

発汗に依存しない熱中症予防を目的とした スポーツウェアの開発と検証

福岡大学 飛 奈 卓 郎
(共同研究者) 同 下 山 寛 之
同 桧 垣 靖 樹
同 清 永 明

Effect of Ice Pack Cooling Wear to Prevention From Heat Stroke

by

Takuro Tobina, Hiroyuki Sagayama,
Yasuki Higaki, Akira Kiyonaga
Fukuoka University

ABSTRACT

This study investigated the effect of ice pack cooling on exercise-induced elevation of body temperature in warm and humid conditions.

Eight male subjects performed an exercise test in high temperature (35°C) and humid conditions (70%) at 70% maximal oxygen uptake ($\dot{V}O_{2\max}$) for 10 minutes after 15 minutes resting and warming up for 5 minutes. After the exercise, subjects remained in these conditions for 30 minutes. Subjects were randomly assigned to groups with an ice pack or without an ice pack (non-ice pack).

Body temperature in the rectum (T_{Re}), trunk skin (T_{Tr}), and axillary skin (T_{Ax}), and subjective feeling were measured during the experiments. T_{Tr} was the skin temperature around the ice pack and T_{Ax} was that beneath the ice pack. Body weight was measured before and after the experiment.

T_{Re} was not different between groups, but T_{Tr} and T_{Ax} were significantly lower in the ice pack group than those in the non-ice pack group until the end of the experiment ($p < 0.05$).

. Body weight was significantly decreased after the experiment in both groups ($p<0.05$); however, this change was smaller in the ice pack group ($p<0.05$).

The changes of subjective feelings of sensory temperature and motivation were significantly different between the ice pack and non-ice pack groups ($p<0.05$).

This study suggests that wearing an ice pack decreases exercise-induced dehydration, which could contribute to prevention of heat stroke. In addition, the ice packs used in this study sustained the cooling effects for 60 minutes in a high temperature.

要 旨

本研究では、発汗に依存しない熱中症の予防のためのウェアの提案をすることを目的とした。

対象者は保冷剤を装着したウェアと非着用のウェアの2種類を無作為の順序で着用した。室温35℃、湿度70%の環境下で70%最大酸素摂取量の運動を実施した。運動時間は10分間とし、その後30分間を同環境で安静に過ごした。試験中に直腸温、腋下皮膚温（保冷剤の直下）、腹部皮膚温（保冷剤の無い部分）、試験前後に体重と感覚尺度の評価を行った。

測定中の直腸温の変化に両群で差は認められなかったが、腋下と腹部の皮膚温はクールパック装着後に低下し、試験終了時まで低値であった（ $p<0.05$ ）。試験前後で両群ともに体重は減少したが（ $p<0.05$ ）、その減少幅はクールパック群が有意に小さかった（ $p<0.05$ ）。また「体感温度」と「集中力・意欲の低下」に試験間で差を認めた（ $p<0.05$ ）。

本研究はクールパックの装着により、身体の脱水を抑制しながらも、パック非着用時と同程度の体温上昇におさめることができることを示した。

緒 言

学校現場における熱中症による死亡事故は1960年から2005年にかけて145件であり、その

うち126件は部活動中の事故である¹⁾。特筆すべきは熱中症による死亡事故は1975年以降、現在にいたるまで減少していないことである。これは部活動中の熱中症の予防に有効な、新しい対策が必要であることを示している。また気温が低くとも湿度が高い環境では熱中症は発生する²⁾。汗の気化が妨げられるような環境では、発汗による体温調節が期待できないため、外部から身体を冷却する手立てが必要となる。発汗に頼らずに身体を冷却するという必要性から、我々は保冷剤を装着できる衣類の開発という発想にいたった。

これまでにアイスパックを用いた身体を冷却するベストが開発されているが（Nike Ice-Vests, ナイキ社製, オーランド）³⁾、4.4kgという重量は運動を困難にする。また食品保冷用のゲル保冷剤は融解が始まると直線的に温度が上昇していく。低温を長時間維持できる保冷剤の開発が進んでいるが（ケーワン保冷剤, ケーワン社製, 福岡）（図1）、これをウェアへと応用した場合の身体の変化については検討が行われていない。

本研究の目的は、ケーワン保冷剤を衣類に装着した場合、どの程度の身体冷却効果が得られるのかを検証し、熱中症予防のための新しいスポーツウェアの提案をすることである。

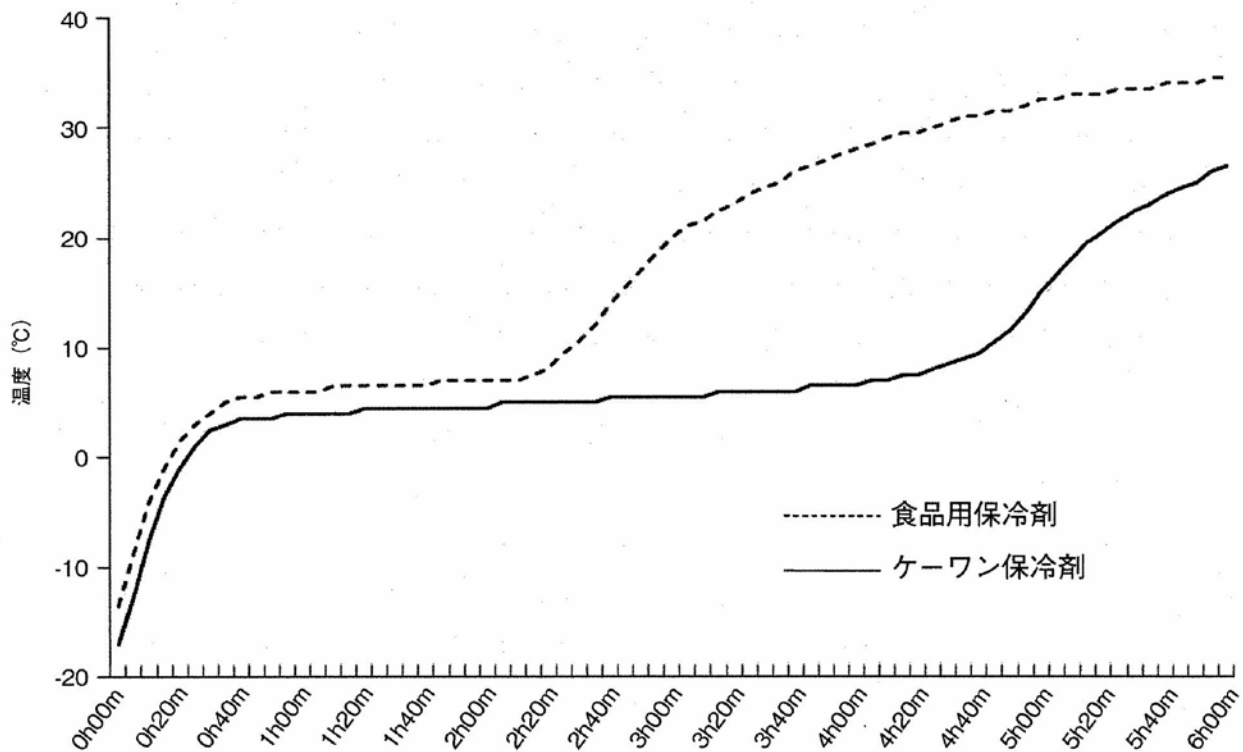


図1 保冷剤の温度変化

実験条件：室温40℃に置いた状態 ケーワン保冷剤と食品用保冷剤の大きさはともに幅:130×奥行80×厚20mm

1. 実験方法

1.2 対象者

本研究の対象者は成人男性8名である。すべての対象者は書面と口頭による説明を受け、署名を以って研究への参加を同意したと判断された。本研究は福岡大学研究倫理審査委員会の承認を受けて実施された。

1.2 運動負荷の決定

本研究では運動中の深部体温の変化を調査するために、直腸温が上昇するような運動条件にて実験を行う必要がある。先行研究から最大酸素摂取量 ($\dot{V}O_{2max}$) の70%に相当する強度であれば運動中に直腸温が上昇することが報告されているため^{4,5)}、本研究でも70% $\dot{V}O_{2max}$ を本試験の運動強度とした。

運動強度を設定するためにすべての対象者は最大運動負荷試験を行った。自転車エルゴメーターを用いて4分間のウォーミングアップの後

に、15watts/分で徐々に負荷を増加させ、疲労困憊に至るまで運動を実施した。運動中の呼気ガスを連続的に測定し (Arco-2000, Arco-system, 千葉), $\dot{V}O_{2max}$ を測定し、70% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する運動強度を算出した。

1.3 試験条件の検討

本試験に先立ち、4名の対象者にて冷却用パットの装着部位の検討を行った。この実験では密着する膝上までのタイツの左右の鼠径部と、同じく密着するような半袖ウェアの左右の腋下、合計4箇所にポケットを作り、ケーワン保冷剤 (図2) を装着した。保冷剤装着のウェアと、装着しないウェアの両方を無作為の順で、室温35℃、湿度75%の環境下で70% $\dot{V}O_{2max}$ の運動を20分間実施した。さらに運動終了後40分間の直腸温の変化を調査したが、直腸温の変化に差を認めることはできず、また鼠径部の保冷剤が運動の邪魔になるという対象者からの意見から、本実験では、パットの装着は上半身のみとして、装



図2 保冷剤の大きさとお見
幅:130 × 奥行 80 × 厚 10mm 重量 118g

着する保冷剤の個数を 2 個から 16 個へと増やすこととした。このパイロット実験で、4 箇所のみの保冷剤の装着では深部体温を冷却するに不十分であるという結果を得た。

1.4 本試験の条件

対象者はケーワン保冷剤を装着したウェアと (Cool Pack 群)、保冷剤を装着しないウェア (Non Cool Pack 群) の 2 種類を無作為の順序で着用して試験に参加した。

事前準備は室温 20℃、高温多湿の環境は室温 35℃、湿度 70% とした。試験開始 60 分前に 500ml の飲水を行わせ安静状態の後、直腸温と皮膚温のセンサーを腋と腹部に設置した (LT-08, グラム社製、埼玉)⁶⁾。腋下のセンサー上に保冷剤が当たるようにして冷却部の温度を、腹部のセンサーには保冷剤が当たらないようにして、保冷剤周辺の皮膚温を、それぞれ測定した。

安静時の身体温度を測定するために 21℃ の部屋で 10 分間の測定を行った。その後、Cool Pack 群は上半身 16 箇所に冷却用パックを装着 (図 3)、Non Cool Pack 群はそのまま更に 5 分間、21℃ の部屋で安静状態を保った。その後、高温多湿下で 5 分間の安静状態を保ち、体温の変化を測定した。

合計 20 分間の安静状態の後に、70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度での自転車エルゴメーターの運動を 10 分間

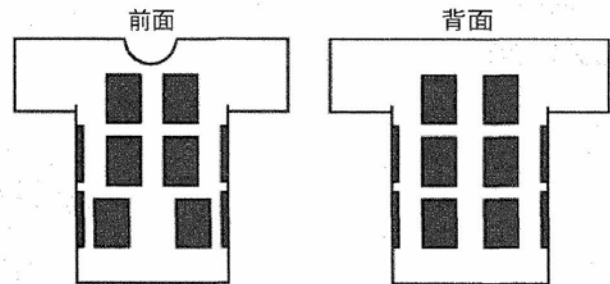


図3 保冷剤の設置部位

実施した。その後、高温多湿下にて 30 分間、安静状態を保ち、身体温度の測定を行った。

1.5 体重測定と感覚尺度

身体へ温度計を設置する直前と、試験終了直後に汗を拭き取った後に全裸での体重測定を 0.01g 単位で行った (DIGIPET, 新光電子社製、東京)。

感覚尺度は快適度、体感温、全身倦怠感、体の節々の痛み、イライラ感、眠気、空腹感、集中力・意欲の低下の 8 項目とした。それぞれの項目について、0 を快適あるいは全く感じない、10 を不快あるいは強く感じるとした 10cm の Visual analog scale 上にマークさせた。直線とマークの交点を 0.1cm 単位で計測して得点とした。感覚尺度は、運動開始直前、運動終了直後と試験終了直前の 3 回の評価を行った。

1.6 統計処理

対象者特性、体重の変化は平均 ± 標準偏差、身体温度と感覚尺度の変化は平均 ± 標準誤差でそれぞれ示した。各群の身体温度と体重は対応のある t-test、感覚尺度の比較は二元配置の分散分析を用いて、それぞれ比較を行った。危険率 5% 未満をもって有意差有りとした。

2. 結果

2.1 対象者特性

本研究の対象者は、年齢 24 ± 4 歳、身長 173.0 ± 7.9 cm、体重 66.4 ± 7.6 kg、 $\dot{V}O_{2max}$ $50.7 \pm$

11.9ml/min/kg であった。70% $\dot{V}O_{2max}$ に相当する運動強度は 176 ± 19 watts であった。

2.2 直腸温, 腹部皮膚温, 腋下皮膚の変化

試験中の直腸温, 腹部皮膚温と腋下皮膚の変化を図4-6に示した。直腸温はCool Pack群

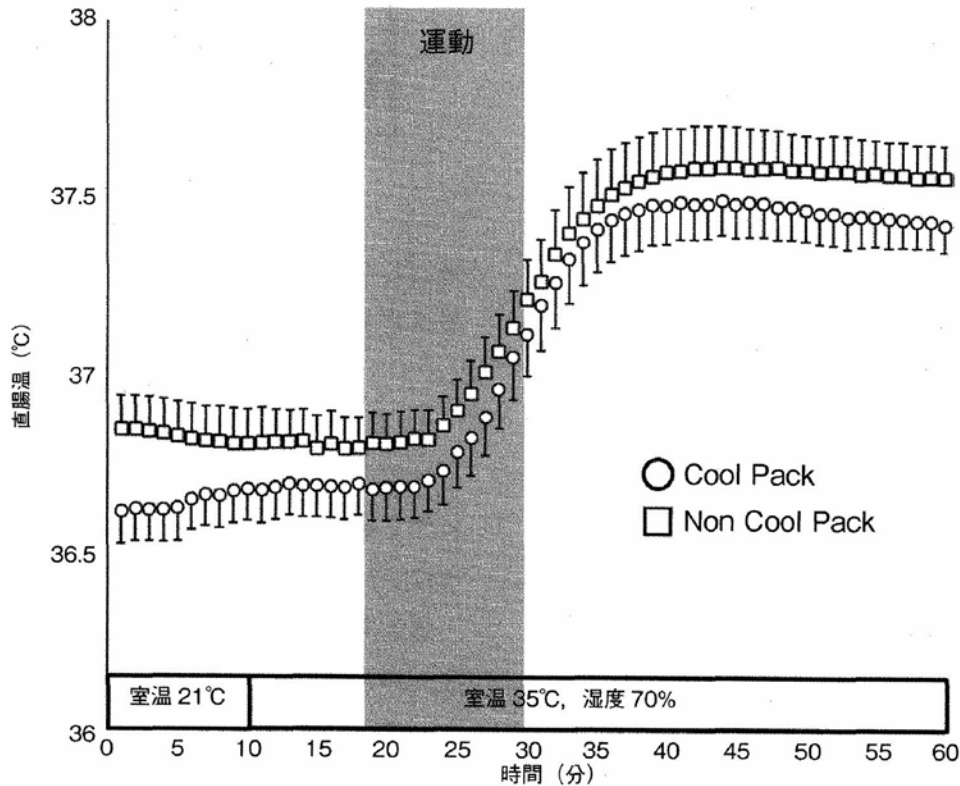


図4 直腸温の変化
平均と標準誤差で示した

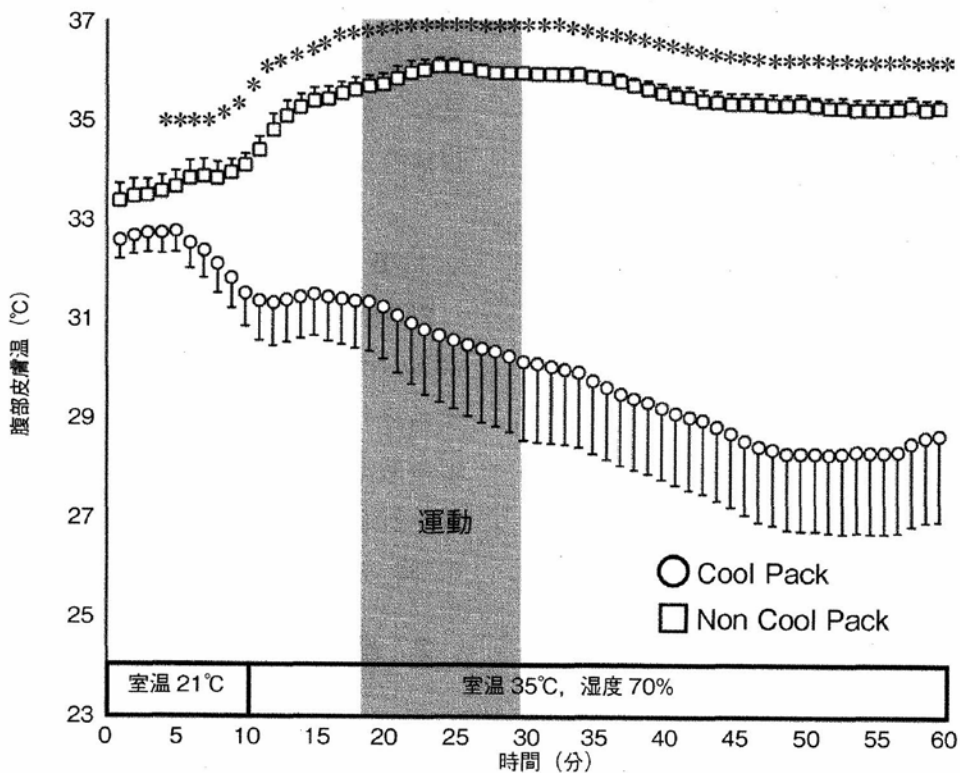


図5 腹部皮膚温の変化
平均と標準誤差で示した * $p < 0.05$: 同一時間のCool PackとNon Cool Packの比較

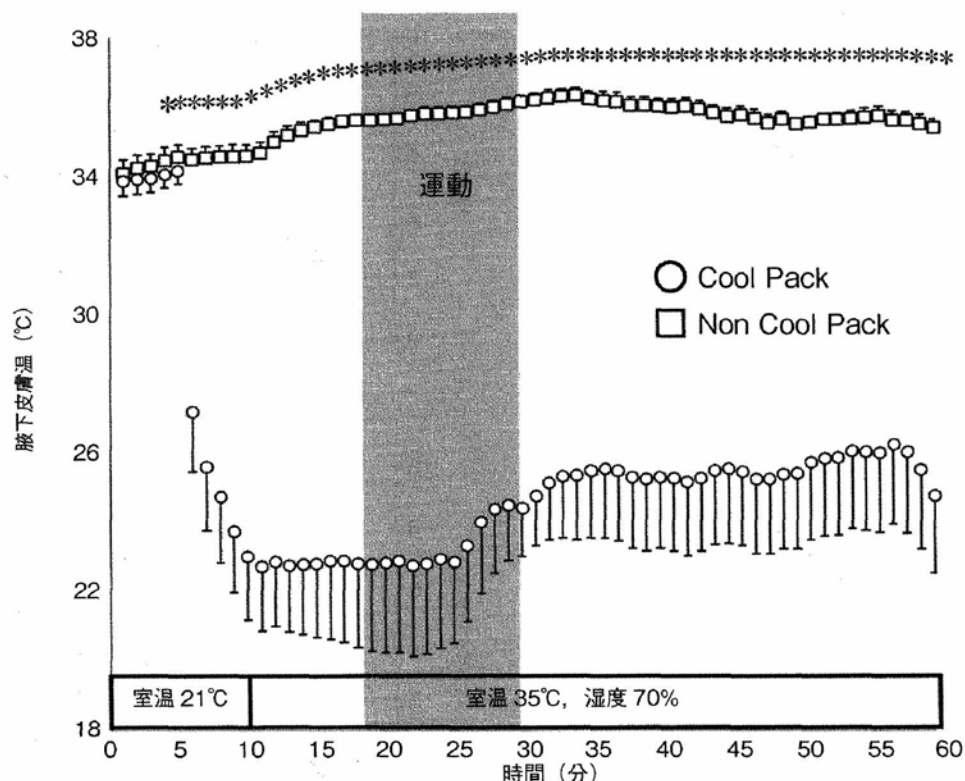


図6 腋下皮膚温の変化
平均と標準誤差で示した * $p < 0.05$: 同一時間の Cool Pack と Non Cool Pack の比較

表 1 試験前後の体重変化

	Cool Pack			Non Cool Pack		
	試験前	試験後	変化量	試験前	試験後	変化量
Sub_1	51.62	51.18	-0.44	51.04	50.52	-0.52
Sub_2	67.23	66.98	-0.25	66.98	66.45	-0.53
Sub_3	73.34	73.20	-0.14	73.80	73.52	-0.28
Sub_4	69.29	69.08	-0.21	69.26	68.67	-0.59
Sub_5	72.82	72.72	-0.10	71.14	70.84	-0.30
Sub_6	61.43	61.30	-0.13	61.73	61.43	-0.30
Sub_7	72.66	72.47	-0.19	73.00	72.60	-0.40
Sub_8	64.44	64.22	-0.22	64.65	64.40	-0.25
平均	66.60	66.39*	-0.21†	66.45	66.05*	-0.40
標準偏差	7.41	7.49	0.11	7.47	7.50	0.14

* $p < 0.05$: 各試験の試験前との比較, † $p < 0.05$: Cool Pack と Non Cool Pack の比較

が低い値を示しているものの、有意な差は認められなかった。腹部皮膚温と腋下皮膚温ともに、パック装着後から Cool Pack 群で有意に低い値となった ($P < 0.05$) (図 5・6)。

2.3 体重の変化

試験前後の体重の変化を表 1 に示した。Cool Pack と Non Cool Pack とともに試験後に有意な低下を示したが、Cool Pack 群は Non Cool Pack 群

に比べて、体重の減少量は有意に小さな値であった ($P < 0.05$)。

2.4 感覚尺度の変化

感覚尺度の変化を図 7 に示した。Cool Pack 群と Non Cool Pack 群の間に、すべての項目で運動直前の値に有意な差を認めなかった。運動終了時と試験終了時までの変化を比較したところ快適度、倦怠感、身体の節々の痛み、イライラ感、

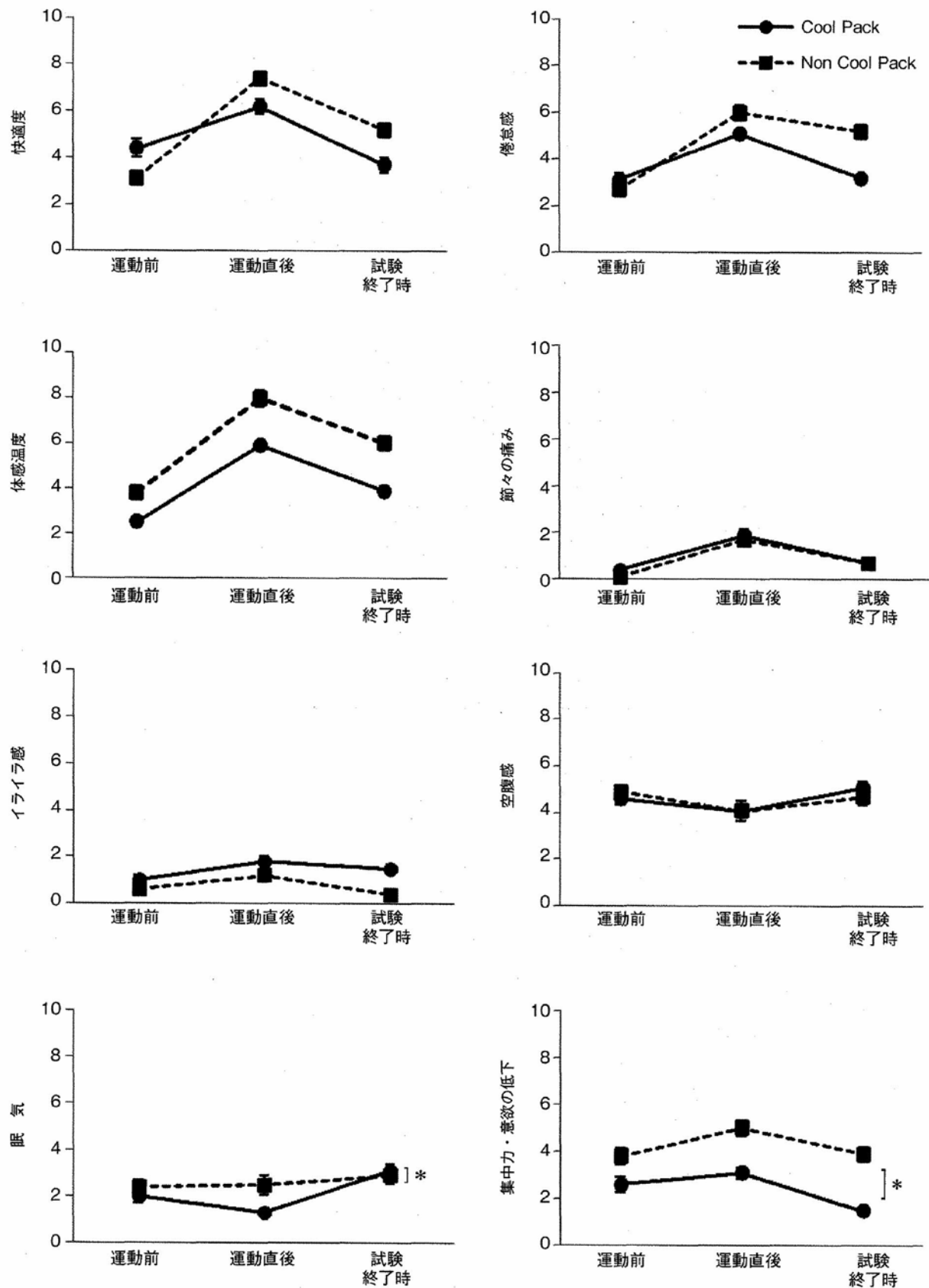


図7 感覚尺度の変化
平均と標準誤差で示した
* $p < 0.05$: Cool Pack と Non Cool Pack の比較

眠気、空腹感の変化に差を認めなかったが、体感温度と集中力・意欲の低下の2項目で試験条件の主効果を認めた ($P<0.05$)。

3. 考 察

3.1 直腸温, 腹部皮膚温, 腋下皮膚の変化

本研究では上半身に16個も保冷剤を装着したのにもかかわらず、深部体温を低下させるほどの冷却効果を得ることはできなかった。しかしながら、保冷剤を付けていない腹部の皮膚温も27℃程度まで低下したことから、バック装着部分だけではなく周囲も冷却する効果があることを示した。この結果は本研究で採用した保冷剤の配置であれば上半身を全範囲で冷却できる可能性を示している。

腋下皮膚温は保冷剤の直下であるため、保冷剤装着後に急激に温度が低下したが、その温度は22℃程度であった。また腹部皮膚温の低下も29℃程度であった。過度な冷却は凍傷の恐れがある。一般的に凍傷の最初の症状は感覚がなくなることであり、20℃以下になると痛みを感じ、10℃以下になると感覚がなくなる⁷⁾。本研究では保冷剤を当てた部分でも20℃以下になる可能性は低く、痛みを訴える対象者もいなかった。この温度であれば長時間の使用によっても凍傷の危険性は低いと考えられる。

また保冷剤を装着して55分後の試験終了時にも、冷却効果は十分維持されていた(図5・6)。食品用のゲル保冷剤は融解が始まると徐々に温度が上昇するが、本研究で用いたバックは長時間低温を維持することが可能である。これは部活動の練習中や暑熱環境の作業中などにおいては、こまめなバック交換の手間を省くことができる。また低温維持機能が高いことは、携帯数が少なくても済むことになり、登山など荷物の重量を少なくしたい際にも適している。

3.2 体重の変化

本研究は発汗に依存しないでも身体温度の過度な上昇を防止するウェアの提案を行うことを目的としている。暑熱環境下では70% $\dot{V}O_{2max}$ 強度の運動で20分間の運動を行うだけで17%の血流量の減少が起こる⁴⁾。脱水は心拍出量と中枢の血流の低下を引き起こし、心拍数の増加など循環系の負担を増大させる。また脱水によって骨格筋のグリコーゲンの利用が高まり、血中乳酸濃度も増加する⁸⁻¹⁰⁾。本研究では水分の喪失を体重の変化で評価したところ、Cool Pack 群はNon Cool Pack 群と比べて体重の減少量は半分程度であった(表1)。それにも関わらず、直腸温には両群間で差を認めていない。この結果は、発汗量が少なくとも冷却用バックの装着によって体温の過度な上昇を抑制できる可能性を示し、さらに暑熱環境下での運動による体水分の喪失を防ぐことができることを示している。

3.3 感覚尺度の変化

感覚尺度の変化を図7に示した。本研究では体感温度と意欲・集中力の低下にCool Pack 群とNon Cool Pack 群に有意差を認めた。体感温度は保冷剤の装着によって低下してはいるが、イライラ感に群内比較で差を認めていないことから、この冷却は不快に感じる程のものではないことを示唆している。

また意欲・集中力の低下を抑制できたという結果は、スポーツや作業現場での、登山中の滑落などの事故を予防につながる可能性を示唆している。

4. まとめ

本研究は、保冷剤(ケーワン保冷剤, ケーワン社製, 福岡)の着用によって高温多湿環境下の運動でも体水分の喪失や意欲や集中力の低下を抑制できることを示した。

謝 辞

本研究を実施するにあたり参加していただいた対象者の皆様, 実験用の冷却用パットの提供とウェアの作成にご協力いただいた株式会社ケーワンの秋本孝様と薦田里美様, 研究の遂行に多大なご支援をいただきました福岡大学の田中宏暁先生に深くお礼申し上げます。また本研究の遂行にご助成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心よりお礼申し上げます。

文 献

- 1) スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック. 日本体育協会(2006)
- 2) 熱中症を予防しよう. 日本スポーツ振興センター(2003)
- 3) Hunter, I., Hopkins, J.T., Casa, D.J.: Warming up with an ice vest: core body temperature before and after cross-country racing. *J. Athl. Train.*, **41**, 371-374(2006)
- 4) Nadel, E.R., Cafarelli, E., Roberts, M.F., Wenger, C.B.: Circulatory regulation during exercise in different ambient temperatures. *J. Appl. Physiol.*, **46**,

430-437(1979)

- 5) Périard JD, Caillaud C, Thompson MW. The role of aerobic fitness and exercise intensity on endurance performance in uncompensable heat stress conditions. *Eur. J. Appl. Physiol.*, In press
- 6) Lee, J.Y., Wakabayashi, H., Wijayanto, T., Tochihara, Y.: Differences in rectal temperatures measured at depths of 4-19 cm from the anal sphincter during exercise and rest. *Eur. J. Appl. Physiol.*, **109**, 73-80(2010)
- 7) Castellani, J.W., Young, A.J., Ducharme, M.B., Giesbrecht, G.G., Glickman, E., Sallis, R.E., American College of Sports Medicine.: American College of Sports Medicine position stand: prevention of cold injuries during exercise. *Med. Sci. Sports Exerc.*, **38**, 2012-2029(2006)
- 8) Hargreaves, M., Dillo, P., Angus, D., Febbraio, M.: Effect of fluid ingestion on muscle metabolism during prolonged exercise. *J. Appl. Physiol.*, **80**, 363-366(1996)
- 9) Murray, R.: Dehydration, hyperthermia, and athletes: science and practice. *J. Athl. Train.*, **31**, 248-252(1996)
- 10) Coris, E.E., Ramirez, A.M., Van Durme, D.J.: Heat illness in athletes: the dangerous combination of heat, humidity and exercise. *Sports Med.*, **34**, 9-16(2004)