

運動後の手掌冷却がその後の持久的運動パフォーマンスに与える影響について

*黒川 修行 **菊池 法大 **秋山 駿介
***阿部 由佳 ***瀬川 琴子 **千葉 卓
土井 妥剛 **若生 成 **犬塚 剛
*池田 晃一 *木下 英俊 *****前田 順一

The effect of palm cooling after exercise on subsequent endurance exercise performance

KUROKAWA Naoyuki, KIKUCHI Norihiro, AKIYAMA Shunsuke, ABE Yuka,
SEGAWA Kotoko, CHIBA Suguru, DOI Yasutake, WAKO Naru, INUZUKA Go,
IKEDA Koichi, KINOSHITA Hidetoshi and MAEDA Junichi

要 旨

運動後の手掌冷却がその後の持久的運動のパフォーマンスに及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。運動習慣のある男子大学生10名(20～22歳)を対象者とした。1回目の多段階漸増負荷試験後に、回復期に手掌冷却を実施した時としなかった時で、2回目の漸増負荷試験の結果と1回目との変化を比較した。手掌冷却はバケツにためた10～15度の冷水に手を浸漬した。

手掌冷却により回復安静期における鼓膜温は有意に低下した。これは冷却部の放熱量が大きくなり、冷やされた血液が身体の深部に戻ることで深部体温が下がったため、深部体温と相関のある鼓膜温が低下したと考えられた。また、手掌冷却により走行距離や最大酸素摂取量の有意な低減抑制が認められた。これは、深部体温の低下により、蓄熱容量が増大したためであると解された。最大酸素摂取量は中枢性疲労により低下する。手掌冷却により蓄熱容量が増大し、中枢性疲労が抑制されたため最大酸素摂取量の低減抑制が起きたと考えられた。

運動後の手掌冷却はその後の持久的運動パフォーマンスの低減を抑制し、バケツにためた冷水に手掌を10分間浸漬する程度でも十分な効果が得られると示唆された。

Key words：リカバリー、局所冷却、最大酸素摂取量

1. 背景および目的

陸上競技、バスケットボールや水泳などの競技では一日に複数回試合や全力で競技を実施する場面がある。また、登山や野外活動といった運動強度が必ずしも高くないものの、活動時間が非常に長くなるものもある。その中でより良い結果を残すため、あるいは安

全に活動するためには、パフォーマンスの維持および低減の抑制が重要となる。

様々な要因が運動パフォーマンスの維持や低減抑制に影響を与えることが知られている。その一つに、運動パフォーマンスと深部体温との関係が挙げられる(Bolster,1999; Booth,1997; Burdon,2013; Cheung,1998; Gonzalez,1999; Grahn,2005;

* 宮城教育大学教育学部保健体育講座
** 宮城教育大学教育学部中等教育教員養成課程保健体育専攻 平成30年度卒業
*** 宮城教育大学教育学部初等教育教員養成課程芸術・体育系体育・健康コース 平成30年度卒業
**** 東北文化学園大学医療福祉学部保健福祉学科
***** 宮城教育大学

Hasegawa,2008；長谷川，2010；Krishnan,2017；Marino,2004,2011；内藤ら，2015、2016；Parkin,1985；Robert,2010；Siegel,2010,2012；Tyler,2013）。運動前にウォーミングアップを実施することにより、ケガの防止などをもたらす。このことに加えて、運動時の適度な深部体温を上昇させることにより、運動能力を高めることが知られているが、その一方で、過度な深部体温の上昇は、運動能力の低下を引き起こすと考えられている（Bolster，1999；Cheung，1998）。Gonzalezら（1999）の研究では、暑熱環境時で運動前に身体を冷却または加温し、疲労困憊に至るまでの運動を行わせた時、疲労困憊時の深部体温は、どの条件下でも40.1-40.2℃であったと報告している。Marinoら（2011）は、深部体温の上昇が一定以上に達すると生理的限界となり、運動の継続が困難になると考え、その時の温度を“Critical limiting temperature (CLT)”（危機的限界体温）（鬼塚、2018）と呼んでいる。また、Boothら（1997）の研究では、運動前の全身の冷水浸漬により深部体温を低くした状態と何もしない状態で30分間走を行ったところ、深部体温を低くした状態の方の走行距離が長かったことを報告している。Siegelら（2010,2012）は、高い運動パフォーマンスを維持するためには深部体温を低く保つことが重要になると述べている。深部体温を低く保つためには運動前冷却が有効であるとされている（Tyler，2013）。また、近年、高温下における活動に伴う熱中症の問題もある。熱中症は既に、学校現場などでは、適宜水分を取るなどして、体内温度の上昇に伴う熱中症発症予防に努めている（日本スポーツ協会）。

深部体温を下げるための介入様式は、体外冷却と体内冷却の2つに分けられ（内藤ら，2015、2016）。体外冷却の研究として、首元やわきの下を冷やすより、手掌や足の裏などの末端を冷やしたほうがより効率よく深部体温を下げると報告されている。これは、冷点と呼ばれている冷覚を感じる点の分布密度の違いと動静脈吻合の有無によるものであると考えられている。冷点により冷刺激を感じると、ホメオスタシスとして血管収縮や心拍出量の低下など体温維持のための反応が引き起こされる。冷点の密度が高い部位では、冷刺激に対する感受性が高くなっている。首やわきの下より手掌や足の裏などの末端部の方が冷点の分布密度が低いいため、冷やしても体温維持のための反応が起こり

にくく、効率よく深部体温を下げるができると考えられる（平田、2016）。また、熱放散量は環境温が一定の時、血流量とその部位の容積に対する表面積の比により決まる。手掌や足の裏には動静脈吻合（AVA）という熱放散に適した独自の血管が通っている（Grahm，2005）。AVAと毛細血管の同一血管長あたりの血液量を比較すると、AVAの方が約10000倍大きい。また、容積に対する表面積の比は胸部を1とすると、首は2～3倍なのに対し、腕は5倍、手掌は10倍、指は22倍にもなる（平田、2016）。このため、AVAの存在する手掌や足の裏などの部位は他の部位よりも効率よく熱を放散し深部体温を下げるができると考えられる（日本スポーツ協会）。Khomeinokら（2008）により、運動後の手掌冷却により直腸温を低下させることが示されている。しかしながら、運動をした後の手掌冷却によるクーリングダウンの有効性について、その後の持久的運動パフォーマンスに着眼した研究は多くない（Krishnan，2017）。

そこで本研究では、トレッドミルを用いた多段階漸増負荷試験の後に、手掌冷却によるクーリングダウンを行い、再度多段階漸増負荷試験を行うことで、運動後の手掌冷却がその後の持久的運動のパフォーマンスに及ぼす影響について明らかにすることを目的とした。

本研究により運動後の手掌冷却がその後の持久的運動のパフォーマンスに及ぼす影響を明らかにし、スポーツ競技、強度の高い身体活動や比較的時間の長い継続した活動におけるパフォーマンスの維持およびその低減抑制のための方策を目指す。

2. 方法

(1) 対象者

宮城教育大学に通う運動習慣のある男子学生10名（20～22歳）を対象者とした。対象者の身長の平均値と標準偏差は、173.1±5.7cmであり、体重のそれらは、62.1±6.0kgであった。なお、対象者には、実験開始前に本研究の目的と方法を十分に説明し、すべての対象者から書面にて同意を得た後に、測定を行った。

(2) 実験の流れについて

本研究は、宮城教育大学3号館1F生理衛生実験室

にて、環境温 $22.4 \pm 3.2^{\circ}\text{C}$ の環境下で行なった。また、水分補給として、常温のスポーツ飲料（アクエリアス、コカコーラ社）を準備し、自由摂取とした。

1) ウォーミングアップ

ウォーミングアップとして傾斜角を0度としたトレッドミル上を、速度100m/minで3分間走行を行わせた。終了後3分間の休息をとらせた。

2) 多段階漸増負荷試験（1回目）

本研究では、傾斜角を+1度で固定したトレッドミル上を、初期速度100m/min、その後1分毎に10m/minずつ加速し、疲労困憊に至るまでの走行を行った（図1）。

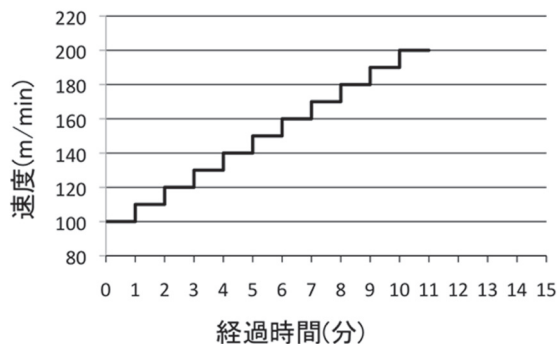


図1. 多段階漸増負荷試験における走行速度について

本研究における疲労困憊の基準として、①酸素摂取量の平定化が起きている、②推定最高心拍数に達している、③呼吸商(RQ)が1.1を超えている、④自覚的運動強度(RPE)が19を超えている、のうち、2つ以上を満たしている時点とした。

②の推定最高心拍数とは、 $220 - \text{年齢}$ で求める心拍数の推定上限値のことである。しかし、運動実施時における対象者の身体状態や運動強度に対する慣れにより左右されることが知られている。そこで、本研究では、推定最高心拍数は $(220 - \text{年齢}) \pm 10$ (拍)とし、運動負荷試験時における対象者の状態を合わせて、判断した。

また、本試験終了後クーリングダウンとして、傾斜角を0度としたトレッドミル上を任意の速度で3分間の走行を実施した。

3) 回復期

1回目の多段階漸増負荷試験終了後の30分間を回復期とした。その回復期に手掌冷却あり条件と手掌冷却条件の2条件を実施した。手掌冷却あり条件では、

回復期における最初の10分間に手掌冷却を行い、後の20分間を安静座位での休憩を行った。手掌冷却の方法は、手掌を冷水に浸漬することにより冷却を行なった。10～15度の冷水をバケツにため、座位状態で手首より先の部位の浸漬を行った。手掌冷却なし条件では、クーリングダウン後に30分間安静座位での休憩を行なった。

4) 運動負荷試験2回目のウォーミングアップ

1)で行ったものと同じように実施した。

5) 2回目の多段階漸増負荷試験

2)で実施したプロトコールと同じように実施した。上記の一連のプロトコールの手掌冷却あり条件と手掌冷却なし条件の2つのパターンを全対象者に行わせた（図2）。なお、手掌冷却あり条件と手掌冷却なし条件の順序は無作為に対象者を半数に分けて行った。また、それぞれの測定は1週間以上の間をあけて実施した。

(3) 鼓膜温の測定について

深部体温の測定には専用のプローブを直腸や食道に挿入する必要があるため、高い専門性が必要となり、また対象者への負担も大きくなる(Rowell, 1983)。そこで、本研究では深部体温と高い相関を持ち、対象者への負担も小さい鼓膜温の計測を行った(Sato, 1996)。鼓膜温の測定は、連続測定型耳式体温計(CEサーモ2、NIPRO)を用いて、実験開始から終了時まで通して1分毎に計測した。

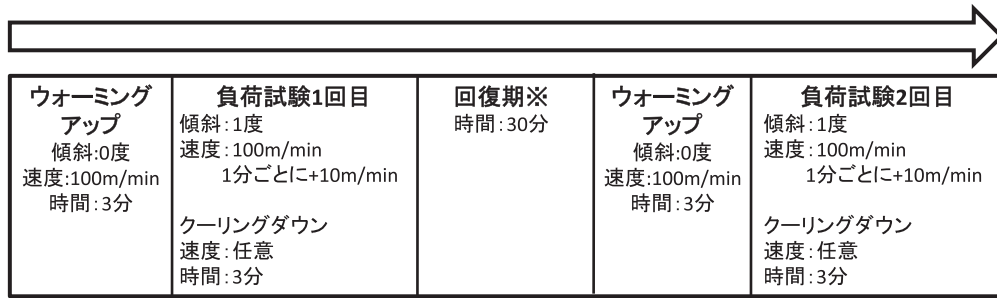
(4) 呼気ガスおよび最大酸素摂取量について

呼気ガスの分析は、呼気ガス分析器(エアロモニタAE-310S、MINATO)を用いて行った。呼気ガスは、多段階漸増負荷試験を通して連続して計測した。また、多段階漸増負荷試験において得られた呼気ガスから、全身持久力の指標としてよく用いられる最大酸素摂取量($\dot{V}\text{O}_2\text{max}$)を求めた。最大酸素摂取量は多段階漸増負荷試験中に記録された酸素摂取量の中で一番高い値とした。

(5) 心拍数(HR)について

心拍数(HR)は、心拍計(RS400、POLAR)を用いて計測した。HRは、実験開始から終了時まで通して1分毎に計測した。

実験の流れ



○回復期※の過ごし方

①手掌冷却ありの場合

手の平冷却(10分)	安静座位(20分)
------------	-----------

②手掌冷却なしの場合

安静座位(30分)

図2. 実験の流れについて

(6) 評価について

手掌冷却が深部体温の変化に与えた影響について、安静時、多段階漸増負荷試験1回目試験終了時、回復期始め時、回復期10分経過時および回復期終了後の各時点での鼓膜温を条件間で比較した。

持久的運動パフォーマンスの評価として、多段階漸増負荷試験1回目と2回目の走行距離、最大酸素摂取量、HRおよびRPEの変化を条件間で比較した。また、HRやRPEの変化は、運動経過時間とその時の測定値から回帰式を算出し、得られた傾きの値を用いた。

表1. 鼓膜温の結果について

	手のひら 冷却あり(℃)	手のひら 冷却なし(℃)	p 値
安静時	36.2±0.3	36.3±0.4	n.s.
試験1回目終了後	37.0±0.4	37.1±0.4	n.s.
①回復期始め	37.3±0.4	37.3±0.4	n.s.
②回復期10分経過	36.7±0.3	37.1±0.3	p<0.05
③回復期終了	36.4±0.2	36.7±0.3	p<0.05
②-①	-0.6±0.2	-0.2±0.2	p<0.05
③-①	-1.0±0.3	-0.5±0.3	p<0.05

n.s. は統計学的有意差がないことを示す。

(7) 統計処理

実験データは、平均値±標準偏差で示した。統計学的検討には、手掌冷却あり条件と手掌冷却なし条件間で対応のあるt検定を用いた。なお、統計的有意水準は危険率5%とした。

件間に有意差が認められ、手掌冷却あり条件で低い値を示した。回復期始め時と回復期10分経過時での鼓膜温の変化量、回復期始め時と回復期終了時での鼓膜温の変化量では条件間に有意差が認められ、手掌冷却あり条件において、低下を示した。

3. 結果

(1) 鼓膜温について

手掌冷却あり条件と手掌冷却なし条件での鼓膜温の変化および変化量を表1に示した。

安静時、多段階漸増負荷試験1回目終了時、回復期始め時の鼓膜温は条件間に有意差な差は認められなかった。回復期10分経過時、回復期終了時の鼓膜温で、条

(2) 走行距離について

手掌冷却あり条件と手掌冷却なし条件での多段階漸増負荷試験1回目と2回目の走行距離と多段階漸増負荷試験1回目と2回目の走行距離の差を表2に示した。

多段階漸増負荷試験1回目の走行距離は条件間に統計学的な有意差は認められなかった。多段階漸増負

表2. 走行距離の結果について

	手のひら冷却あり (m)	手のひら冷却なし (m)	p 値
1 回目	2550 ± 601	2569 ± 520	n.s.
2 回目	2701 ± 632	2327 ± 465	p<0.05
差	151 ± 235	-242 ± 199	p<0.05

n.s. は統計学的有意差がないことを示す。

荷試験 2 回目の走行距離は条件間に有意差が認められ、手掌冷却あり条件で大きい値を示した。また、多段階漸増負荷試験の 1 回目と 2 回目の走行距離の差では条件間に有意差が認められた。

(3) 最大酸素摂取量について

手掌冷却あり条件と手掌冷却なし条件での多段階漸増負荷試験 1 回目と 2 回目の最大酸素摂取量と多段階漸増負荷試験 1 回目と 2 回目の最大酸素摂取量の差を表 3 に示した。

表3. 最大酸素摂取量の結果について

	手のひら冷却あり (ml/kg/min)	手のひら冷却なし (ml/kg/min)	p 値
1 回目	47.29 ± 6.06	49.67 ± 3.68	n.s.
2 回目	49.84 ± 4.86	46.38 ± 7.10	n.s.
差	2.55 ± 3.17	-3.29 ± 6.68	p<0.05

n.s. は統計学的有意差がないことを示す。

多段階漸増負荷試験 1 回目、多段階漸増負荷試験 2 回目の最大酸素摂取量は条件間に有意な差はなかった。多段階漸増負荷試験 1 回目と 2 回目の最大酸素摂取量の差は条件間に有意差が認められた。

(4) HR について

手掌冷却あり条件と手掌冷却なし条件での多段階漸増負荷試験 1 回目と 2 回目の HR の変化の回帰直線の傾きとその差を表 4 に示した。

表4. 心拍数の回帰式の傾きについて

	手のひら冷却あり	手のひら冷却なし	p 値
1 回目	6.04 ± 0.74	5.63 ± 1.07	n.s.
2 回目	5.27 ± 0.66	5.34 ± 0.83	n.s.
差	-0.78 ± 0.60	-0.28 ± 0.57	p<0.05

n.s. は統計学的有意差がないことを示す。

多段階漸増負荷試験 1 回目、多段階漸増負荷試験 2 回目の心拍数の回帰直線の傾きは条件間に有意な差はなかった。多段階漸増負荷試験 1 回目と 2 回目の心拍数の回帰直線の傾きの差は条件間に有意差が認められ、手掌冷却あり条件が低い値を示した。

(5) RPE について

手掌冷却あり条件と手掌冷却なし条件での多段階漸増負荷試験 1 回目と 2 回目の RPE の変化の回帰直線の傾きとその差を表 5 に示した。

表5. RPE の回帰式の傾きについて

	手のひら冷却あり	手のひら冷却なし	p 値
1 回目	0.75 ± 0.14	0.72 ± 0.10	n.s.
2 回目	0.71 ± 0.17	0.75 ± 0.16	n.s.
差	-0.03 ± 0.07	0.03 ± 0.10	n.s.

n.s. は統計学的有意差がないことを示す。

多段階漸増負荷試験 1 回目、多段階漸増負荷試験 2 回目の RPE の回帰直線の傾きは条件間に有意な差はなかった。多段階漸増負荷試験 1 回目と 2 回目の心拍数の回帰直線の傾きの差は条件間に有意な差はなかった。

4. 考察

本研究では、多段階漸増負荷試験から得られたデータを手掌冷却あり条件と手掌冷却なし条件で比較することで、運動後の手掌冷却がその後の持久的運動のパフォーマンスに及ぼす影響および手掌冷却の有効性について検証した。

(1) 鼓膜温の変化について

今回の研究では回復期10分経過時、回復期終了時、回復期始め時と回復期10分経過時との差および回復期始め時と回復期終了時との差で条件間に有意差が認められ、手掌冷却が鼓膜温を低下させることが示された。この結果は先行研究と一致する (Bolster, 1999)。本研究で用いた手掌冷却は直接に冷却部分での放熱量を大きくし、また体内に流入する動脈血温を間接的に冷却することを目的とした。手掌、足の裏、および人間の顔などの部位は、代謝熱放散のための血液の循環による適応を有する (Grahn, 2005)。この適応は、動脈

から直接静脈叢に血液を分流することができる動静脈吻合 (AVA) から成り、ラジエータのような機能をしている。また、静脈叢で冷却された血液は、そのまま身体の深部に戻る。以上のことから、手掌冷却により冷やされた血液が AVA を介し、身体の深部に戻ることによって深部体温が下がり、深部体温と相関のある鼓膜温が有意に低下したと考えられる。

疲労困憊時の深部体温が Gonzalez ら (1999) の先行研究と比べて低い理由として、測定時の環境温の違いや対象者の有酸素性の体力レベルの違い、もしくは中枢制御によるものであると考えられる。Parkin ら (1985) によると 40℃、20℃、3℃ の環境温で疲労困憊に至るまでの運動をさせたところ、環境温が高いほど疲労困憊時の深部体温が高かったことを報告している。Gonzalez ら (1999) の研究では暑熱環境 (40℃) で行っていたのに対し、本研究は比較的涼しい環境 (22.4±3.2℃) で行った。先行研究と比べ環境温が低かったため、疲労困憊時の深部体温が低い値を示したと考えられる。Cheung ら (1998) は有酸素性の体力レベルが高い対象者 ($\dot{V}O_2\text{max}>55\text{ml/kg/min}$) は、有酸素性の体力レベルが低い対象者 ($\dot{V}O_2\text{max}<50\text{ml/kg/min}$) と比較して、疲労困憊時の直腸温が有意に高い値を示したことを報告している。また、有酸素性の体力レベルが低いと、CLT とされている 40.1-40.2℃ に達する前に主観的な疲労度が高くなり、運動の継続が困難になる可能性について述べている。Gonzalez ら (1999) の先行研究の対象者の $\dot{V}O_2\text{max}$ は 51.3±0.3ml/kg/min であり、本研究の対象者のそれは 48.45±6.62ml/kg/min であった。先行研究の対象者に比し、 $\dot{V}O_2\text{max}$ が低く有酸素性の体力レベルが低かったため、深部体温が CLT に達する前に疲労困憊に至り、結果として、疲労困憊時の深部体温が低い値を示したと考えられる。試験終了時での鼓膜温は条件間に有意差がなかったことから、Gonzalez ら (1999) の先行研究と比較して低い深部体温とはなったものの CLT には達していた可能性も考えられた。

また、深部体温が CLT に達する前に中枢制御による運動出力調節が起きた可能性も考えられる。Marino (2009) らは体温の恒常性を維持するために、脳が危険性を予測し、貯熱量や運動強度を調節する可能性について述べている。また、長谷川 (2010) は体温の上昇に伴い、体温調節や運動出力調整の役割を持

つ中枢である視床下部視索前野・前視床下部でのカテコールアミンの変化や乱れが起き、温熱性疲労や中枢性疲労を惹起させる可能性について述べている。本研究でも体温の上昇に伴い温熱性疲労や中枢性疲労が惹起され、CLT に達する前に運動出力調整が起きた可能性が考えられる。しかし、本研究では、カテコールアミン濃度について、測定を行っていない。従って、どの程度の疲労が惹起され、運動出力が調整されたかは明らかにすることはできなかった。また、体温の上昇に伴う運動出力調整の詳細なメカニズムや神経生化学的要因は明らかになっていないことから、更なる研究が求められる。

(2) 走行距離の変化について

今回の研究では、多段階漸増負荷試験 2 回目および多段階漸増負荷試験 1 回目と 2 回目の差で条件間に有意差が認められ、手掌冷却が走行距離の低減抑制および増加に効果のあることを示した。走行距離は多段階漸増負荷試験を行い、疲労困憊に至るまでの時間から距離を算出した。つまり、運動後の手掌冷却がその後の持続的運動の疲労困憊に至るまでの時間を遅延させ、それに伴い走行距離も増加した。Burdon ら (2013) は運動前に身体の温度を低下させることで中枢性の疲労や運動限界体温である CLT に到達する時間が遅延し、持続的運動パフォーマンスの低下を抑制するということを報告している。また、Bolster ら (1999) は運動前の冷却により疲労困憊に至るまでのサイクリング距離が増加したと報告している。深部体温が CLT に達すると運動の継続が困難となる。運動前に深部体温を低くしておくことにより、熱を貯めることができる蓄熱容量が増大することで、CLT に達する時間を遅らせ、運動パフォーマンスの低下を抑制すると考えられている (Booth, 1997)。今回の研究では手掌冷却による有意な鼓膜温の低下が認められた。以上のことから、多段階漸増負荷試験 1 回目により上がった深部体温が手掌冷却により下がり、蓄熱容量が増大したことによって疲労困憊に至るまでの時間が遅延し、それに伴い走行距離の低減抑制および増加につながったと考えられた。

(3) 最大酸素摂取量の変化について

今回の研究では多段階漸増負荷試験1回目と2回目の差で条件間に有意差が認められた。これは運動後の手掌冷却が最大酸素摂取量の低減抑制に効果があるということを示唆している。Krishnan ら (2017) は運動前の手掌冷却により深部体温が下がり、最大酸素摂取量が向上したという結果を報告している。一方、John ら (2015) は運動前の冷水浸漬による最大酸素摂取量への影響はないと報告しており、深部体温を下げることによる最大酸素摂取量への影響は必ずしも明らかにはされていない。Costill ら (1970) は、脳温の上昇に伴う中枢性疲労により最大酸素摂取量が低下すると述べている。また、長谷川 (2010) は体温の上昇自体が中枢性疲労を引き起こす可能性を示唆している。手掌冷却により深部体温が低下し、中枢性疲労が抑制されることで最大酸素摂取量の低減が抑制された可能性が考えられるが、今回の研究では疲労度を見る指標が RPE のみであり、中枢性疲労を具体的に評価する指標がなかった。中枢性疲労を評価する指標として、脳内でのサイトカインの1種である TGF- β の濃度の測定や脳覚醒レベルを表す脳波の解析が挙げられる (長谷川、2010; 井上、2010) が、今回の研究ではどちらの測定も実施することができなかったため、手掌冷却が中枢性の疲労に及ぼした影響を明らかにすることはできなかった。今後、運動後の手掌冷却による中枢疲労への影響と最大酸素摂取量との関係性については、更なる研究が必要と考える。

(4) HR の変化について

今回の研究において、HR の回帰直線の傾きは運動強度の増加における心拍数の上昇率を表している。今回の研究では多段階漸増負荷試験1回目と2回目の HR の変化の傾きの差で有意差が認められた。これは運動後の手掌冷却がその後の運動において、運動強度の増加による心拍数の上昇を抑える可能性を示唆している。能勢ら (1998) は、体温上昇による皮膚血流量の増加が心拍数の変動における影響について以下のように述べている。運動により体温が上昇すると熱放散のために皮膚血流量が増加する。皮膚血流量の増加に伴った血管拡張により末梢循環では血液貯留が起こる。中心循環系の血液量が低下することで右心房圧が低下し、1回心拍出量が低下する。1回心拍出量の低

下に伴い心拍数は心拍出量維持のために増加する。今回の研究では手掌冷却による深部体温の有意な低下が認められた。これらのことから、手掌冷却により深部体温が下がり、皮膚血流量の増加の閾値体温に達するまでの時間が長くなったため、運動強度の増加による心拍数の上昇が抑えられたと考えられた。

(5) RPE の変化について

本研究において、RPE の回帰直線の傾きは運動強度の増加における RPE の上昇率を示している。今回の研究では多段階漸増負荷試験1回目と2回目の RPE の回帰式の傾きおよび傾きの差で条件間に有意な差がなかった。これは運動後の手掌冷却がその後の持久的運動において、運動強度の増加による RPE の上昇率には効果を及ぼさないということを示唆している。Booth ら (1997) は運動前の全身の冷水浸漬はトレッドミル走行中の RPE の変化に影響を与えなかったことを報告している。一方 Robert ら (2010) は運動前の手掌冷却によりベンチプレス中の RPE が有意に低下したことを報告している。この異なる結果は運動様式の違いのよるものであると考えられる。Ekblom ら (1971) は、RPE の決定要因として中枢的要因 (呼吸循環器系の疲労) と局所的要因 (脚や腕の筋肉の疲労) をあげている。そして、大胸筋・広背筋・大腿四頭筋などの大筋群を使う運動ほど、中枢的要因としての呼吸循環器系の疲労度が、RPE 決定の大きな要因となることを明らかにしている。走行距離の変化についての考察で述べた通り、運動前に身体の温度を低下させることで中枢性の疲労が起こるまでの時間が遅延するため、Robert ら (2010) の研究ではベンチプレス中の RPE が有意に低下したと考えられる。Booth ら (1997) の研究では全身運動であるトレッドミルを行なったため、RPE の決定要因としての局所的要因の割合が大きくなり、RPE の変化で有意差が出なかったのだと考えられる。本研究もトレッドミル走を行ったため、Booth ら (1997) の先行研究同様 RPE の変化に影響を与えなかった。これらのことから運動後の手掌冷却によるその後の運動中の RPE の変化への影響は運動様式により異なり、トレッドミル走のような全身運動では、影響を与えないということが考えられる。

(6) 研究の限界について

本研究においていくつかの課題が散見される。本研究では疲労を評価する指標はRPEのみであった。手掌冷却が持久的運動パフォーマンスに与える影響についての生理学的なメカニズムを明らかにする上では、中枢性疲労を評価する指標が必要であると考えられた。

先行研究では暑熱環境下での運動が多かったのに対し、本研究では対象者の安全性を考慮し比較的冷涼な環境下での運動を行ったため、環境温の違いによるバイアスが研究結果に影響を及ぼした可能性も考えられる。

また、手掌冷却あり条件下における最大酸素摂取量や走行距離の平均値が、1回目に比し、2回目で大きくなっている。今回の対象者は、トレッドミルでの走行や呼気ガス分析のためのガスマスクとした状態での走行に慣れていない。そのような状況が何らかの影響を与えている可能性が示唆される。しかしながら、手掌冷却なし条件下では、2回目の平均値が1回目のそれより、低値を示しており、少なくとも、手掌冷却による効果があったものと推察された。

以上のような本研究における結果の解釈において限界性が残るものの、運動後の手掌冷却がその後の持久的運動パフォーマンスに及ぼす影響について一視座を得ることができたと考える。

本研究の結果から各スポーツ競技での運動パフォーマンスの維持および低減抑制のための試合間の過ごし方として、手掌冷却は有効な手段であり、バケツにためた冷水に手掌を10分間浸漬する程度でも十分な効果が得られると考えられた。

5. 謝辞

本研究の実施にあたり、多大なるご協力をいただいた対象者の皆様に心より感謝の意を表します。

6. 文献

- Bolster,D.R.,Trappe,S.W.,Short,K.R.,Scheffield-Moore,M.,Parcell,A.C.Schulze,K.M.,Costill,D.L. (1999) Effects of precooling on thermoregulation during subsequent exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*,31 : 251-257.
- Booth,J.,Marino,F ,Ward,J.J. (1997) Improved running performance in hot humid conditions following whole body precooling. *Medicine & Science in Sports & Exercise*,29 : 943-949.
- Borg,G.A. (1982) Psychophysical bases of perceived exertion. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 14 : 377-381.
- Burdon,C.A.,Hoon,M.W.,Johnson,N.A.,Chapman,P.G.,O'Connor,H.T. (2013) The effect of ice slushy ingestion and mouthwash on thermoregulation and endurance performance in the heat. *International Journal of Sport Nutrition and Exercise Metabolism*,23 : 458-469.
- Cheung and McLellan (1998) Heat acclimation,aerobic fitness,and hydration effects on tolerance during uncompensable heat stress. *Journal of Applied Physiology*,84 : 1731-1739.
- Costill,D.L. and Winrow. (1970) Maximal oxygen intake among marathon runner. *Archives of Physical Medicine and Rehabilitation*,51 : 317-320.
- Eklblom,B.and A.N.Golbarg (1971) The influence of physical training and other factors on the subjective rating of perceived exertion. *Acta physiologica Scandinavica*,83 : 399-406
- Gonzalez,Alonso. (1999) Influence of body temperature on the development of fatigue during prolonged exercise in the heat. *Journal of Applied Physiology*,86 : 1032-1039.
- Grahn,D.A.,Cao,V.H., Heller,H.C. (2005) Heat extraction through the palm of one hand improves aerobic exercise endurance in a hot environment. *Journal of Applied Physiology*,99 : 972-978.
- Hasegawa,H. (2008) Influence of brain catecholamines on the development of fatigue in exercising rats in the heat. *The Journal of Physiology*,586 : 141-149.
- 長谷川 博 (2010) 高体温による運動能力の低下と視床下部におけるカテコラミン. *体育の科学*, 60 (12) : 812-818
- 平田 耕造 (2016) 動静脈吻合 (AVA) 血流と四肢からの熱放散調節. *日本生気象学会雑誌*, 53 (1) : 3-12
- 井上 和生 (2010) 疲労物質としての脳内 TGF- β . *体育の科学*, 60 (12) : 819-823
- John,B.,Lissoway,M.,Grahn,D.A.,Cao,V.H.,Heller,H.C. (2015) Novel Application of Chemical Cold Packs for Treatment of Exercise-Induced Hyperthermia : A Randomized Controlled Trial. *Wilderness & Environmental Medicine*,26 : 173-179.
- Krishnan,A.,Singh,K.,Sharma,D.,Upadhyay,V.,Singh,A. (2017) Effect of wrist cooling on aerobic and anaerobic performance in elite sportsmen. *Medical Journal Armed Forces India*,74 : 38-43.
- Marino,F.E.,kay,D.,Serwash,N. (2004) Exercise time to fatigue

and the critical limiting temperature : effect of hydration. *Journal of Thermal Biology*, 29 : 21-29.

Marino, F.E. (2011) The critical limiting temperature and selective brain cooling : neuroprotection during exercise? *International Journal of Hyperthermia*, 27 : 582-590.

内藤 貴司、大柿 哲朗. (2015) 高温環境下における運動パフォーマンス低下の抑制に有効な運動前冷却方略. *九州体育・スポーツ学研究*, 30 : 23-33

内藤 貴司、山口 裕嗣、大柿 哲朗. (2016) 暑熱環境下における持久的パフォーマンス、体温および主観的感觉に及ぼす運動前氷飲料摂取間隔差の影響. *体育学研究*, 61 : 103-113

日本スポーツ協会. 熱中症を防ごう. <https://www.japan-sports.or.jp/medicine/heatstroke/tabid523.html> (2020.09.30閲覧)

能勢 博. (1998) 暑熱環境下運動時の皮膚血流調節. *体力科学*, 47 : 257-262.

鬼塚 純玲. (2018) 身体冷却による運動能力向上に関わる中枢性機序. 広島大学大学院総合科学研究科総合科学専攻博士論文.

Parkin, J.M., Carey, M.F., Zhao, S., Febbraio, M.A. (1999) Effect of ambient temperature on human skeletal muscle metabolism during fatiguing submaximal exercise. *Journal of Applied Physiology*, 86 (3) : 902-908

Robert, A., Kravits, L.R., GURNEY, B. A., Mermier, C. M. (2010) Palm Cooling Delays Fatigue during High-Intensity Bench Press Exercise. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42 (8) : 1557-1565

Rowell, L.B. (1983) Cardiovascular aspects of human thermoregulation. *Circulation Research*, 52 : 367-379.

Sato, K., Kane, N., Soos, G., Gisolfi, C. (1996) Reexamination of tympanic membrane temperature as a core temperature. *Journal of Applied Physiology*, 80 : 1233-1239.

Siegel, R., Maté, J., Brearley, M.B., Watson, G., Nosaka, K., Laursen, P.B. (2010) Ice slurry ingestion increases core temperature capacity and running time in the heat. *Medicine & Science in Sports & Exercise*, 42 : 717-725.

Siegel, R., Maté, J., Watson, G., Nosaka, K., Laursen, P.B. (2012) Pre-cooling with ice slurry ingestion leads to similar run times to exhaustion in the heat as cold water immersion. *Journal of Sports Sciences*, 30 : 155-165.

Tyler, C.J., Sunderland, C., Cheung, S.S. (2013) The effect of cooling prior to and during exercise on exercise performance and capacity in the heat : a meta-analysis. *British Journal of Sports Medicine*, 49 : 1 - 8.

Wasserman, K. : 谷口興一監訳 (1999) 運動負荷テストの原理とその評価法 第2版. 南江堂.

7. その他

本研究は、2018年度に宮城教育大学で実施した卒業研究の内容を再構成したものである。なお、本研究に関連して、著者らに開示すべきCOIに関係する企業などはありません。

(令和2年9月30日受理)

