, 朝山正巳, 平田耕造, 花輪啓一, 井川正治, 平下政美, 管原正志, 伊藤静夫: 運動時の環境温度と飲水量・発汗量及び体温に関する実態調査, 体力科学, 45, 9(1), 151-158, 1996.
- 10) 管原正志, 田井村明博: 暑熱環境下での運動時における輻射熱が生体に及ぼす影響, 長崎大学教育学部紀要—自然科学, 65, 15-20, 2001.
- 11) 管原正志, 田井村明博: ジュニア期における夏季バレーボール練習時の飲水量調査, 体力・栄養・免疫学雑誌, 13(1), 56-64, 2003.
- 12) 管原正志, 土屋勝彦, 田井村明博, 上平憲: 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, デサントスポーツ科学, 25, 42-48, 2004.
- 13) 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.
- 14) 山田敏男, 佐藤尚武, 田中信雄, 千賀康利, 長谷川豪志, 辻忠, 堀清記: 運動鍛錬者と非鍛錬者との耐熱性の比較. 体力科学, 27, 56-63, 1978.
- 15) Scott J. Montain and Edwaed F. Coyle. : Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of increases in blood volume., J. Appl. Physiol., 73 (3), 903-910, 1992.