

脊髄損傷者にとっての 効果的な運動時身体冷却法に関する研究

広島大学 山崎 昌廣
(共同研究者) 同 長谷川 博
同 高取 直志
同 金 奎 兌

Effective Body Cooling Method for Persons with Spinal Cord Injury during Exercise

by

Masahiro Yamasaki, Hiroshi Hasegawa,
Tadashi Takatori, Kyu Tae Kim
Department of Health Science Hiroshima University

ABSTRACT

The purpose of this study was to clarify the effects of water ingestion and wearing a cooling jacket on thermoregulatory responses during arm cranking exercise in persons with spinal cord injury. Six male paraplegics (L1 – Th6) exercised for 30 min at 20 watts in a hot environment (33 °C, 80% relative humidity) under three separate conditions; no drinking (ND), water ingestion (D) and water ingestion with wearing cooling jacket (DJ). Tympanic membrane temperature (T_{ty}), skin temperature and heart rate were continuously monitored. Although in any conditions T_{ty} increased during exercise, the rate of increase was smallest in DJ. Significant difference was noted between ND and DJ for T_{ty} (p<0.05). The arm and thigh skin temperatures were also lower in DJ in comparison to ND and D. Total sweat loss in DJ (190g) was significantly greater than those in ND and D (300g) (p<0.05). These results indicated that the subjects could improve the rate of heat storage and then diminish thermoregulatory strain in DJ. Furthermore, the lower T_{ty} despite lower

total sweat loss in DJ suggested the higher sweat efficiency (evaporative sweat loss / total sweat loss) when compared to ND and D.

要 旨

本研究の目的は、暑熱環境下での運動中水分摂取および冷却ジャケット着用が脊髄損傷者の体温調節反応におよぼす影響を明らかにすることであった。被験者は脊髄損傷者男子6名で (L1~Th6)、気温約33℃ (相対湿度約80%) の部屋で20ワットの負荷で腕回転運動を30分間行った。実験は飲水なし (ND)、飲水 (D) および飲水と冷却ジャケット着用 (DJ) の3条件であった。運動中、鼓膜温、皮膚温および心拍数を経時的に記録した。どの条件においても鼓膜温は上昇したが、DJ条件での上昇が最も小さく、運動終了時にはNDとDJ条件間で有意差が認められた ($p<0.05$)。上腕部および大腿部の皮膚温もDJ条件が低く、上腕部ではNDとDJ条件間に有意差が認められた ($p<0.05$)。全発汗量はDJ条件 (190g) の方がNDおよびD条件 (300g) より有意に低い値であった ($p<0.05$)。本結果から、飲水に加え冷却ジャケットを着用すると身体の許容蓄熱量に余裕ができ、運動中の体温上昇が抑制されることが明らかとなった。さらに、全発汗量はDJ条件で有意に低い値であったにもかかわらず、鼓膜温の上昇は抑えられた。このことはDJ条件では発汗効率が高かったことを示唆するものである。

緒 言

脊髄損傷者 (脊損者) は暑熱環境下での運動中、健常者と比較して核心部温が高くなることが知られている¹⁻³⁾。この上昇の主な原因は、麻痺部における発汗機能の障害^{4,5)} および血管運動障害⁶⁻⁹⁾ による放熱機能の低下によることが指摘されている。脊髄損傷レベル (脊損レベル) が高く

なるほど麻痺部は広がるので、脊損者の暑熱環境下での体温上昇は基本的には脊損レベルに依存しているのである^{10,11)}。

一般に、体温が上昇すると、運動パフォーマンスの低下を引き起こすことが知られている¹²⁾。したがって、暑熱環境下のスポーツの現場において、体温上昇レベルを抑えることは重要な要因になってくる。脊損者の場合、上述のように運動時の体温上昇が健常者より著しいので、これを抑えるための一層の工夫が必要となっている。

運動時の体温上昇を抑える方法として運動中の水分摂取が注目されてきた^{13,14)}。高取ら¹⁴⁾ は健常者を対象として、室温32℃、相対湿度80%という高温多湿の環境下で運動を60分間行わせ、運動中の水分摂取が体温調節反応におよぼす影響について検討した。その結果、水分摂取を行わない条件と比べ、水分摂取を行った条件の方が直腸温上昇を抑えられることを指摘し、さらに水分摂取間隔は5分ごとの短い間隔の方が有効発汗量を高く維持することができ、より効果的であることを証明した。体温調節機能が障害を受けている脊損者にとって、運動中の水分摂取が健常者と同じように効果的であるかどうかは興味深い問題である。

また、物理的な方法を用いて体温を低下させ、暑熱環境下でのパフォーマンスを高く維持しようという試みもなされている。Hasegawa et al.¹⁵⁾ は暑熱環境下での運動前に水の中に全身を浸すこと (プリクーリング) によって体温を低下させ、運動パフォーマンスへの効果を観察した。その結果、プリクーリングによる身体冷却はパフォーマンスの低下を防ぐことが明らかとなり、さらに運動中の水分摂取を併せて行くと、一層効果的であるこ

とが示された。このように運動前に体温を下げておくプリクーリングに対して、冷却ジャケットは運動中に体温上昇を抑制する方法であり、実際に競技現場においても注目されている体温冷却方法のひとつである。冷却ジャケット着用は脊損者にも有効と考えられるが、その効果に関する生理学的研究はほとんどなされていない。

近年、車椅子スポーツが盛んになり、炎天下で行われる競技も少なくない。体温調節機能が損なわれている脊損者にとって、いかに体温上昇を抑えるかという問題は熱中症を予防する上でも、また運動パフォーマンスを向上させる上でも大変重要になっている。そこで、本研究では脊損者を対象として、高温多湿の環境下での運動中水分摂取および冷却ジャケット着用が体温調節上昇抑制に効果があるかどうかを検討した。

1. 研究方法

1.1 被験者

被験者は脊損者男子6名であった。被験者の身体的特徴を表1に示している。すべての被験者は車椅子常用者であったが、被験者EおよびFは完全な対麻痺ではなく、下肢の一部に感覚は残っていた。さらに被験者Fは杖あるいは何かにつかまることによって立ち上がることができた。被験者には実験の開始1時間前からの摂食および飲水を控えるよう依頼し協力を得た。冷却ジャケットを着用する実験以外、実験中は半ズボンを着用し、

表1 被験者の特徴

	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	Level of Injury
A	52	170	72	Th6
B	54	160	56	Th7,8
C	26	175	50	Th12
D	49	176	75	Th12
E	58	164	73	Th12, L1*
F	44	172	57	L1*
Mean	47	170	64	
SEM	5	3	4	

*不完全損傷

上半身は裸体であった。実験に先立ち、被験者には本実験の目的および危険性についての十分な説明を行い、実験の被験者となることの同意を得た。

1.2 実験手順

被験者はまず約25℃（相対湿度50%）に設定された部屋において全裸体重を計った後、実験前の体水分状態を標準化するために体重の0.5%のミネラルウォーター（ナチュラルミネラルウォーター、日本コカコーラ株式会社）を摂取した。被験者はこの部屋で1時間自分の車椅子で安静を保ち、その間皮膚温および心拍数測定用電極を貼付し、最後の5分間に基礎データを収集した。

その後、室温約33℃、相対湿度約80%に設定された人工気象室に車椅子のまま移動し、さらに30分間の安静を保った。安静の後、被験者は腕回転エルゴメーター（Monark Rehab Trainer model 881E）を用いて20ワットの負荷で30分間運動を行った。この実験は運動時に水分摂取を行わなかったためND（no drinking）実験とした。運動終了後、直ちに全身の汗を拭き、全裸体重を測定した。運動中の体重減少量（総発汗量）を算出し、この値を基準として次の実験を行った。

一つは運動時にND実験で得られた発汗量と同じ水分量を2回に分けて摂取させるD（drinking）実験であって、運動開始直前にND実験での総発汗量の半分を飲み、さらに15分経過後に残りの半分を摂取した。もう一つの実験はこの水分摂取に加えて、冷却ジャケットを着用するDJ（drinking and jacket）実験である。冷却ジャケットはネプチューンクーリングジャケット（ニシスポーツ）を使用し、運動時の30分間だけ着用させた。このジャケットは、1996年にAIS（Australian Institute of Sport）が開発したのと同様のものである。実際にオーストラリアの選手たちは1996年のアトランタおよび2000年のシドニーオリンピックにおいてこのクーリングジャケット

を着用していた。このジャケットの素材は、断熱性の高いレオプレン製アウターと、内部のフリーズパック（前面4ヶ所、背面4ヶ所）で、体幹部のみを冷却するものである。本実験では、各フリーズパックに350 mlの水を入れ冷凍し、実験前にジャケットに8個挿入した。ジャケットの総重量は約3300gであった。DおよびDJ実験とも測定項目および手順はND実験と同様である。

DおよびDJ実験の順序はランダムに行い、日内リズムの影響を避けるために実験は毎日午後1時半から4時の間に実施した。

1. 3 測定項目

全裸体重は体重計（A&D社製、FW-150、精度±20g）を用い、被験者が体重計の台座に座って実験の前後に測定した。体温は核心部温の指標として鼓膜温、外郭温として前額部、胸部、上腕部、大腿部および下腿部の皮膚温を測定した。鼓膜温は赤外線鼓膜体温計（First Temp Genius 3000A, Sherwood Medical）を用い5分ごとに記録した。皮膚温は銅—コンスタンタン熱電対の先端を各部位に貼付し、データコレクター（安立計器社製 AM-7002）を用い、また心拍数はハートレートモニター（Polar社製 Accurex plus）を用いてそれぞれ毎分測定した。

口渇感（thirst level）はRolls et al.¹⁶⁾のスケールを用い、また温熱感（thermal sensation）はGagge et al.¹⁷⁾のスケールを用いそれぞれ5分ごとに測定した。さらに運動中の主観的運動強度を測定するために、Borgのスケール¹⁸⁾を用いて5分ごとに測定した。

1. 4 統計処理

鼓膜温および皮膚温は環境温25℃の部屋における値を基準として、この値からの上昇度を5分ごとに算出した。統計量はすべて平均値±標準誤差で示した。有意差検定はノンパラメトリック法

であるFriedman検定を用いて行い、実験条件間に有意差が認められた場合は、Wilcoxon検定により各実験条件間の検定を実施した。有意水準は5%未満とした。

2. 研究結果

鼓膜温の上昇度の経時的变化を図1に示している。33℃の部屋に暴露直後から鼓膜温は上昇し続けたが、運動を始めるとその直後に一過性に低下した。その後さらに上昇したが、ND条件での上昇が他の二つの条件より著しく、運動終了時にはNDとDJ条件では有意差が認められた ($p<0.05$)。

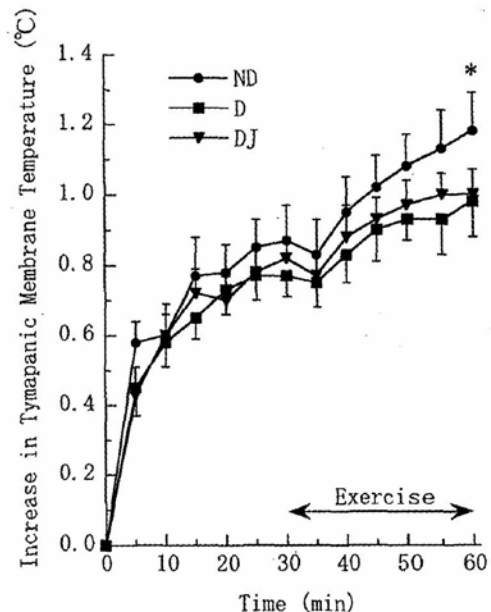


図1 水分摂取なし (ND)、水分摂取 (D) および水分摂取と冷却ジャケット (DJ) の3条件における鼓膜温の安静時（環境温25℃）からの上昇度（平均値および標準誤差）。*はNDとDJ間に有意差があったことを示す ($p<0.05$)

図2、3および4にそれぞれ前額部、上腕部および大腿部の皮膚温を示している。前額の皮膚温には実験条件の差がなく、実験中皮膚温は上昇し続けたものの、実験条件間に有意差は認められなかった。一方、上腕部の皮膚温は運動開始後10分頃から実験条件による違いが観察され、特にNDとDJ条件間には最後の10分間に有意差が認められた ($p<0.05$)。大腿部の皮膚温は上腕部と

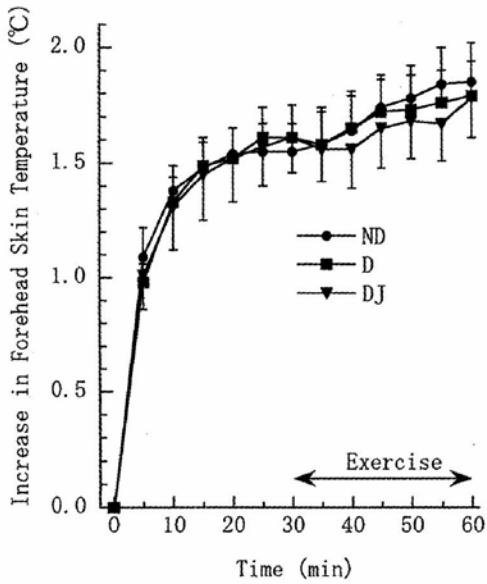


図2 水分摂取なし (ND), 水分摂取 (D) および水分摂取と冷却ジャケット (DJ) の3条件における前額皮膚温の安静時 (環境温25℃) からの上昇度 (平均値および標準誤差)

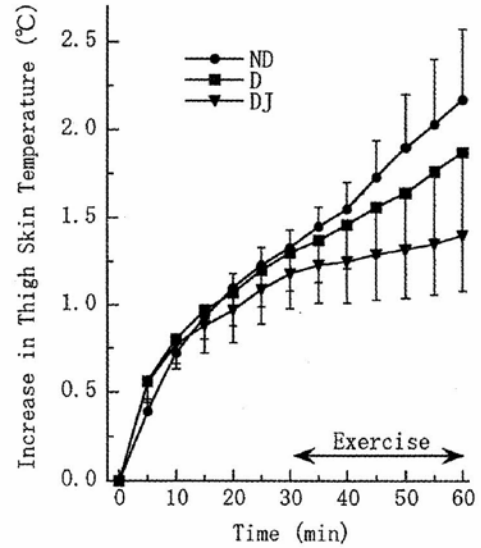


図4 水分摂取なし (ND), 水分摂取 (D) および水分摂取と冷却ジャケット (DJ) の3条件における大腿部皮膚温の安静時 (環境温25℃) からの上昇度 (平均値および標準誤差)

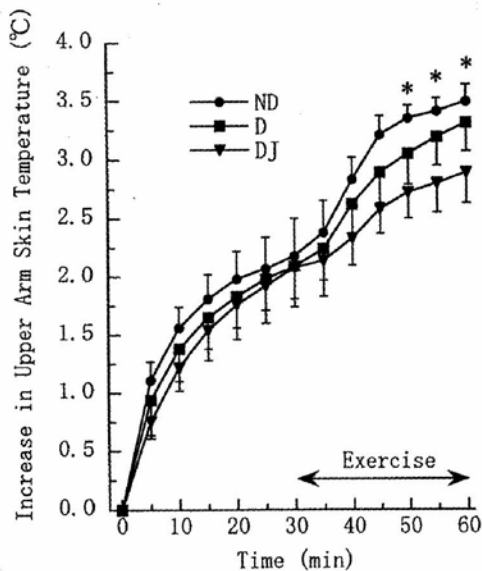


図3 水分摂取なし (ND), 水分摂取 (D) および水分摂取と冷却ジャケット (DJ) の3条件における上腕皮膚温の安静時 (環境温25℃) からの上昇度 (平均値および標準誤差). *はNDとDJ間に有意差があったことを示す (p<0.05)

同じように、運動が始まるとND条件での上昇度が最も大きく、次にD条件であったが有意差は観察されなかった。胸部の皮膚温は冷却ジャケットの中に入れていたフリーズパックが肌に当たっている場所とそうでない場所の温度差が著しく一定

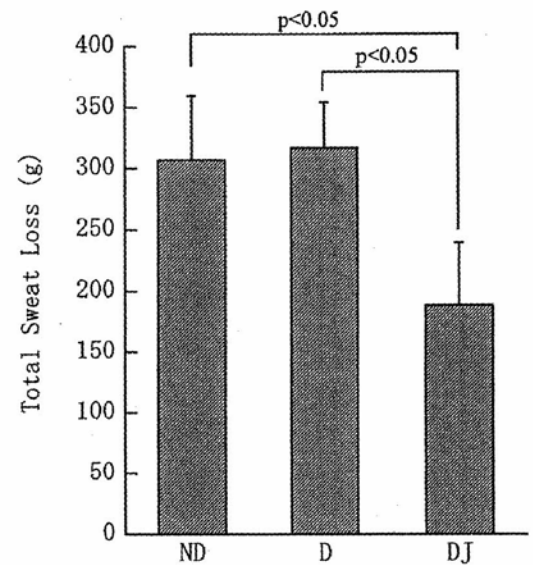


図5 水分摂取なし (ND), 水分摂取 (D) および水分摂取と冷却ジャケット (DJ) の3条件における総発汗量 (平均値および標準誤差)

した傾向をつかむことができなかった。また、下腿皮膚温には実験条件の差は観察されなかった。

図5には全発汗量 (体重減少量) を示している。NDおよびD条件下では約300gとほとんど同じ値を示した。一方、DJ条件では発汗量は顕著に減少し、約190gの発汗量であり、NDおよびD条件

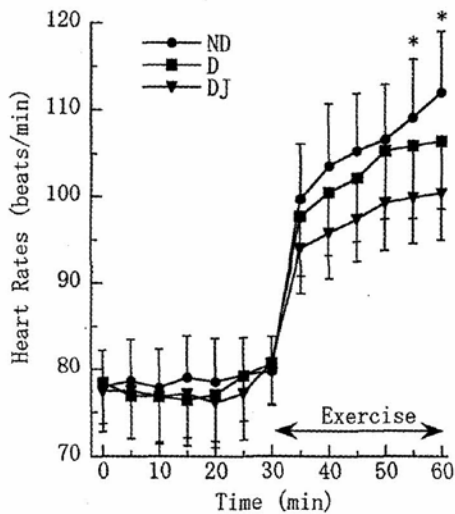


図6 水分摂取なし (ND), 水分摂取 (D) および水分摂取と冷却ジャケット (DJ) の3条件における心拍数. *はNDとDJ間に有意差があったことを示す ($p < 0.05$)

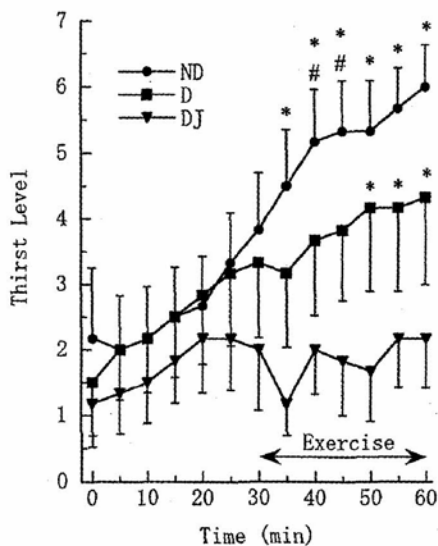


図7 水分摂取なし (ND), 水分摂取 (D) および水分摂取と冷却ジャケット (DJ) の3条件における口渴感 (平均値および標準誤差). *はDJとの間に有意差があったことを示し, #はNDおよびD間に有意差があったことを示す ($p < 0.05$)

とは有意差が認められた ($p < 0.05$).

図6には心拍数の経時的変化を示している. 運動時の心拍数はND条件が最も高く, DJ条件が最も低かった. 運動の最後の10分間にはNDとDJ条件間に有意差が認められた ($p < 0.05$).

図7には口渴感の変化を示している. 数値が高いほど口渴感が強いようにプロットしてある.

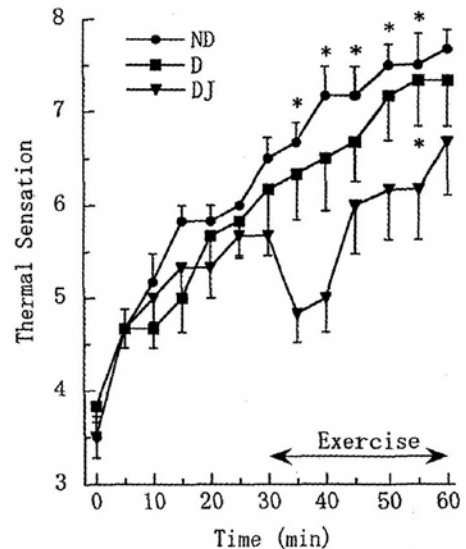


図8 水分摂取なし (ND), 水分摂取 (D) および水分摂取と冷却ジャケット (DJ) の3条件における温熱感 (平均値および標準誤差). *はDJとの間に有意差があったことを示す ($p < 0.05$)

ND条件では運動開始とともに急激に上昇し始め, 運動終了まで上昇が続いている. D条件では運動中上昇しているが, その上昇はND条件よりも緩やかであり, 運動中でも安静時における上昇パターンとほとんど変わらない. 一方, DJ条件では運動中の口渴感の上昇は観察されなかった. NDとDJ条件間には運動の5分後から有意差が認められた ($p < 0.05$). 温熱感の変化を図8に示した. 数値が高いほど暑く感じていることを示している. NDおよびD条件とも安静時からほぼ直線的に温熱感が増加している. ND条件では冷却ジャケットを着用直後に急激な低下を示し, その後はまた温熱感が増加している. 運動開始5分目からNDとDJ条件間には有意差が観察された ($p < 0.05$). RPEについては実験条件間に明確な違いは認められなかった.

3. 考 察

本研究結果のNDとD条件を比較すると, 鼓膜温, 皮膚温および心拍数はD条件の方が低い値を示したが, どの測定項目にも統計的有意差は観察されなかった. NDとD条件間で有意差が観察さ

れたのは Thirst level だけであった。Criswell et al.¹⁹⁾ は水と電解質溶液を飲水したときの影響を検討し、直腸温には有意差がなかったことを報告している。一方、McConell et al.²⁰⁾ は水分摂取量を発汗量と同量、発汗量の半分および水分摂取なしで実験を行い、発汗量と同量の水分を摂取したときの直腸温が他の条件より有意に体温が低かったことを報告した。これらの結果と本研究結果を考えあわせると、飲水の体温上昇抑制に関する効果は明確ではなく、環境条件、運動時間、運動強度などが影響しあっているため、結果を複雑なものにしていると考えられる。ただ、統計的有意差は認められなかったが、本研究においても ND と D では体温調節反応を含む生体反応は異なっており、より長くて厳しい暑熱環境であれば飲水は体温の上昇を防ぐ手法として有効であると思われる^{13, 14, 20-22)}。

最近、高取ら¹⁴⁾ は飲水の摂取間隔に着目して研究を行った。一般に、飲水量は体水分損失量と同量が望ましいとされている。そこで、高取らは運動中の総飲水量は体水分損失量と同量とし、飲水間隔を 5, 15 および 30 分間隔として暑熱環境下での 1 時間運動実験を行った。1 回の飲水量は総飲水量を飲水回数で割って決定した。運動終了時の直腸温が最も低い値を示したのは、5 分間隔で摂取した場合であった。さらに、総発汗量は変わらないが、有効発汗量と発汗効率（有効発汗量/総発汗量）は 5 分間隔の条件で有意に高いことを示した。これらの結果は水分摂取の間隔は短い方が体水分損失を適宜補給することで、熱放散に重要な有効発汗量を高く維持でき、そのため運動中の体温上昇が抑えられることを示している。

高取ら¹⁴⁾ の方法は本研究より運動時間は長く、さらに運動強度も強い。また、高取らの結果では飲水の影響が現れるのは運動開始後 30 分を過ぎてからであった。このような実験条件の違いにより、本研究では明確な飲水の影響が現れてこなかったものと思われる。

飲水に冷却ジャケットを着用させると体温の上昇が抑えられ、心拍数は低下し、温熱感も他の条件より低いことが示された。体温を冷却しておく、暑熱環境下での運動であっても体内の許容蓄熱量が増加し、高体温になるのを防ぐことができるのである²³⁻²⁵⁾。最近、Hasegawa et al.¹⁵⁾ は体温を運動前に冷却して体温を低下させ、さらに運動中は飲水させることによる体温調節反応の変動および運動パフォーマンスにおよぼす影響について研究した。体温冷却と飲水を併せた効果は大きく、他の実験条件と比較して直腸温の上昇は抑えられ、心拍数は低水準で、1 時間運動後の運動パフォーマンステストでも好成績を示した。さらに、総発汗量は少ないのに対し、有効発汗量の割合が高く、発汗効率が高いことが示された。体温調節反応に関する Hasegawa et al.¹⁵⁾ の結果は基本的には本研究結果と一致している。全発汗量は図 5 に示しているように DJ 条件で有意に低い値であったにもかかわらず、鼓膜温の上昇は抑えられたのである。本実験では有効発汗量の測定は行っていないが、これらの結果は発汗効率が高かったことを示唆するものである¹⁵⁾。

Th6 より高い損傷レベルでは発汗機能が損なわれるために、このレベル以下の脊損者とは体温調節能力に大きな違いがあるという報告がある²⁶⁾。本研究の被験者では最も高い脊損レベルは Th6 であった。被験者間には総発汗量の違いは観察されなかったが、Th6 の被験者は上半身からの発汗が顕著に多いのに対し、腰部以下の部位では発汗がほとんどないなどの発汗部位の違いが観察された。本研究ではこのような脊損レベルの影響には注目しなかった。しかしながら体温調節能力は脊損レベルに依存するので^{10, 11)}、今後はもっと損傷レベルの高い脊損者を対象として研究を進める必要があると思われる。

4. 結 語

本研究結果から、冷却ジャケット着用により脊損者が暑熱環境で運動を行っても体温上昇が抑制され、循環系の負担が軽減され、さらに主観的な温熱感も軽減されることが明らかとなった。しかしながら、今回用いた冷却ジャケットの総重量は冷却効果を最優先させたため約3.3kgにもなり、実際のスポーツ現場で使用するには重過ぎる。さらに、胸部から腹部にかけて冷却するために、被験者によっては頭部の暑さが強調され不快感を示す者もいた。本研究結果から、脊損者にとって冷却ジャケットの体温調節系への効果は明らかなので、今後は実用に供するジャケットの開発が望まれる。

文 献

- 1) Attia M., Engel P.: Thermoregulatory set point in patients with spinal cord injuries (spinal man), *paraplegia*, 21, 233-248 (1983)
- 2) Fitzgerald P.I., Sedlock D.A., Knowlton R.G.: Circulatory and thermal adjustments to prolonged exercise in paraplegic women, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 22, 629-635 (1990)
- 3) Sawka M.N., Lutzka W.A., Pandolf K.B.: Temperature regulation during upper body exercise: able-bodied and spinal cord injured, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 21, S132-S140 (1989)
- 4) Normell L.A.: Distribution of impaired cutaneous vasomotor and sudomotor function in paraplegic man, *Scand. J. Clin. Lab. Invest.*, 33, 25-41 (1974)
- 5) Tam H.S., Darling R.C., Chen H.Y., Downey J.A.: The dead zone of thermoregulation in normal and paraplegic man, *Can. J. Physiol. Pharmacol.*, 56, 976-983 (1978)
- 6) Muraki S., Yamasaki M., Ishii K., Kikuchi K., Seki K.: Effect of arm cranking exercise on skin blood flow of lower limb in people with injuries to the spinal cord, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 71, 28-32 (1995)
- 7) Muraki S., Yamasaki M., Ishii K., Kikuchi K., Seki K.: Relationship between temperature and skin blood flux in lower limbs during prolonged arm exercise in persons with spinal cord injury, *Eur. J. Appl. Physiol.*, 72, 330-334 (1996)
- 8) Yamasaki M., Shiokawa M., Choi S.W., Muraki S.: 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)
- 9) Yamasaki M., Kim K.T., Choi S.W., Muraki S., Shiokawa M., Kurokawa T.: Characteristics of body heat balance of paraplegics during exercise in a hot environment, *J. Physiol. Anthropol.*, 20, 227-232 (2001)
- 10) Gerner H.J., Engel P., Gass G.C., Gass E.M., Hannich T., Feldmann G: The effects of sauna on tetraplegic and paraplegic subjects, *Paraplegia*, 30, 410-419 (1992)
- 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) Hargreaves M., Febbraio M.: Limits to Exercise Performance in the heat, *Int. J. Sports Med.*, 19, S115-S116 (1998)
- 13) Armstrong L.E., Maresh C.M., Gabaree C.V., Hoffman J.R., Kavouras S.A., Kenefick R.W., Castellani J.W., Ahlquist L.E.: Thermal and circulatory responses during exercise: effects of hypohydration, dehydration, and water intake, *J. Appl. Physiol.*, 82, 2028-2035 (1997)
- 14) 高取直志, 長谷川博, 山崎昌廣, 小村 堯; 水分摂取の違いが暑熱下運動中の体温調節反応に与える影響, *体力科学*, 51, 317-324 (2002)
- 15) Hasegawa H., Takatori T., Komura T., Yamasaki M.: Combined effects of precooling and fluid ingestion on thermoregulation and performance during exercise in a hot, humid environment, (準備中)
- 16) Rolls B.J., Wood R.J., Rolls E.T., Lind H., Lind W., Ledingham J.: Thirst following water deprivation in humans, *Am. J. Physiol.*, 239, R476-R482 (1980)
- 17) Gagge A.P., Stolwijk A.J., Hardy J.D.: Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures, *Environ. Res.*, 1, 1-20 (1967)
- 18) Borg G.: Perceived Exertion: a note on "history" and methods, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 5, 90-93 (1973)
- 19) Criswell D., Powers S., Lawler J., Tew J., Dodd S., Iryiboz Y., Tulley R., Wheeler K.: Influence of a carbohydrate-electrolyte beverage on performance

- and blood homeostasis during recovery from football, *Int. J. Sport. Nutr.*, 1, 178-191 (1991)
- 20) McConell G.K., Burge C.M., Skinner S.L., Hargreaves M.: Influence of ingested fluid volume on physiological responses during prolonged exercise, *Acta. Physiol. Scand.*, 160, 149-156 (1997)
- 21) Below P.R., Mora-Rodriguez R., Gonzalez-Alonso J., Coyle E.F.: Fluid and carbohydrate ingestion independently improve performance during 1h of intense exercise, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 27, 200-210 (1995)
- 22) Montain S.J., Coyle E.F.: Influence of the timing of fluid ingestion on temperature regulation during exercise, *J. Appl. Physiol.*, 75, 688-695 (1993)
- 23) Booth J., Marino F., Ward J.J.: Improved running performance in hot humid conditions following whole body precooling, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 29, 943-949 (1997)
- 24) Cotter J.D., Sleivert G.G., Roberts W.S., Febbraio M.A.: Effect of pre-cooling, with and without thigh colling, on strain and endurance exercise performance in the heat, *Comp. Biomech. Physiol.*, 128, 667-677 (2001)
- 25) Kay D., Taaffe D.R., Marino F.F.: Whole-body pre-cooling and heat storage during self-paced cycling performance in warm humid conditions, *J. Sports Sci.*, 17, 937-944 (1999)
- 26) Guttman L., Silver J., Wyndham C.H.: Thermoregulation in spinal man, *J. Physiol.*, 142, 406-419 (1958)