

# 休息間の脚部冷却が暑熱環境下における 間欠的運動能力及び生体負担度に及ぼす影響

広島大学 長谷川 博  
(共同研究者) 同 高津 理美  
立教大学 安松 幹展

## Effects of Brief Leg Cooling During Halftime on Intermittent Exercise Performance and Physiological Responses in Warm Conditions

by

Hiroshi Hasegawa, Satomi Takatsu  
*Hiroshima University*  
Mikinobu Yasumatsu  
*Rikkyo University*

### ABSTRACT

The aim of the present study was to investigate the effects of brief leg cooling during halftime on intermittent exercise performance and physiological responses in warm conditions. Nine male subjects underwent two identical intermittent exercises at 32.0 °C and 80% relative humidity. The intermittent exercises consisted of a series of sixty 5 sec bouts separated by 25 sec active recovery and 30 sec passive recovery between bouts. Subjects rested for 15 min after 30 sets (halftime). Subjects immersed their legs at 16 °C (COOL) or 35 °C (HOT) for 5 min during halftime. Mean power which developed during intermittent exercises, rectal temperature were not significantly different between conditions. Heart rate, mean skin temperature and RPE of COOL were significantly lower than the HOT condition ( $p < 0.05$ ). These results suggest that halftime brief leg cooling did not enhance intermittent exercise performance, while it influences physiological and subjective responses in a warm environment.

## 要 旨

本研究の目的は、暑熱環境下での休息間の短時間の脚部冷却が間欠的運動能力及び生理的反応に与える影響について調べることであった。被験者は室温32℃、湿度80%に設定した実験室で5秒間全力ペダリング、無負荷の25秒間ペダリング、30秒間の完全休息を1セットとした間欠的自転車運動を60セット行った。30セット終了後に15分の休息時間を設け、その中盤5分間に脚部冷却(COOL条件、水温16℃)または脚部温浴(HOT条件、水温35℃)を実施した。両群間の5秒間の全力ペダリングの最大発揮パワー、体重、直腸温には差がみられなかった。心拍数、平均皮膚温、主観的運動強度及び口渇感は脚部冷却群の方が有意に低い値を示した。以上の結果から暑熱環境下における休息間の短時間の脚部冷却は、その後の間欠的運動パフォーマンスを改善しないが、生理学的及び主観的指標に良い影響を与えることが示された。

## 緒 言

近年多くの競技会が暑熱環境下において頻繁に行われている。世界陸上、オリンピック、サッカーのワールドカップも例外でなく、選手たちは厳しい暑熱環境下で戦わねばならない。暑熱ストレスが生体に及ぼす影響はこれまで多くの研究により証明されてきた。特に、運動中の高体温は運動パフォーマンスを低下させ、時には重度な熱中症をも引き起こす<sup>2,4,8)</sup>。従って、暑熱環境下での持久的スポーツにおいて、安全かつ高い運動パフォーマンスを発揮するためには、深部体温をできる限り低く抑えておくことが重要であり、その効果的な対策として水分摂取や身体冷却が注目されている<sup>7,10)</sup>。特に近年は、休息時や運動前後に活動箇所を冷却する方法が多くのスポーツで用いられている。身体冷却の目的は、外傷の治療や体温調

節及びエネルギー供給系における負担軽減のためとされているが<sup>6,16,18)</sup>、生理的データを用いて脚部冷却の効果を報告したものはほとんどない。そこで本研究では、暑熱環境下でのサッカーやテニスといった間欠的運動を想定し、ハーフタイムなどの休息間における短時間の脚部冷却が運動パフォーマンス及び生理的反応に与える影響について検討することを目的とした。

## 1. 研究方法

### 1.1 被験者

被験者は健康な男子大学生9名とした。実験を行うにあたって被験者には本実験の目的及び危険性についての十分な説明を行い、実験の被験者になることの同意を得た。実験は広島大学大学院総合科学研究科の倫理委員会の承認を得た。

### 1.2 実験手順

各被験者は予備実験1回(ファミリアリゼーション)と本実験2回の合計3回の実験を行った。本実験当日、被験者は実験準備室入室後、直腸温センサーを装着して全裸体重を測定し(A&D社製、UC-300)、その他の測定に用いるセンサーを装着した。被験者は室温32℃、湿度80%に設定された実験室でウォーミングアップを10分行った後、5分間の休息をはさみ、自転車エルゴメーター(コンビ社製、Power max V)を用いて体重×0.075(Kp)の負荷で5秒間全力ペダリング、無負荷・60rpm(回転/分)の25秒間ペダリング、30秒間完全休息を1セットとして60セット行った<sup>17)</sup>。30セット終了後に15分の休息時間を設け、前半を1st trial、後半を2nd trialとした。休息15分間のうち中盤の5分間に膝蓋骨から上部15cmまでの下肢を水またはぬるま湯に浸した。その際の温度は16℃(COOL条件)、35℃(HOT条件)の2条件とした<sup>6)</sup>。飲水はウォーミングアップ前に250ml、15分の休息間に250mlのミネラルウォ

ーターを摂取した。実験条件は被験者によってランダムに行った。2条件間は少なくとも4日間あけた。また、サーカディアンリズムを考慮し、両条件の実験は同時刻に行った。

### 1. 3 測定項目

運動パフォーマンスの指標として5秒間の全力ペダリング間の最大パワーを測定した。心拍数はハートレートモニター (POLAR社製, Accurex plus) を用いて連続的に測定した。直腸温は熱電対の先端を直腸内に10~12cm挿入し、皮膚温は胸部, 上腕部及び大腿部の3点を測定した。直腸温及び各部位の皮膚温はデータ収集形温度計 (Gram corporation社製, LT-8A) を用いて測定した。平均皮膚温はRoberts等の3点法を用いて算出した<sup>12)</sup>。主観的運動強度 (RPE) はBorgのスケール<sup>1)</sup>、口渴感はRolls等のスケールを用いて測定した<sup>11)</sup>。

### 1. 4 統計処理

データは全て平均±標準誤差で算出した。実験前後の裸体重はT-testを用いて比較した。最大パワー, 直腸温, 皮膚温, 心拍数, RPE, 口渴感の経時的な変化は, 2要因の繰り返しのある分散分析で, SPSS (Ver.14) を用いて分析した。有意差が認められた場合には, 各群間の差についてT-testを用いた。有意水準はいずれも5%未満とした。

## 2. 研究結果

最大パワーの経時的変化を図1に示した。1st trialではセットを経るにつれ両条件で低下傾向にあった。休息後の2nd trialの最大パワーは両条件下で1st trial終盤より低い値であった。どのセットでも条件間に有意な差は見られなかった。

心拍数は運動により両条件とも急激に増加し, 時間経過により増加度は緩やかになった。休息間で両条件共に急激に低下したが, 2nd trial開始直

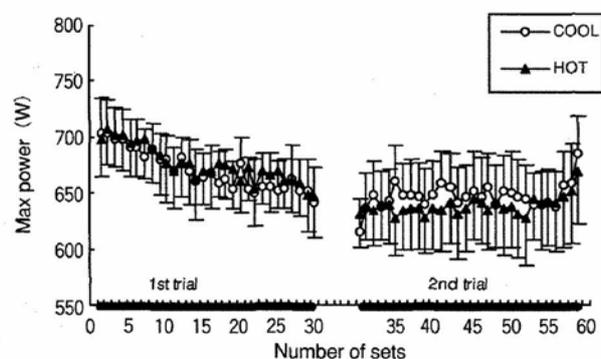


図1 Mean change in maximal power for 9 subjects during exercise in COOL (water immersion at 16°C) and HOT (water immersion at 35°C) conditions. Values are expressed as mean ± SE for 9 subjects.

後に再び急激に増加した。両条件の心拍数を比較すると, 水浴直後にCOOL条件がHOT条件に比べて有意に低い値を示した ( $p<0.05$ )。

直腸温の経時的変化を図2に示した。水浴により直腸温は両条件共わずかに低下した。2nd trial前半でCOOL条件の直腸温はHOT条件よりも低い傾向であったが, 有意な差は見られなかった。

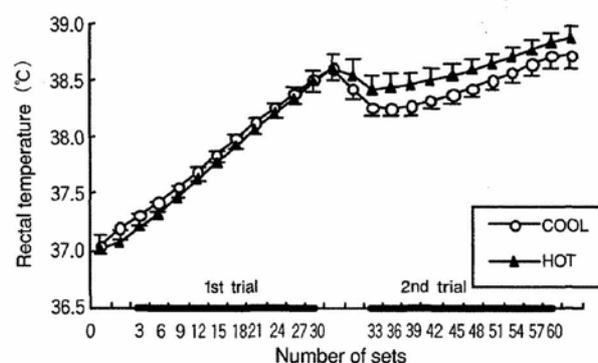


図2 Mean change in rectal temperature for 9 subjects during exercise in COOL and HOT conditions. Values are expressed as mean ± SE for 9 subjects.

大腿部の皮膚温の経時的変動を図3に示した。両条件ともに運動開始後に急激に増加し, 時間経過により増加度は緩やかになった。両条件共に大腿部の皮膚温は休息間に有意に低下した。両条件の大腿部の皮膚温を比較すると, 水浴直後から51セットの測定時までの期間, COOL条件がHOT条件に比べて有意に低い値を示した ( $p<0.05$ )。

平均皮膚温の経時的変化を図4に示した。両条

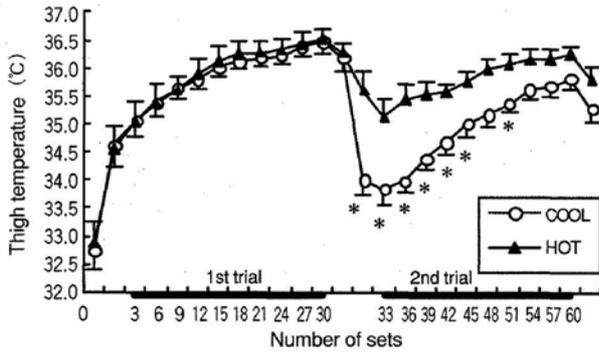


図3 Mean change in thigh temperature for 9 subjects during exercise in COOL and HOT conditions. Values are expressed as mean  $\pm$  SE for 9 subjects. \* indicates significant difference ( $p < 0.05$ ) between COOL and HOT conditions.

件の平均皮膚温を比較すると、水浴直後から54セットまでの間、COOL条件がHOT条件に比べて有意に低い値を示した ( $p < 0.05$ )。

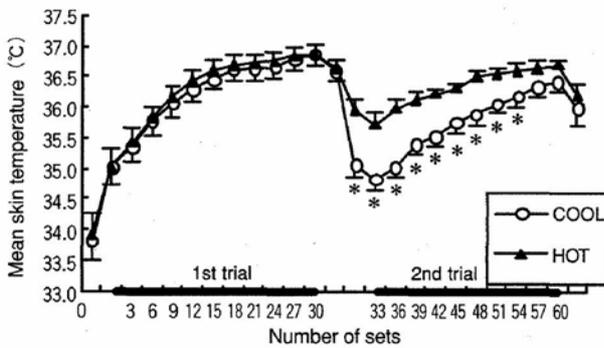


図4 Mean change in skin temperature for 9 subjects during exercise in COOL and HOT conditions. Values are expressed as mean  $\pm$  SE for 9 subjects. \* indicates significant difference ( $p < 0.05$ ) between COOL and HOT conditions.

RPEは1st trial, 2nd trialの間で上昇し、休息により低下した。両条件のRPEを比較すると35セット、40セット、45セットにおいてCOOL条件の方が有意に低い値を示した ( $p < 0.05$ )。

体重は運動開始前の値はそれぞれ  $66.7 \pm 2.8$ kg (COOL),  $66.8 \pm 2.9$ kg (HOT), 運動終了後の値はそれぞれ  $65.7 \pm 2.8$ kg (COOL),  $65.7 \pm 2.9$ kg (HOT) であり、両条件共に運動により有意に体重は減少したが ( $p < 0.05$ )、条件間での体重の違いは見られなかった。

### 3. 考察

本研究では暑熱環境下での休息間の脚部冷却が長時間における間欠的運動パフォーマンス及び生理学的反応に与える影響について調べることを目的とした。その結果、生理的指標である心拍数、皮膚温及び主観的指標であるRPE及び口渇感は両条件間で有意差が認められた。最大発揮パワーを指標とする運動パフォーマンスや直腸温に関しては、脚部冷却の効果が見られなかった。

本研究では運動パフォーマンスの指標として全力ペダリング時の最大パワーを測定した。最大パワーは1st trialはセットを経るにつれ両条件下で低下傾向を示し、2nd trialはその変化は横ばいとなり、終盤数セットは上昇するという結果であった。このような経時的変化は他の研究でも報告されている<sup>9,17)</sup>。しかし、予測していたCOOL条件における2nd trial時の運動パフォーマンスの改善は見られなかった。同様に直腸温は2nd trialのCOOL条件において有意な低下を示さなかった。長時間の間欠的運動において高いパフォーマンスを発揮または維持するためには、深部体温の上昇を低く抑えることが重要である<sup>4)</sup>。直腸温が約40℃になると運動継続が難しくなると一般的にいわれているが<sup>8)</sup>、高温多湿の環境下では直腸温が38.5℃以下であっても高体温、熱負荷による中枢神経系の中核性疲労、それに伴う活動筋の運動低下が起こるとされている<sup>15)</sup>。そのため、直腸温を指標とする深部温度は、暑熱環境下での長時間における間欠的運動パフォーマンスを左右する因子といえる。従って、本実験において運動パフォーマンスに差が見られなかった要因に、COOL条件の直腸温が休息間の脚部冷却によって有意に低下しなかったことがあげられる。

平均皮膚温、心拍数、主観的運動強度及び口渇感の平均値は2nd trialのCOOL条件において有意な低下を示した。これらの結果は、平均皮膚温の

低下が心拍数及び主観的指標に影響していたと推測される。これらの結果は、皮膚温の低下により末梢の血管収縮が起き、心臓に血液が集まり心拍数が低下するという Rowell 等や Hasegawa 等の研究結果を支持するものとなった<sup>5,13,14</sup>。また、暑熱環境下での運動は熱ストレスや熱疲労といった熱の影響を受けるため、脚部の冷却による冷感が心理的に有利に働き、主観的指標に影響したと考えられる。

本研究では、実用性を重視し5分間及び水温16℃の下肢水浴を用いた。Duffield 等は20分の間欠的運動を4セット行い各セット間に設けられた10分の休息の5分間にアイスベストによる上半身冷却を行った。その結果、最大パワー及び平均パワーを指標とする運動パフォーマンスが改善しないという結果が得られ、その一因に5分間の冷却時間の短さを挙げている<sup>3</sup>。一方、深部体温の低下を狙った冷却の多くは20分以上と本実験よりも長時間に及ぶ冷却を行っているため<sup>7,10</sup>、長時間の冷却を行うことで、深部体温及び主動筋の筋温が十分に低下しパフォーマンスの面にも好影響を及ぼすと考えられる。そして、主動筋や部分的な冷却には0℃の氷によるアイシングや、0℃以下の低温の空気をあてる方法がとられているため、出来るだけ低温での冷却を行うことでもパフォーマンスの面にも好影響を及ぼすと考えられるが、冷却の方法は多様で、方法により結果も様々であるため、運動の諸条件を考慮し適した冷却方法を行う必要がある<sup>7,10</sup>。また本実験の被験者の中には、冷却直後の間欠的運動において、脚の感覚が鈍く力を発揮しにくかったという者も見られたことから、2nd trial 開始前に再びウォーミングアップを行うなど、筋温を上昇させる対策を講じる必要性も示唆された。

激しい運動後の筋疲労状態からの積極的な回復方法として軽運動、ストレッチング、スポーツマッサージ、鍼灸などの方法もある<sup>16</sup>。これらの

回復法の考え方は、筋血流量や皮膚温を上昇させ筋肉内の疲労物質を除去するというもので、温めることが疲労回復につながるというものである<sup>18</sup>。従って、運動部位に対する CON 条件の35℃の水浴が、発汗能及び蒸発による皮膚温低下を妨げる効果を生じ、それが運動パフォーマンスに影響した可能性もある。椅子の上で安静するなどの休息方法も加えた実験を行う必要性が考えられた。

#### 4. 結 語

本研究では暑熱環境下での休息間の脚部冷却が、長時間における間欠的運動パフォーマンス及び生理学的反応に与える影響について検討した。運動間の脚部冷却により心拍数、皮膚温といった生理学的指標、RPEや口渇感といった主観的な指標は有意に低い値を示した。短時間の脚部冷却は5秒間の全力ペダリング間の最大発揮パワー及び深部体温には影響を及ぼさなかった。暑熱環境下での休息間の脚部冷却は、休息後の間欠的運動パフォーマンスを大きく改善できないが、生理面及び精神面において良い影響があることが示唆された。環境温等の運動時の諸条件を熟慮して最適な冷却方法を用いることで、パフォーマンスに関しても良い影響があると考えられる。

#### 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に深謝致します。

#### 文 献

- 1) Borg, G. Perceived Exertion: a note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports Exer.*, 5: 90-93 (1973)
- 2) Drust, B., Rasmussen, P., Mohr, P., Nielsen, B., Nybo, L., Elevation in core and muscle temperature

- impairs repeated sprint performance. *Acta. Physiol. Scand.*, 183: 181-190 (2005)
- 3) Duffield, R., Marino, E., Effects of pre-cooling procedures on intermittent sprint exercise performance in warm conditions. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 100: 727-735 (2007)
  - 4) Hasegawa, H., Meeusen, R., Takatsu, S., Yamasaki, M., Exercise performance in the heat – Possible brain mechanism and thermoregulatory strategies –. *Adv. Exerc. Sports Physiol.*, 13: 81-92 (2008)
  - 5) Hasegawa, H., Takatori, T., Komura, T., Yamasaki, M., Wearing a cooling jacket during exercise reduces thermal strain and improves endurance exercise performance in a warm environment. *J. Strength Cond. Res.*, 19:122-128 (2005)
  - 6) Hayashi, K., Honda, Y., Ogawa, T., Wada, H., Kondo, N., Nishiyasu, T. Effects of brief leg cooling after moderate exercise on cardiorespiratory responses to subsequent exercise in the heat. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 92: 414-420 (2004)
  - 7) Marino, F., Methods, advantages and limitations of body cooling for exercise performance. *Br. J. Sports Med.*, 36: 89-94 (2002)
  - 8) Nybo, L., Hyperthermia and fatigue. *J. Appl. Physiol.*, 104: 871-878 (2008)
  - 9) Paul, C., Adam, L., Philp, A., Webborn, A., Peter, P., Neil, S. Precooling leg muscle improves intermittent sprint exercise performance in hot, humid conditions. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 100: 1377-1384 (2005)
  - 10) Quod, M.J., Martin, D.T., Laursen, P.B., Cooling athletes before competition in the heat: comparison of techniques and practical considerations. *Sports Med.*, 36: 671-682 (2006)
  - 11) Rolls, B. J., Wood, R. J., Rolls, E. T., Lind, H., Lind, W., Ledingham, J., Thirst following water deprivation in humans. *Am. J. Physiol. Regul. Integr. Comp. Physiol.*, 239: R476-R482 (1980)
  - 12) Roberts, M.F., Wenger, C.B., Stolwijk, J.A., Nadel, E.R., Skin blood flow and sweating changes following exercise training and heat acclimation. *J. Appl. Physiol.*, 43: 133-137 (1977)
  - 13) Rowell, L.B., Brengelmann, G.L., Kraning, K.K., Cardiovascular responses to sustained high skin temperature in resting man. *Eur. J. Appl. Physiol.*, 27: 673-680 (1969a)
  - 14) Rowell, L.B., Murray, J.A., Brengelmann, G.L., Kraning, K.K., Human cardiovascular adjustments to rapid changes in skin temperature during exercise. *Circ. Res.*, 24, 711-724 (1969b)
  - 15) Todd, G., Butler, J.E., Taylor, J.L., Gandevia, S.C. Hyperthermia: a failure of the motor cortex and the muscle. *J. Physiol.*, 563: 621-631 (2005)
  - 16) 山本正嘉, 山本利春. 激運動後のストレッチング, スポーツマッサージ, 軽運動, ホットパックが疲労回復に及ぼす効果—作業能力および血中乳酸の回復と指標として—. *体力科学*, 42: 82-92 (1993)
  - 17) 安松幹展, 宮崎修, 大橋二郎, 田中英登. 長時間の間欠的運動時の体温上昇度の個人差とパフォーマンスの関係. *小野スポーツ科学* 7: 89-101 (1999)
  - 18) 吉永孝徳. *スポーツ・アイシング*. ナツメ社 (2002)

