

下肢切断アスリートの夏季活動現場における 体温変化の実態調査と身体冷却の有効性

広島大学病院	福原幸樹
(共同研究者) 同	島田雅史
同	山本光希
同	浅枝諒
同	三上幸夫

Investigation of Body Temperature Changes of Lower Limb Amputated Athletes at Summer Activity Site and Effect of Body Cooling

by

Kouki Fukuhara, Masashi Shimada,
Mitsuki Yamamoto, Makoto Asaeda
Hiroshima University Hospital, Sports Medical Center
Yukio Mikami
Hiroshima University Hospital, Department of Rehabilitation

ABSTRACT

There are increasing opportunities for people with impairments to enjoy sports, but there are reports of heat stroke accidents. Understanding of the thermoregulatory mechanism of individuals with spinal cord injuries is progressing, on the other hand, there are many unclear points about lower leg amputees. The purpose of this study is to investigate changes in core body temperature during adapted sports at the summer activity site of lower leg amputation athletes and to clarify the effectiveness of body cooling using ice slurry. The main result was that the core body temperature of the lower limb amputation athletes rose to about 39°C during the adapted sports and

observed that the dehydration rate was high after the sports. In addition, we could not show that body cooling will reduce the rise in core body temperature, but protective efficacy of the high dehydration (heat exhaustion) is expected by body cooling because a dehydration rate was reduced. It was suggested that I helped understanding the risk of the heat stroke and practical measures against heat in the lower limb amputation athletes by this investigation.

要 旨

障がい者がスポーツを楽しむ機会が増えているが、熱中症事故の報告もある。脊髄損傷者の体温調節機構の理解が進む一方で、下肢切断者については不明な点が多い。本研究の目的は下肢切断アスリートの夏季活動現場における障がい者スポーツ中の体温変化を調査し、アイススラリーを用いた身体冷却の有効性を明らかにすることである。主な成果は障がい者スポーツ中の下肢切断アスリートの体温は約 39℃ まで上昇し、スポーツ後の脱水率が高い症例を観察した。また、身体冷却によって、体温上昇を抑える効果は示せなかったが、脱水率が軽減したため、高度脱水（熱疲労）の予防効果が期待される。本研究により、下肢切断アスリートにおける熱中症の危険性の理解と実践的な暑さ対策の一助になることが示唆された。

緒 言

近年、健常者だけでなく、障がい者もスポーツを楽しむ機会が増えている。しかし、それに伴い障がい者スポーツ中の熱中症事故の報告がある¹⁾。そのため、健常者と同様に運動を行う上で、熱中症対策を行う必要がある。しかしながら、障がい者スポーツ分野においては裏付けとなる科学的エビデンスは不足しているため、十分な熱中症対策が構築されていない。

暑熱環境下での運動時には体温が上昇する。体温は vital signs の一つであり、『生命の徴候』と

も言われる。体温が著しく上昇すると熱中症となり、生命に危険を及ぼす。熱による傷害を総称して熱中症と呼ぶ²⁾。熱疲労は熱中症の中核をなす病態であり、暑熱暴露や運動により体温が上昇し、大量に発汗することによる高度の脱水がその本体である。熱疲労がさらに進行し、高体温（40℃以上）のため体温調節機能の破綻と意識障害を来したものが熱射病である。熱射病は熱中症の中でも重篤で生命に係わる病態であるため、熱疲労を予防することが意義高いと考える。

障がい者スポーツ競技者は、脊髄損傷者や切断者が多い。障がい者スポーツにおいて、脊髄損傷者の体温調節機構の研究は盛んに行われている。Price のレビューによれば、脊髄損傷者は暑熱環境下では健常者に比べて、発汗量が少ないことが示されている³⁾。また、Griggs らによれば、四肢麻痺者が間欠的な運動を行うと、対麻痺者に比べて体温が上昇し続けることを示している⁴⁾。このように、脊髄損傷者は神経系の機能障害により、発汗機能障害を呈し、放熱システムが不利になることから体温が上昇しやすいと考えられる。さらに、同一研究グループは脊髄損傷者の冷却効果の報告もある⁵⁾。

このように脊髄損傷者の体温調節機構については研究成果により、その理解が進んでいる。しかし、一方で競技者の多い切断者については、体温調節機構について不明な点が多く、切断者に対する研究は進んでいない。そこで、本研究は夏季活動現場における下肢切断アスリートの障がい者ス

ポーツ中の体温変化を調査する。さらに、近年運動能力を改善すると注目されているアイススラリーを用いた身体冷却の有効性についても明らかにする。

1. 方法

1. 1 被験者

被験者はアンプティサッカー選手の下肢切断者4名とした。被験者の特徴を表1に示す。研究に

表1 被験者の特徴

	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	切断	原因
A	37	169	55.10	大腿切断	外傷
B	45	179	69.85	大腿切断	骨肉腫
C	39	177	71.30	大腿切断	外傷
D	37	176	54.90	大腿切断	外傷

先立ち、被験者には本研究の目的および危険性について十分な説明を行い、研究の被験者となることの同意を得た。本研究は広島大学病院臨床研究倫理審査委員会の承認を得て行った。

1. 2 手順

実験はアンプティサッカーの通常練習で、実験①と実験②の2回実施した。実験期間は梅雨明け後の平成29年7月から8月までとした。実験は1週間以上の間隔を空けて行い、各被験者は同一日に測定を行った。

本実験では被験者は練習開始時刻の12時間前に温度センサーを内服した。実験当日の体調を統

一するため、被験者に実験24時間前からアルコールおよびカフェインの摂取と激しい運動を控えるように依頼した。被験者は屋外の練習会場に到着後、尿比重および裸体重を測定し、温度センサーのデータ受信を確認後、心拍数モニタを装着した。10分間の安静後、練習を開始した。

実験① 下肢切断アスリートの夏季活動現場における体温変化の実態調査

夏季活動現場において下肢切断者がアンプティサッカーの通常練習を120分間行い、体温の経時的な変化を測定した。

実験② 下肢切断アスリートの夏季活動現場における身体冷却の有効性を検討

夏季活動現場において下肢切断者がアンプティサッカーの通常練習を120分間行い、練習前と練習中に身体冷却としてアイススラリー（FMI社製、BigBiz1）を7.5g/kg摂取させた。アイススラリーの摂取タイミングは練習前にアイススラリー7.5g/kgの6分の2を摂取させ、練習開始後は30分毎に6分の1のアイススラリーを4回摂取させた（図1）。

1. 3 測定項目

環境要因として、暑さ指数（WBGT）、乾球温度、湿度を熱中症指標計（京都電子工業株式会社、WBGT-203B）を用いて、練習開始10分前から練習終了10分後まで10分毎に測定した。

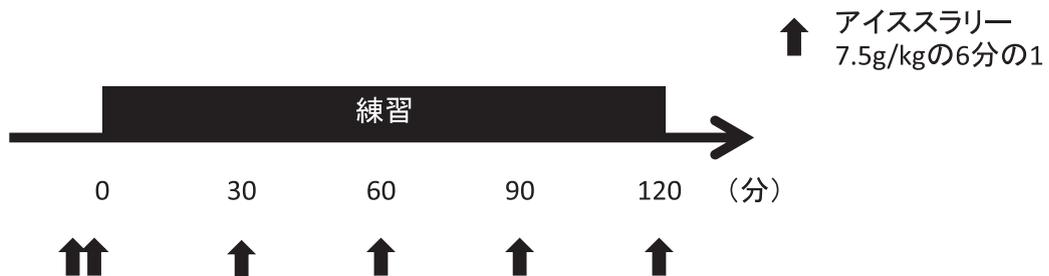


図1 アイススラリーの摂取タイミング

生理的指標として、中核温、心拍数、運動量、飲水量、体重、尿比重を測定した。中核温はワイヤレス式の中核温計（HQ社製、CorTempTM）を用いて測定した。心拍数はハートレートモニタ（Polar社製、M400）で測定した。中核温と心拍数は練習開始10分前から練習終了10分後まで5分毎に測定した。運動量はGPS機能をもつハートレートモニタを使用し、練習時間120分間の移動距離を算出した。飲水量はデジタル秤（AND社製、HT-3000）を用いて飲水毎に記録し、合計飲水量を算出した。体重はデジタル体組成計（マキノトレーディング社製、Elemotif）を用いて練習前後で測定した。尿比重はデジタル尿比重屈折計（アタゴ社製、UG-D）を用いて練習前後に測定した。

主観的指標として、主観的運動強度、温熱感覚、熱中症の症状を測定した。主観的運動強度は練習開始10分後から練習終了まで10分毎に、心肺、腕についてBorgのスケールを用いて測定した⁶⁾。温熱感覚は練習開始10分前から運動終了時まで10分毎にGaggeらのスケールを用いて測定した⁷⁾。熱中症の症状は日本救急医学会の熱中症診療ガイドラインを用いて測定した⁸⁾。

1. 4 データ処理

実験結果は被験者ごとのデータで示した。

飲水量と体重より発汗量を算出し、また練習前後の体重から脱水率を算出した。

$$\text{発汗量 (mL)} = \text{飲水量} + (\text{練習前の体重} - \text{練習後の体重})$$

$$\text{脱水率 (\%)} = (\text{練習前の体重} - \text{練習後の体重}) / \text{練習前の体重} * 100$$

2. 実験結果

実験①の練習中の暑さ指数は平均 $30.4 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 、乾球温度は平均 $32.2 \pm 1.0^{\circ}\text{C}$ 、湿度は平均 $55.2 \pm 2.9\%$ であった。実験②では、暑さ指数は平均 $28.8 \pm 1.2^{\circ}\text{C}$ 、乾球温度は平均 $30.1 \pm 1.3^{\circ}\text{C}$ 、湿度は平均 $57.6 \pm 4.3\%$ であった。実験①②ともに暑さ指数は 28°C 以上の暑熱環境であった。

実験①では被験者4名のうち1名が温度センサーの飲み忘れにより中核温の測定を行えなかった。実験①でデータ処理可能であった中核温の2例を図2に示す。被験者2名の最高中核温、最低中核温、平均中核温を以下に記す。A： 38.82°C 、 37.09°C 、 $38.07 \pm 0.46^{\circ}\text{C}$ 。B： 39.78°C 、 37.11°C 、 $38.80 \pm 0.75^{\circ}\text{C}$ であった。最高中核温は練習開始後

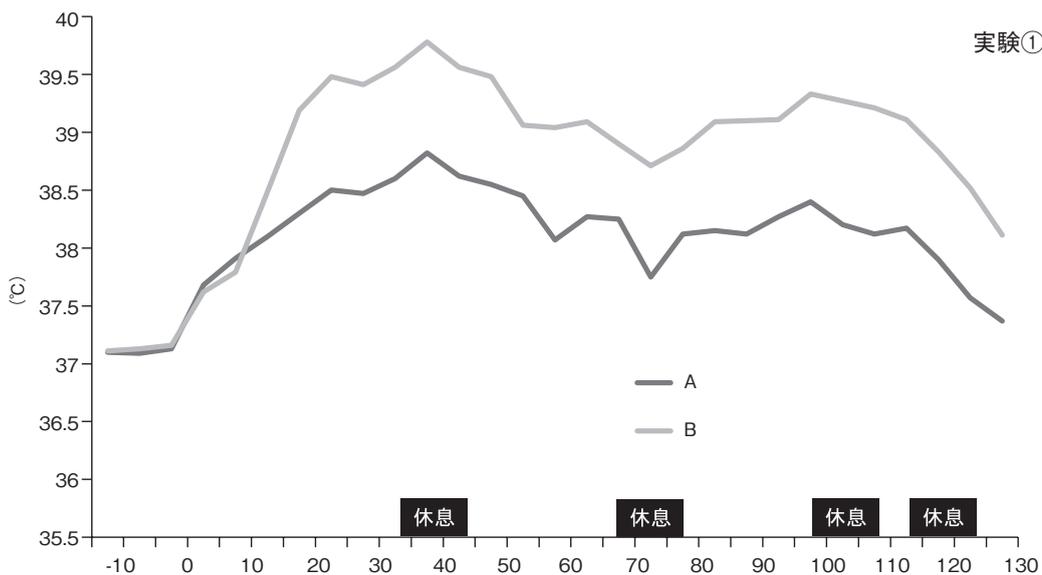


図2 中核温

40分時点で記録した。実験②では被験者4名のうち1名は練習開始12時間前に温度センサーを内服したが、練習前の排便により温度センサーは排泄され体温の測定を行えなかった。残念であるが、実験②では測定不備により欠損データが多くデータ処理不能であった。

実験①と実験②の心拍数の経時変化を図3に示す。各被験者の最高心拍数、最小心拍数、平均心拍数を以下に記す。実験①では(図3a) A: 187bpm, 68bpm, 145.3 ± 20.9 bpm, B: 167bpm, 91bpm, 131.0 ± 17.8 bpm, C: 198bpm, 92bpm,

154.0 ± 24.1 bpm, D: 181bpm, 116bpm, 145.3 ± 14.9 bpm, 実験②では(図3b) A: 168bpm, 92bpm, 136.5 ± 26.0 bpm, B: 186bpm, 85bpm, 158.1 ± 23.0 bpm, C: 196bpm, 107bpm, 167.5 ± 25.2 bpmであった。

運動量として練習中の移動距離を図4に示す。120分の練習時間で概ね2kmから3kmの運動量であった。実験①と比較して実験②の方が運動量が多かった。

練習中の合計飲水量は実験①で A: 1589mL, B: 2200mL, C: 1841mL, D: 3000mL, 実験②で

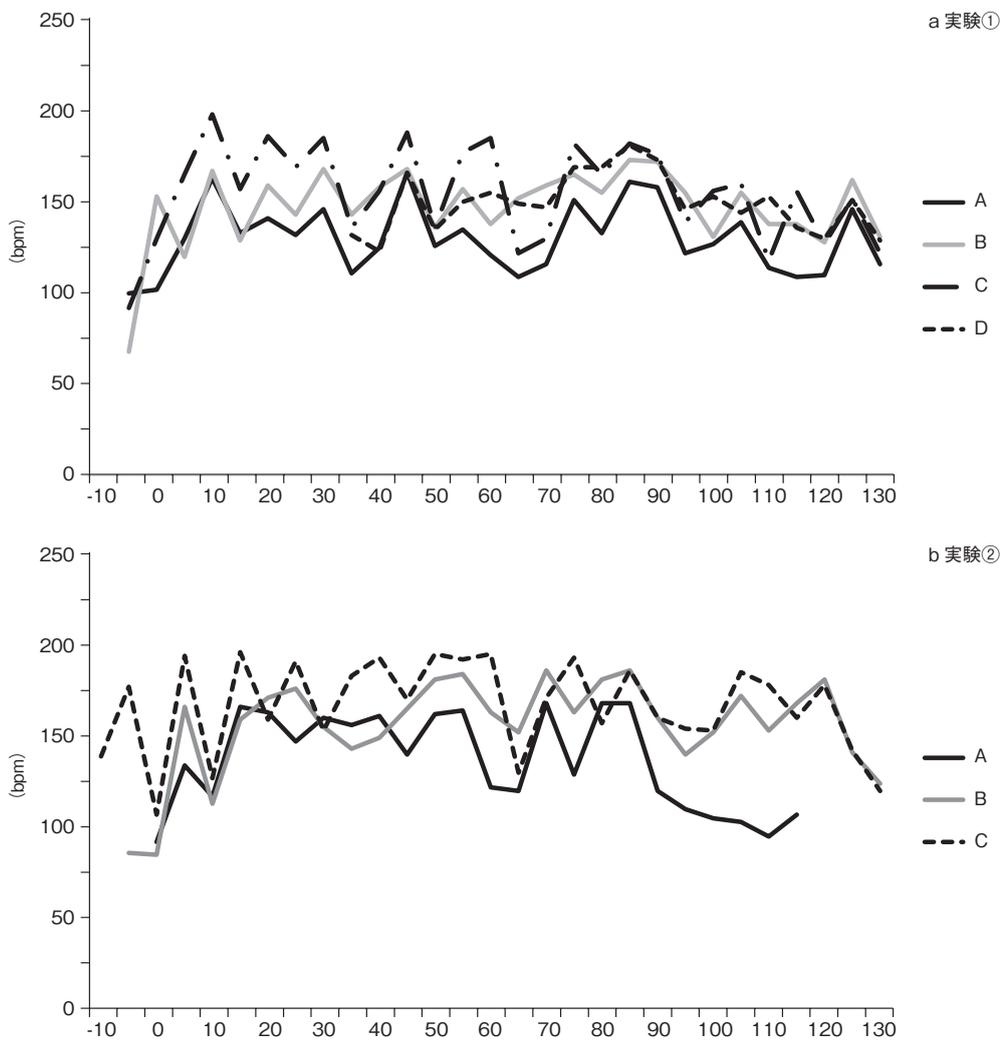


図3 心拍数

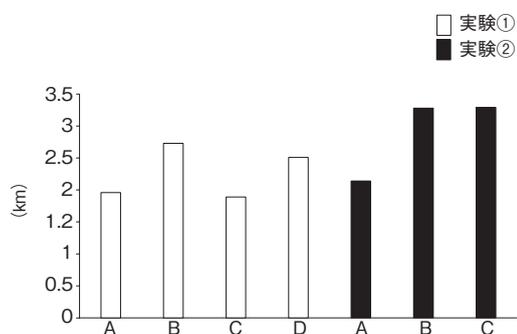


図4 運動量

A : 1268ml (飲水量 918mL, アイススラリー 350 mL), B : 3122mL (飲水量 2599 mL, アイススラリー 523 mL), C : 2044mL (飲水量 1500 mL, アイススラリー 544 mL) であった。アイススラリーは全量摂取可能であった。選手の中には軽度の腹痛を訴える者がいたが数分で自然緩解し、練習を中断する者はいなかった。発汗量を図5, 脱水率を図6に示す。実験①に比べて実験②の発汗量は減少し、脱水率が軽減する症例を観察した。実験①と比較して実験②で B : 25.1%, C : 14.8% の

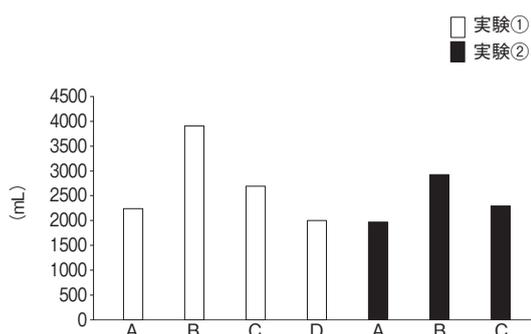


図5 発汗量

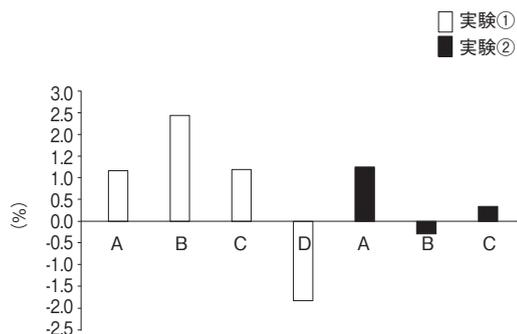


図6 脱水率

発汗量が減少し、B : 8.5 倍, C : 3.5 倍の脱水率が軽減した。

実験①での尿比重は練習前・練習後の順に、A : 1.014・1.015, B : 1.029・1.032, C : 1.017・1.020, D : 1.021・1.023, 実験②では A : 1.007・1.024, B : 1.026・1.028, C : 1.011・1.025 であった。

実験①②で心肺と腕の主観的運動強度はともに各被験者 14 から 17 であった。温熱感覚は各被験者 2 から 4 であった。熱中症の症状は実験①で症例 A, C の 2 名に頭痛を認め、実験②では症例 B の 1 名に下肢の筋けいれんを認めた。主観的運動強度と温熱感覚は実験①②で差を認めなかった。一方で、熱中症の症状は実験①と比較して実験②の方が軽度であった。

3. 考 察

本研究の目的は下肢切断アスリートの夏季活動現場における障がい者スポーツ中の体温変化を調査し、アイススラリーを用いた身体冷却の有効性を明らかにすることである。主な成果は障がい者スポーツ中の下肢切断アスリートの体温は約 39℃まで上昇し、スポーツ後の脱水率が高い症例を観察した。また、身体冷却によって、体温上昇を抑える効果は示せなかったが、脱水率が軽減したため、高度脱水(熱疲労)の予防効果が期待される。

一方で、アイススラリーを摂取しても脱水率がわずかに増加した症例 A もいた。この理由は飲水量が少なかった点が挙げられる。そのため、アイススラリーを摂取しても発汗量は抑えられるが、水分補給はしっかり行う必要があると考える。

下肢切断者の体温調節機構に対する機能障害はいくつか挙げられている。Wendt らは下肢切断による体表面積の減少により、蒸発、対流および放射による熱放散能力が低下すると報告した⁹⁾。体表面積は深部体温を調節し、熱放散のために重要な役割を果たす¹⁰⁾ため、下肢切断者は運動中の

深部体温の上昇を経験する危険性が健常者より高い可能性がある。緒言で述べたように脊髄損傷の体温調節機構の研究は盛んに行われ、脊髄損傷者は神経系の障害により発汗機能の低下が深部体温の上昇をもたらすとされている。しかし、下肢切断者に関する研究はほとんど行われておらず、下肢切断者は皮膚の欠損による放熱能の低下によって、深部体温がどれだけ上昇するかは明らかでない。下肢切断者の体温調節機構がどのように機能しているか理解することは障がい者の身を守る上で重要なことである。また、障がい者スポーツは暑熱環境下で競技を行うことも少なくないため、厳重な管理が必要となる。

深部体温が著しく上昇すると熱中症をもたらす。熱中症の症状は3段階あり、Ⅰ度：熱失神、Ⅱ度：熱疲労、Ⅲ度：熱射病の順に重症度が高くなる。熱疲労²⁾は暑熱環境で長時間の運動を行った際に、大量の発汗のために水分と電解質を失うことにより、循環血液量が減少し、重要臓器への血流が減少する。高度の脱水と循環不全が熱疲労の病態である。Ⅱ度熱中症の熱疲労では高度の脱水を来し、その後Ⅲ度熱中症の熱射病へ移行する²⁾。つまり、高度の脱水を予防できれば、生命を脅かす重篤な熱中症である熱射病の予防となる。

本実験①では中核温が39℃を超える下肢切断アスリートがおり、その選手の発汗量は3900mLであった。最高中核温を記録後は体温が若干の低下を示したが、発汗量が多いことが観察された。発汗量が多いということはその反面、脱水になりやすい。高度の脱水は熱疲労を引き起こす可能性があるため、適量の水分摂取が欠かせない。しかし、発汗量が多い場合は十分な水分摂取量が確保しにくい。クーリングベストなど外部からの身体冷却は深部温を低下させないが、発汗量を有効的に低下させることができる¹¹⁾。発汗量が軽減することは脱水の予防となるため、特に発汗量の多い下肢切断アスリートにとっての体温管理として重要

と言える。

アイススラリーとは、液体に微細な氷に粒が混ざったスムージーのような飲料である。近年、アイススラリーによる身体冷却は注目を集めており、Onitsukaらはアイススラリーの摂取によって、直腸温と温熱感覚が低下すると報告した¹²⁾。このアイススラリーの摂取タイミングは一回でかつ短時間に大量の摂取であるため、現場での摂取には向いていない。そこで本研究では一回あたりの摂取量を減らし、摂取間隔を長くする方法とした(図1)。本研究の結果では、アイススラリーの摂取により脱水率が軽減する症例を観察した。そのため、下肢切断者の熱中症予防として期待できる可能性が示された。

実験②で熱中症様の筋けいれんを認めた症例Bがいたが、その症例は実験①よりも運動量が多く、筋疲労による可能性がある。実験①よりも発汗量や脱水率が抑えられており、実験①では筋けいれんを認めなかったことを鑑みると、熱中症による症状ではない可能性が十分に考えられる。

本研究は下肢切断アスリートの夏季活動現場での体温測定であり、下肢切断者の体温調節機構を十分に理解するには至らない。下肢切断者の体温調節機構をより正確に理解するには、気温や運動条件を統一する必要がある。基礎的な研究が望まれる。また、アイススラリーの摂取タイミングの違いによる深部体温に与える影響については、今後さらなる検討が必要である。最後に、本研究では中核温のデータが十分に測定できないケースがあった。今後はデータ欠損しない測定方法の工夫が必要である。

4. 結 論

夏季活動現場における障がい者スポーツでは、下肢切断アスリートは高体温となり、身体冷却によって発汗量が減少し、脱水率が軽減する症例を観察した。本研究により、下肢切断アスリートに

おける熱中症の危険性の理解と実践的な暑さ対策の一助になることが示唆された。また、身体冷却によって運動量が増加するため、身体冷却は熱中症の危険性を抑制しながらも、運動パフォーマンス向上の一助になる可能性がある。

謝 辞

稿を終えるにあたり、本研究に対して研究助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団に厚く御礼申し上げます。また本実験の被験者としてご協力いただいた方々、体温測定にご指導・ご協力いただいた広島大学の長谷川博教授、牧野舜さん、同スポーツ医科学センターの中島大悟先生に深謝致します。

文 献

- 1) 坂光徹彦, 緒方直史, 芳賀信彦, 齋藤拓. 日本初のアンパティサッカーチームに対するメディカルサポート. 理学療法ジャーナル, 47(1) :84-85 (2013)
- 2) 松本孝朗. 熱中症の予防と治療. 発汗学, 18: 34-38(2011)
- 3) Price M.J., Thermoregulation during exercise in individuals with spinal cord injuries, *Sports Med.*, 36 (10) : 863-879(2006)
- 4) Griggs K.E., Leicht C.A., Price M.J., Goosey-Tolfrey V.L., Thermoregulation during intermittent exercise in athletes with a spinal-cord injury, *Int. J. Sports Physiol. Perform.*, 10(4) : 469-475(2015)
- 5) Griggs K.E.1, Price M.J., Goosey-Tolfrey V.L., Cooling athletes with a spinal cord injury, *Sports Med.*, 45(1) : 9-21(2015)
- 6) Borg.G.A., Rating of perceived exertion and heart rates during short-term cycle exercise and their use in a new cycling strength test, *Int. J. Sports Med.*, 3: 153-158(1982)
- 7) Gage A.P., Stolwijk J.A., Hardy J.D., Comfort and thermal sensations and associated physiological responses at various ambient temperatures, *Environ. Res.*, 1: 1-20(1967)
- 8) 日本救急医学会. 熱中症診療ガイドライン. 7-8 (2015)
- 9) Wendt D., van Loon L.J., Lichtenbelt W.D., Thermoregulation during exercise in the heat: strategies for maintaining health and performance, *Sports Med.*, 37(8) : 669-682(2007)
- 10) Maughan R.J., Shirreffs S.M., Watson P., Exercise, heat, hydration and the brain, *J. Am. Coll. Nutr.*, 26 (5) : 604-612(2007)
- 11) Arngrímsson S.A., Pettitt D.S., Stueck M.G., Jorgensen D.K., Cureton K.J., Cooling vest worn during active warm-up improves 5-km run performance in the heat, *J. Appl. Physiol.*, 96(5) : 1867-1874(2004)
- 12) Onitsuka S., Zheng X., Hasegawa H., Ice slurry ingestion reduces both core and facial skin temperatures in a warm environment, *J. Therm. Biol.*, 51:105-9(2015)