

# 暑熱環境下での低強度の持久運動時における飲水，頸部冷却， 大腿部冷却が体温上昇の抑制に及ぼす効果

石飛 元基<sup>1)</sup>，山本 正嘉<sup>2)</sup>

<sup>1)</sup>鹿屋体育大学体育学部

<sup>2)</sup>鹿屋体育大学スポーツトレーニング研究センター

## I. 緒 言

暑熱環境で運動を行うと，体温が過度に上昇し，熱中症を引き起こす危険性がある．これを防ぐための最良の方法は，暑熱環境下での運動を避けることである．日本体育協会では「熱中症予防のための運動指針」<sup>6)</sup>を示し，WBGTが28℃以上の暑熱環境下での運動は「厳重警戒」，同じく31℃以上の場合には「運動は原則中止」としている．しかし現実には，多くのスポーツイベントは6～8月の高温多湿期にも盛んに行われている．

このような事情から，暑熱環境下で体温の上昇をどのように防ぐかについての研究も古くから多く行われてきた．その代表的な対策として水分補給があげられる．また最近では，アイスパック<sup>4,19)</sup>，クーリングジャケット<sup>3,9,18)</sup>，冷水浴<sup>10)</sup>などを用いた身体冷却（クーリング）を行うことも多くなってきた．身体冷却を行うと，熱放散系の負担が減少し，発汗量および循環器系の負担も軽減されるため，熱障害を防止する上で有効とされている<sup>4,10,18)</sup>．

ところで，スポーツ選手ばかりではなく一般人においても，レクリエーションや健康のために，高温多湿の夏期に，軽運動を行う機会は少なくない．しかし，このような軽運動を対象として体温上昇の抑制に関する検討を行った先行研究は少ない．さらに，このような軽運動において，飲水と身体冷却がそれぞれ身体にどの程度の効果を及ぼすかを比較検討した研究もほとんどない．

そこで本研究では，暑熱環境を再現した人工気象室内で，自転車エルゴメーターを用い，健康増進を目的とする際に行われるような30分間の低強度運動を，10分間の休息をはさんで2セット行った．そし

て，運動間の休息中に，①飲水，②大動脈の一つである頸動脈の冷却，③運動の主動筋である大腿部前部の冷却，④飲水も冷却も行わない（コントロール条件），をそれぞれ行い，体温や心拍数といった生理応答や，つらさや温冷感といった心理的な指標に，どのような違いが生じるかについて比較検討することとした．

## II. 方 法

### A. 被 験 者

健康な成人男性8名を被験者とした．身体特性は，年齢：22歳±1歳，身長：170.8cm±7.8cm，体重：65.6kg±7.1kgであった．被験者は，大学または社会人の運動部に所属して，ほぼ毎日トレーニングを行っている者から，あまり運動を行っていない者までがいた．各被験者には，本研究の目的，方法，およびそれに伴う危険性を文書および口頭で説明し，本研究に参加する同意を得た．

### B. 測定手順

本実験はすべて暑熱環境（気温33℃，湿度70％）に設定した人工気象室内（トレーニング環境シミュレーター，エスベックエンジニアリング社製）で行った．また，運動は自転車エルゴメーター（エアロバイク75XLⅡ，Combi社製）を用いて行った．また本実験は10～11月に行われた．

図1は実験手順を示したものである．被験者は暑熱環境に設定した人工気象室内に入室した後，20分間の安静をとった．その後，体重の2％の負荷重量で60rpmの自転車ペダリング運動を30分間行い，10分間の休息（椅座位）を挟み，再び30分間の運動を

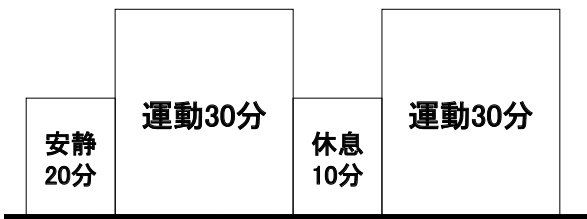


図1. 実験のプロトコル（上）と、休息期における脚部（左下）および頸部（右下）のアイシングの様子

行った。ハンドルおよびサドルの高さは、被験者毎に4回の実験で同じとなるようにした。

各被験者は、①飲水を行う飲水条件、②頸部に冷却を行う頸部冷却条件、③大腿部に冷却を行う大腿部冷却条件、および④これらの処置を行わないコントロール条件、の4条件で実験を行った。これらの測定はランダムな順序で行うとともに、各測定は48時間以上あけて行った。

飲水および冷却は運動間の休息中に行った。飲水は休息開始から5分以内に行うこととし、約5℃程度に冷却した300mlの真水を摂取した。また2種類の冷却はアイスパックを用いて、休息開始2分目から7分目までの5分間で行った。頸部の冷却については、頸動脈上にアイスパックを当て、パックをなるべく動かさないようにして冷却した。大腿部の冷却は、自転車ペダリング運動の主動筋である大腿前部にアイスパックを当て、頸部の場合と同様、パックをなるべく動かさないようにして冷却した。

### C. 測定項目

①直腸温度(Tre)、②鼓膜温度(Tty)、③温冷感(TS)

直腸温度(Tre)は、安静10分目から測定終了時まで、高精度温度解析ロガー(LT 8 A, Gram社製)および、直腸温度測定用のプローブ(LT-ST 08-11

Gram社製)を用いて連続的に測定した。直腸温度測定用のプローブは肛門括約筋の奥15cmに装着した。測定間隔は5秒間とし、値は10分毎に平均化して算出した。

鼓膜温度(Tty)は、安静20分目から10分毎に、赤外線式鼓膜体温計(ジニアス3000A-03, 日本シャーウッド社製)を用いて測定した。なお、測定に当たっては吉塚と山本<sup>22)</sup>の報告に基づき、験者は外耳を後上方に引っ張って外耳道をまっすぐにし、センサー部分をできるだけ奥まで挿入して鼓膜の方へ向け、安定した値が出るまで測定し、それらの最高値を採用した。

被験者の心理的な温冷感は、YoramとDaniel<sup>24)</sup>が提唱した尺度の日本語訳<sup>4)</sup>を用いて、全身、頭部、脚部の3か所に分けて、安静20分目から10分毎に記録した。

### ④心拍数(HR)、⑤主観的運動強度(RPE)

心拍数(HR)は、安静10分目から測定終了まで、心拍計(X Trainer Plus, Polar社製)を用いて連続的に測定した。測定間隔は5秒間とし、10分毎に平均化した値を算出した。主観的運動強度(RPE)は、Borgの尺度の日本語版<sup>15)</sup>を用いて、運動中10分毎に記録した。

### ⑥体重減少率

各条件の測定前後に各被験者の体重を測定し、測定前の体重から測定後の体重を引いた値を測定前の体重で割り、パーセンテージで表した。なお、体重は、着衣を脱ぎ、水分は拭き取った状態で、0.05 kg単位で計測可能な全自動身長体重計(AD-6225A, Combi社製)を用いて測定した。

### D. 統計処理

測定した値は、平均値±標準偏差で示した。統計処理には、一元配置分散分析および、二元配置分散分析を用いた。体重減少率に関しては、条件を要因とした反復測定による一元配置分散分析を、Tre, Tty, HR, RPE, TSに関しては、条件と時間をそれぞれ要因とした反復測定による二元配置分散分

析を用い、いずれもその後の検定にTukey'sHSD post-hoc testを用いた。有意水準は5%未満とした。

### Ⅲ. 結 果

#### A. 2種類の体温指標と温冷感

図2-aは、Treの推移を示したものである。4条件とも、時間経過に伴い上昇した。なお飲水条件については、運動後半の体温上昇は、他の条件よりもやや抑えられるような値で推移したが、条件間で有意差は見られなかった。

図2-bは、Ttyの推移を示したものである。4条件とも、時間経過に伴い上昇し、運動後半の値を比べると、平均値としては、飲水<大腿部冷却<頸部冷却<コントロール条件となった。しかし、条件間において有意差は見られなかった。

図3-aは、全身のTSの推移を示したものである。4条件とも、運動開始から50分までは6（やや暖かい）から8（暑い）の値まで上昇した。また休息中においては、コントロール条件は6程度まで低下した。これに対して、飲水や冷却を行った他の条件では、5（普通）程度まで低下した。ただし条件間で有意差は見られなかった。その後、運動の再開に伴い上昇したが、運動終了時まで条件間で有意差は見られなかった。

図3-bは、頭部のTSの推移を表したものである。4条件とも、運動開始から50分までは時間経過に伴い上昇した。休息中において、頸部冷却条件では5程度まで、他の条件は6程度まで低下したが、有意差は見られなかった。その後、運動の再開に伴い上昇し、運動終了時まで条件間で有意差は見られなかった。

図3-cは、脚部のTSの推移を表したものである。4条件とも、運動開始から50分までは時間経過に伴い上昇した。休息中において、大腿部冷却条件では4（やや涼しい）程度まで、他の条件では5～6程度まで低下したが、有意差は見られなかった。その後、運動の再開に伴い上昇したが、運動終了時まで条件間で有意差は見られなかった。

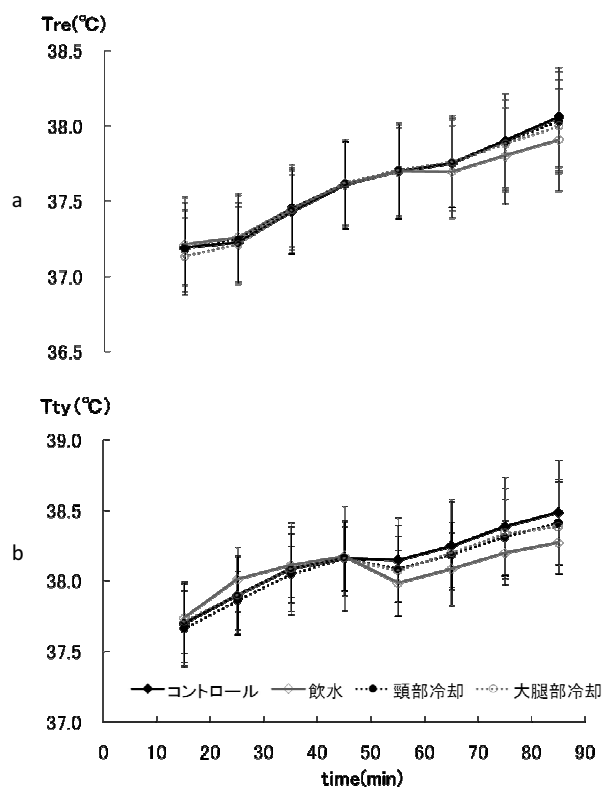


図2. 実験全体を通しての直腸温度(a)と鼓膜温度(b)の推移

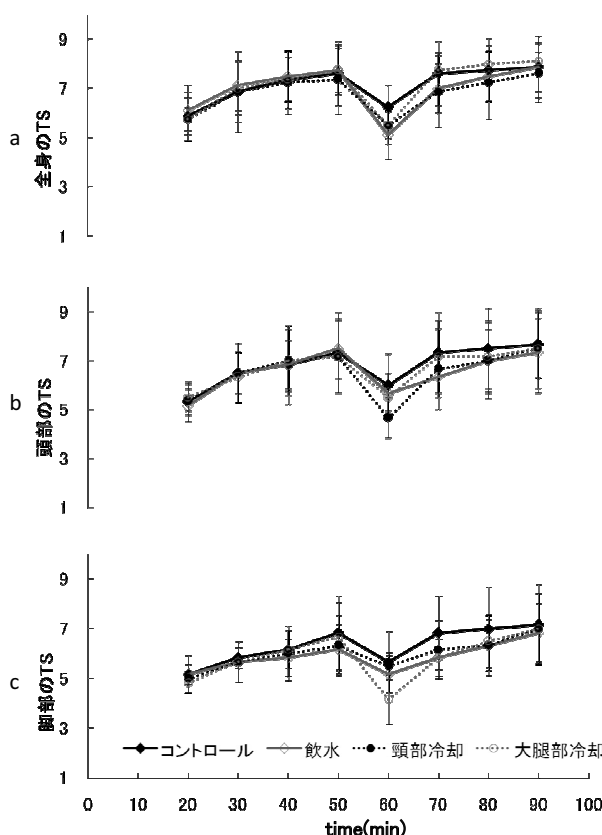


図3. 全身(a), 頭部(b), 脚部(c)における温冷感の変化

## B. 心拍数, 主観的運動強度

図4-aは, HRの推移を表したものである。4条件とも, 運動開始から50分までは時間経過に伴い上昇し, 休息後にいったん低下した。また休息後の運動再開とともに再び上昇し, 最終的には130bpm前後の値で, 飲水<頸部冷却<大腿部冷却<コントロール条件という, 多少の違いが見られた。しかし条件間で有意差は見られなかった。

図4-bは, 運動中のRPEの推移を表したものである。4条件とも, 時間経過に伴いやや上昇し, 最終的には約13(ややきつい)となったが, 条件間で有意差は見られなかった。

## C. 体重減少率

図5は, 4条件における脱水量を推定するために運動による体重減少率を表したものである(飲水条件については飲水量を引いた値から算出した)。飲水条件では脱水率が1.5%程度, また他の条件では1.4%程度と, 前者の方がやや大きい値を示した。しかし条件間で有意差は見られなかった。

## IV. 考 察

### A. 体温指標との関連から見た飲水, 冷却の効果

本研究では, 体温の上昇を観察するために, TreとTtyの2種類を測定した。上記の指標のうち, Treは深部温度の指標として, 古くから多くの研究者が用いてきており, その妥当性は広く認められている<sup>13)</sup>。

一方, Ttyについては, 脳に近い部位の体温を測っていることから, 脳温の指標となるという指摘もあるが<sup>11)</sup>, 全面的に認められているわけではない<sup>17)</sup>。ただし, 熟練した験者が数回の測定を行い, 安定した値が出るまで測定し, その値の最高値を採用することで, 高い精度の値が得られるという指摘もある<sup>22)</sup>。そこで本研究では, 後者の考え方に従って指標に採用した。また得られたTtyは, 脳温を直接的に表す指標としてではなく, 脳に近い部位の深部体温を表す指標として考えることとした。

本研究の結果, 飲水条件では他の条件に比べて, 運動後半にTreやTtyが低い値を示す傾向が見られ

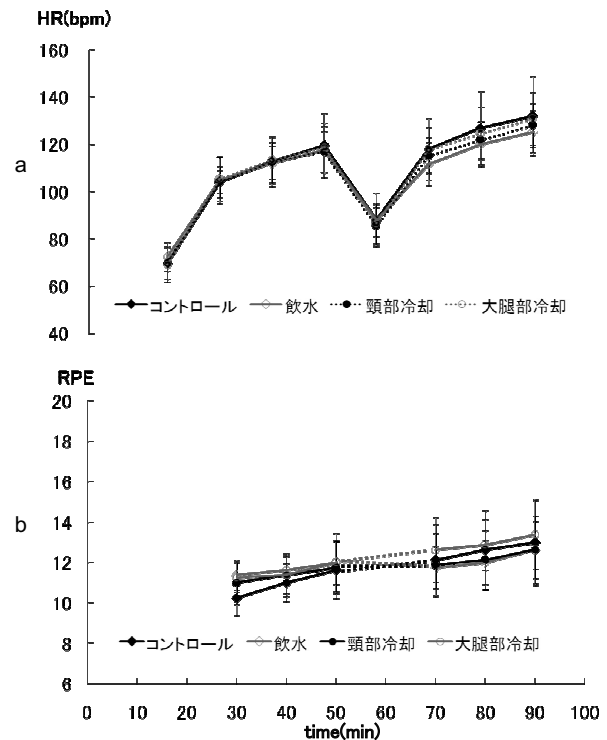


図4. 心拍数(a)および主観的運動強度(b)の変化

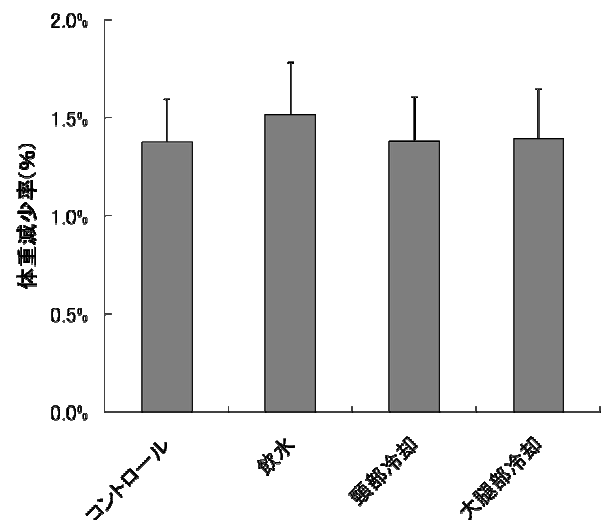


図5. 4条件における測定前後の体重減少率

た(図2-a, 2-b)。また, 頸部冷却条件と大腿冷却条件ではこれらの値は同程度となり, コントロール条件よりも若干ではあるが低い値を示した。ただしいずれの体温指標ともに, 条件間での有意差は見られなかった。

先行研究では, 井上と山本<sup>4)</sup>が暑熱環境下で高強度運動を行った際, 運動の中盤に5分間の大腿部のアイスマッサージを行うことで, 直腸温度の上昇

が抑制されたと報告している。また、Gordonら<sup>2)</sup>は、スポーツ用に開発された首に巻いて冷やす素材の使用により、直腸温度の上昇が抑制されるとしている。その他に、運動時の飲水が体温上昇の抑制に効果的という報告は多い<sup>1,7,20)</sup>。

このような先行研究とは異なり、本研究では4条件間で有意差が見られなかった理由の一つとして、運動強度が低かったことが考えられる。先行研究の運動強度を見ると、HRが140bpm以上となっているものが多い。また、低強度で行った先行研究<sup>8)</sup>もあるが、それについては運動時間が90分と長い。

これに対して本研究では、運動終了直前のHRが130bpm前後であり、正味の運動時間も60分であった。したがって、運動強度がさらに高くなったり、あるいは運動時間がさらに長くなったりすることにより、体温指標の違いが有意に表れる可能性もある。しかし、本実験条件のような低強度、および比較的短時間の運動の場合には、有意差が生じるまでには至らなかったものと考えられる。

#### B. 生理的な指標との関連から見た飲水、冷却の効果

HRを見ると(図4-a)、時間経過に伴い全ての条件で上昇し続けた。そして運動後半になると、平均値で見た場合には、飲水<2つの冷却条件<コントロール条件となる傾向を示し、その傾向は運動終了時まで維持された。しかし、条件間において有意差は見られなかった。

先行研究を見ると、西岡ら<sup>14)</sup>は、暑熱環境下で運動を行った際に、頸部冷却を行うことで心拍数が低下したと報告している。また、筒井ら<sup>21)</sup>は、運動中に下肢冷却を行うことで心拍数の上昇を抑制する効果があると報告している。また森本<sup>12)</sup>は、飲水により心拍数が低下すると報告している。

このような先行研究の結果に対して本研究では、4条件間に有意差が見られなかった。この理由は前述のように本研究の場合、運動強度が低かったためと考えられる。

#### C. 主観的な指標との関連から見た飲水、冷却の効果

本研究では、運動中の被験者の感覚を表す指標として、運動時の身体的なつらさを表すRPEと、暑さ・寒さの感覚(温冷感覚)を表すTSを測定した。

まずRPEの推移を見ると(図4-b)、4条件間でほとんど差は見られなかった。先行研究を見ると、Gordonら<sup>2)</sup>の研究では、頸部を冷やすことで直腸温度の上昇は抑制できたが、RPEには差異が認められなかったとしている。また、梶原ら<sup>5)</sup>の研究では、冷たい霧を後頸部にかけることで体温上昇の抑制はできたが、RPE、温冷感覚、快適感覚には有意差が見られなかったと報告している。その他に鉄口ら<sup>20)</sup>は、水分摂取により鼓膜温度の上昇を抑えることはできたが、RPEにおいては有意差が見られなかったと報告している。このように、RPEについては、従来からも条件間で有意差は認められておらず、本研究の結果もこれに一致するものであった。

次にTSについては、全身のTSを見ると(図3-a)、休息中にコントロール条件が他の条件よりも高い値を示していたが、有意差は見られなかった。頭部のTS(図3-b)は、頸部冷却条件において他の条件よりも低値を示したが、有意差は見られなかった。また、脚部のTS(図3-c)は、大腿部冷却条件において他の条件よりも低値を示したが、有意差は見られなかった。

これらの結果は、運動強度が低く、体温上昇が少なかったため、飲水や冷却を行わなくても、休息をするだけでTSが低下したためと考えられる。

#### D. 体重減少率から見た飲水、冷却の効果

森本<sup>12)</sup>は、発汗量の指標となる体重の減少率が、体重あたりで1%増えるごとに心拍数が5~10拍/分程度増加すると報告している。本研究では、各条件とも体重減少率は1.4~1.5%程度と1%は超えていたが、条件間で有意差は見られなかった。ただし、運動の強度がさらに大きくなるか、あるいは時間がさらに長い条件となるなどして、体重減少率(発汗量)に条件間で差が生じるような場合には、心拍数にも差が見られる可能性はあるかもしれない。

また金野ら<sup>8)</sup>によると、暑熱環境下での運動中に

頭から水をかぶっても、体重減少率に有意差は見られなかったと報告している。また、井上と山本<sup>4)</sup>は、高強度運動中に下肢冷却を行った際の体重減少率に有意差は見られなかったと報告している。これらの先行研究から、暑熱環境下での運動中に身体冷却を行っても発汗量には差が生じないことが窺える。この傾向は、本研究のような低強度の運動中においても同様であるといえる。

### E. 個人データに関する考察

本研究の結果、平均値で見た場合の体温の上昇には、4条件間で有意差が見られなかった(図2)。ただし、個人的にデータを見てみると、図6-bに示すように、条件間でTreに差がほとんど見られない者と、図7-bのように差が見られる者とがいた。またその他の被験者についても、図6-bのようなタイプと図7-bのようなタイプが見られた。

この理由について検討したところ、下肢を主働筋とする持久系スポーツを行っている鍛錬者では、前者のタイプが多く見られた。また、非鍛錬者や上肢を主働筋とするスポーツ選手では、後者のタイプが多く見られた。

おそらく前者にとっては、本実験条件の自転車運動の負荷は軽すぎたため、体温の上昇が小さく、このために飲水や冷却の効果も現れなかった可能性がある。一方、後者の場合には、このような負荷でも相対的に大きな負荷がかかり、飲水や冷却といった処方の効果が出たのかもしれない。このことは、図6-aでは被験者の心拍数が100~110bpmであるのに対して、図7-aでは被験者の心拍数が120bpm前後と、より高いレベルにあることから窺える。

なお、図7のような被験者の場合でも、2つの冷却条件の効果の差は明瞭ではなかった。したがって低強度の運動の場合には、冷却部位の差はさほど見られないと考えられる。また、図7で見られる傾向から、冷却よりも飲水の方が、より効果が大きいとも考えられる。

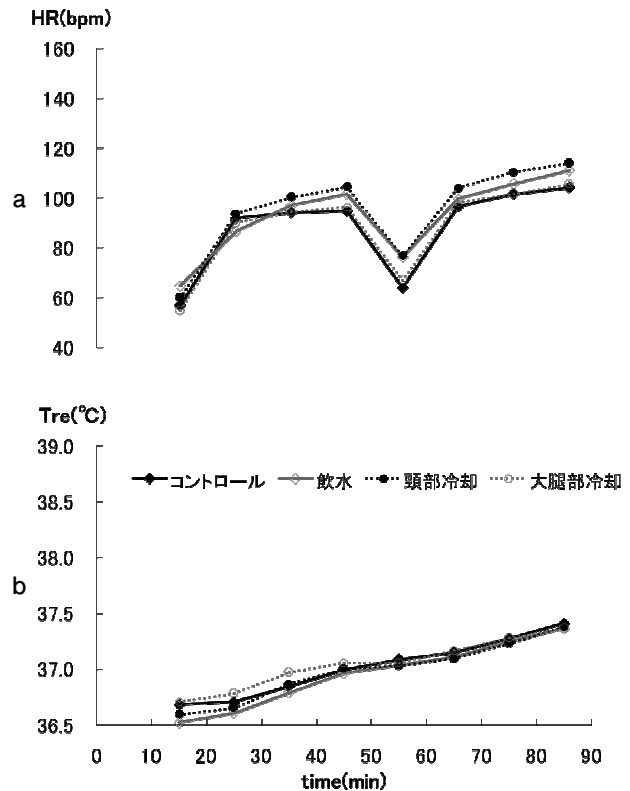


図6. Treに条件間の差がほとんど見られなかった被験者(バスケットボール選手)における心拍数とTreの推移

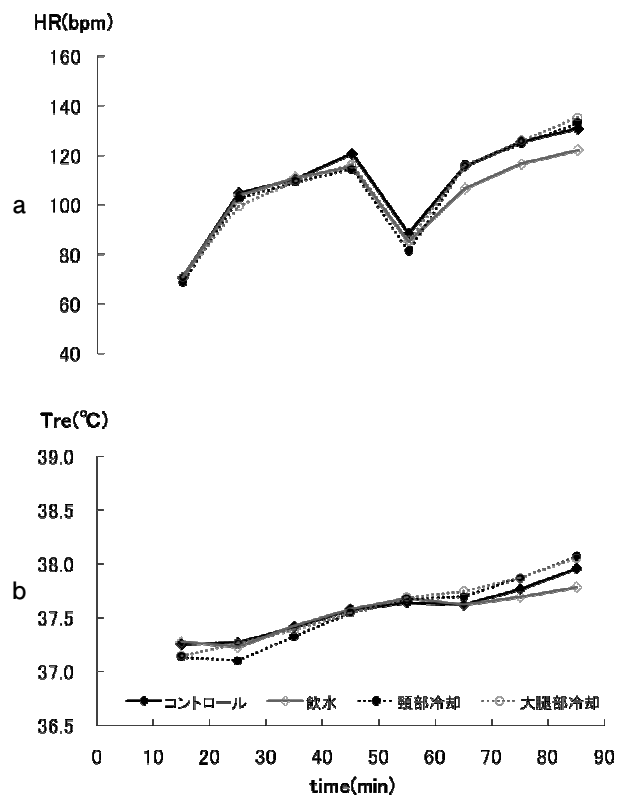


図7. Treに条件間の差が見られた被験者(カヌーカヤック選手)における心拍数とTreの推移

## V. ま と め

本研究では、健康な男子大学生が、暑熱環境（気温33℃、湿度70%）をシミュレーションした人工気象室内で、自転車エルゴメーターを用いて、30分間の比較的低強度の自転車ペダリング運動（運動終了時の心拍数が130bpm程度、主観的運動強度が13程度）を、10分間の休息を挟んで2セット行った。そして10分間の休息中に、①飲水、②頸部冷却、③大腿部冷却、④飲水も冷却もなし（コントロール）、の4条件で測定を行い、その違いについて比較検討した。

その結果、直腸温度、鼓膜温度、温冷感、心拍数、主観的運動強度のいずれにも、4条件間で有意差は見られなかった。しかし個人的に見ると、2種類の体温指標と心拍数については、飲水条件<身体冷却条件<コントロール条件の順となる者もいた。このような差は、非鍛錬者や上肢を主として利用するスポーツ選手ではより現れやすく、下肢を主として利用する鍛錬されたスポーツ選手では差が現れにくい傾向であった。

以上の結果から、暑熱環境下で下肢の筋を利用した長時間の低強度運動を行う場合、非鍛錬者や、下肢が十分に鍛錬されていない者においては、特に飲水によって体温上昇を抑えられる可能性も考えられた。

謝辞：本研究の遂行に当たり、多くの示唆をいただいた佐世保高専の吉塚典准教授に深謝いたします。

## VI. 参考文献

- 1) 藤島和孝, 大柿哲朗: 運動時の水分摂取および身体冷却が体温調節反応に及ぼす影響. 健康科学, 18: 45-50, 1996.
- 2) Gordon, N.F., G.M. Bogdanffy and J. Wilkinson: Effect of a practical neck cooling device on core temperature during exercise, Med. Sci. Sports Exerc., 22: 245-249, 1990.
- 3) 長谷川博, 高取直志, 山崎正廣, 小村堯: 暑熱下運動中におけるクーリングジャケットの着用が体温調節反応および持久的運動能力に与える影響. 体力科学, 151, 683, 2002.
- 4) 井上修平, 山本正嘉: アイスパックを用いた脚部へのアイシングが暑熱環境下における長時間の間欠的自転車運動のパフォーマンスに及ぼす効果; 運動前及びハーフタイムでのアイシングの組み合わせに着目して. トレーニング科学, 21: 45-55, 2009.
- 5) 梶原洋子, 木村瑞生, 五十嵐桂一, 山本正彦, 小野伸一郎, 小室史恵, 森丘保典: ジュニア期の夏季トレーニングに関する研究 (第2報). 平成10年度日本体育協会スポーツ・医科学研究報告, No.VII: 50-57, 1999.
- 6) 川原貴, 朝山正己, 白木啓三, 中井誠一, 森本武利: 熱中症予防ガイドブック. 日本体育協会, 1999.
- 7) 川島祥三, 横井郁子, 横井元治, 小川亘, 尾崎博和: 高温環境下における飲水と局所冷却による効果. デサントスポーツ科学, 20: 217-227, 1999.
- 8) 金野亮太, 井上修平, 山本正嘉: 暑熱環境下での自転車走行中における水かぶりが生理的・心理的指標に及ぼす効果; 大学自転車競技選手を対象として. トレーニング科学, (投稿中)
- 9) 久米雅, 芳田哲也, 常岡秀行, 木村直人, 伊藤孝: 水循環スーツを着用した運動時の体温調節反応と冷却面積, 冷却容量との関係. 体力科学, 58: 109-122, 2009.
- 10) 松原孝: バスケットボールゲームにおいてハーフタイムが後半戦に及ぼす身体的影響 - 運動強度 (% HRmax) による考察. 岡山理科大学紀要. A, 自然科学, 25: 377-386, 1990.
- 11) 松本孝朗, 小坂光男, 山内正毅, 大渡伸, 土屋勝彦, 李嘉明, 楊果杰, 鶴田雅子, 横山直方, 和泉元衛, 長瀧重信: 放射線鼓膜温計の基礎的・臨床的検討, 日生氣志, 25: 119-125, 1992.
- 12) 森本武利: 運動時の熱中症予防. 体力科学, 56: 9-10, 2007.
- 13) Nielsen, M.: Die regulation der korper Temperatur bei muskelarbeit, Skand. Arch. Physiol., 79: 193-

- 230, 1938.
- 14) 西岡大輔, 西村一樹, 小野寺昇: 暑熱環境下の運動と運動の間における頸部アイシングが直腸温, 心拍数, 酸素摂取量および体重変化量に及ぼす影響. 体力科学, 54: 576, 2005.
- 15) 小野寺孝一, 宮下充正: 全身持久性運動における主観的強度と客観的強度の対応性; Rating perceived exertion の観点から. 体育学研究, 21: 191-203, 1976.
- 16) 坂田義行, 渡辺達生, 中森知毅: 耳式体温計による鼓膜温測定の手技の検討. 新薬と臨床, 43: 2011-2018, 1994.
- 17) Shinozaki, T., R. Deane, F. Perkins: Infrared tympanic thermometer: Evaluation of a new clinical thermometer. Crit. Care Med., 16: 148-150, 1988.
- 18) 新矢博美, 芳田哲也, 常岡秀行, 中井誠一, 伊藤孝: 着衣条件の違いによる皮膚温度変化が運動時の体温反応と温熱ストレスに与える影響. 体力科学, 54: 259-268, 2005.
- 19) 砂田政伸, 刈谷文彦, 眞鍋芳明, 岩壁達男, 成澤三雄: 激運動感におけるプレクーリングが運動パフォーマンスに与える影響; 400mレースを想定して. 陸上競技研究, 66: 11-16, 2006.
- 20) 鉄口宗弘, 三村寛一, 斎藤誠二, 安部恵子, 中雄勇人, 鳥嶋勝博: 大学生女子バスケットボールにおける運動前の水分摂取が生体に及ぼす影響. 大阪教育大学紀要, 第IV部門, 54: 25-33, 2006.
- 21) 筒井隆夫, 井戸田望, 永野千景, 堀江正知, 曾我部靖博, 門司幸一: 暑熱環境下での下肢運動における下肢冷却服の体温上昇抑制効果. 産業医科大学雑誌, 27: 63-71, 2005.
- 22) 吉塚一典, 山本正嘉: 環境温の違いが多段階ペース走時の鼓膜温に及ぼす影響. スポーツトレーニング科学, 9: 19-25, 2008.
- 23) 吉塚一典, 山本正嘉: 暑熱環境下でのインターバル走トレーニング中における頭部への「水かけ」が鼓膜温に及ぼす影響. トレーニング科学, 21: 65-71, 2009.
- 24) Yoram, E. and S.M. Daniel: Thermal comfort and the heat stress index. Indust. Health, 44: 388-398, 2006.