

エタノールによる暑熱環境下持久性運動中の身体冷却効果に関する研究

高間 章 高橋 弘彦 中川 功哉

キーワード：暑熱環境，持久性運動，身体冷却，エタノール

Study on effect of body cooling by ethanol during endurance exercise at hot environment

Akira Takama Hirohiko Takahashi Koya Nakagawa

Abstract

The purpose of this study is to investigate the effect of ethanol on body cooling during endurance exercise of running on treadmill. This effect is researched from standpoint of performance, physiological parameter, perceived sensation.

The subjects in experiment are 10 healthy male students who do regular exercise they undertook 30minutes running on treadmill under conditions of 32°C, relative humidity 70%, wind velocity whose speed was the same as running. For the ten minutes, each subjects ran at the rate of 80% $\dot{V}_{O_{2max}}$, Then, adjusting a speed of a treadmill to his running, he ran as hard as possible for 20 minutes. 10 and 20 minutes respective other starting to run, the body cooling was done by a vaporizer. The procedures of cooling were performance by (1) 60% ethanol (2) water (3) no artificial one.

The result and summarized at followers.

- 1) Mean skin temperature during exercise decreased abruptly cooling by spray but the decrease of mean skin temperature by ethanol worked were significantly than water, especially for the first few minutes. Rectal temperature recover rapidly relatively by using ethanol compare with water, control. Volume of sweating in case of cooling by ethanol were less significantly than water.
- 2) Ventilation, Oxygen, Oxygen pulse were higher level during exercise cooling by ethanol, water, relative to control, and Heart Rate during exercise were lower by spray, especially cooling by water significantly low relative to control (1-15min).
- 3) Running distant were achieved long cooling by ethanol and water presumably this high performance achieved by decrease of physiological, psychological stress.

Keywords : hot environment, endurance exercise, body cooling, ethanol

1. 目的

スポーツ選手は厳しい暑熱環境下においてもトレーニングを実施し、競技会へ出場していると報告されている(梶原ほか, 1997; 金子ほか, 2000). 2000年8月の東京における1日の最高気温は平均で32.4℃, 相対湿度は平均で69%であり, 日本の夏季の特徴は高温高湿である. 湿度が高くなるほど環境の水蒸気分圧と皮膚表面の飽和水蒸気圧の差が小さくなるため, 汗が蒸発しにくく, 放熱が抑えられて熱が身体にこもりやすい状態となる. 環境温度, 湿度とパフォーマンスに関する研究によれば, 持久性のランニングパフォーマンスは高温であるほど, また, 同じ温度でも高湿であるほど低下すると報告されている(黒田ほか, 1973, 1975). 従って, 暑熱ストレスが増大するほどパフォーマンスは低下するため, これをいかに軽減するかが課題となる.

暑熱ストレスへの対策として実際に練習中や競技中には, 水分摂取とともにアイスパックや含水スポンジによる身体冷却が実施されている(小林ほか, 1992; 戸蒔, 1997). また, 医療現場では熱中症が発生した場合の身体冷却の処置のひとつとして, エタノールによる身体冷却が行われている(大内ほか, 1995; 柳川ほか, 2001). さらに, 運動時においても市民マラソンの熱中症予防策として, エタノールによる身体冷却の実施が報告されている(菅沼, 2000).

身体冷却についての検討は以前から報告されているが, 運動パフォーマンスに及ぼす効果を検討したものは少ないのが現状である. 日本サッカー協会においても暑熱環境に関する様々な研究を行っているが, 身体冷却のパフォーマンスへの影響が研究課題として残されている.

そこで本研究では, 高温・高湿下運動時においてエタノールおよび冷水により身体冷却を行い, パフォーマンス(走行距離), 生理的反応(呼吸代謝, 心拍数, 直腸温, 皮膚温, 発汗量)および主観的感覚(主観的運動強度, 温冷感, 快適感)から, その効果を検討することを目的とした.

II. 方法

1. 被験者, 実験条件

被験者はインフォームドコンセントにより実験に同意の得られた年齢21-24歳の健康で日常トレーニングを行っている男子大学生(体育専攻生)10名とし, 身体的特性を表1に示した.

環境条件は人工気候室を用いて, 気温32℃, 相対湿度70%, 照度95,000ルクス, WBGT31℃に設定した. 風速は運動負荷装置トレッドミルと連動させ, 走速度と同等に制御した.

Table1 Physical characteristics of the subjects.

Subjects	Age (years)	Height (cm)	Weight (kg)	VO2max (ml/kg/min)	%fat (%)
A	24	173.0	63.4	60.2	13.4
B	24	169.3	62.6	51.5	17.4
C	22	175.3	67.3	56.8	10.7
D	22	168.0	59.3	51.2	12.0
E	21	177.0	62.6	58.3	9.5
F	21	176.5	69.7	57.1	13.2
G	21	179.5	64.9	54.9	15.1
H	21	173.5	76.7	53.3	18.4
I	20	161.9	52.3	52.3	11.4
J	20	170.2	68.5	51.8	10.2
Mean	21.6	172.4	64.7	54.7	13.1
S. D.	1.4	3.2	6.5	3.2	3.0

2. 測定項目

換気量, 酸素摂取量をエアロモニタ AE-280S (ミナト医科学社製)により, 心拍数をバイオビュー-E (日本電気三栄社製)により1分毎に算出した.

直腸温は肛門より約10cm挿入し, 皮膚温は胸部(T1), 上腕部(T2), 大腿部(T3), 下腿部(T4)の4部位をHIGHACCURATE DATA LONGGER K730 (テクノ・セブン社製)により1分毎に測定した. 平均皮膚温(Tsk)は4点法による $Tsk=0.3(T1+T2)+0.2(T3+T4)$ により算出した(Ramanathan, 1964).

パフォーマンスの評価として30分間の走行距離を求めた. 走行距離は30分間の速度変動の記録から算出した.

主観的運動強度(Borg, 1973; 小野寺・宮下, 1976), 温冷感(Hardy, 1970) 快適感(労研三浦ほか, 1960) (表2)は測定開始から5分毎に自己申告させた. 温冷感9段階, 快適感8段階のスケールにあてはまらず, 段階の間の申告を示す場合には0.5きざみで申告させた.

体重は島津製作所製IPS-150K 島津工業用台はかりを用いて, 実験前後に裸体で測定した. 発汗量は実験前後の体重減少量とした.

Table2 Category scales for Rating of Perceived Exertion and Thermal sensation and Comfort feeling.

主観的運動強度	温冷感	快適感
20		
19 非常にきつい	9 かなり暑い	8 非常に快適
18		
17 かなりきつい	8 暑い	7 快適
16		
15 きつい	7 暖かい	6 やや快適
14		
13 ややきつい	6 少し暖かい	5 なんともない
12		
11 楽である	5 ふつう	4 やや不快
10		
9 かなり楽である	4 少し涼しい	3 不快
8		
7 非常に楽である	3 涼しい	2 苦しい
6		
	2 寒い	1 非常に苦しい
	1 かなり寒い	

3. 実験手順

被験者は 25℃に制御された室内で自由着衣で 30 分間の椅座安静を保った。安静中に体重の 1%量の 50%濃度に希釈したポカリスエット（大塚製薬社製）を飲水後、体重測定を行い測定用機材を装着して人工気候室に入室した。着衣条件は各自のランニングシャツ、ランニングパンツ、靴下、ランニングシューズを用いた。入室後の実験プロトコルは図 1 に示した。入室から 15 分間の椅座安静後に 10 分間のウォーミングアップ（相対負荷 50% $\dot{V}O_{2max}$ 、傾斜角度 5%）を行い、トレッドミル上での 5 分間の休憩後、30 分間の主運動を行った。主運動の最初の 10 分間は相対負荷 80% $\dot{V}O_{2max}$ 、傾斜角度 5%で行った。その後の 20 分間は各自の申告でトレッドミルの速度を増減させるセルフペース走とし、最大努力で行った。申告は身振りで行い、1 回の申告につき 5 m/min の増減とした。主運動の 10 分、20 分経過時に噴霧器により身体冷却を行い、主運動終了後 20 分間の回復期を設けた。

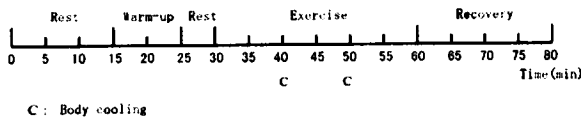


Fig.1 The Time schedule of the experiments.

冷却はエタノール、水、冷却を行わないコントロールの 3 条件（以下 ethanol, water, control）とした。ethanol については日本薬局方消毒用エタノール（アルコール分 76.9~81.4V%）を約 60%に水で希釈したものを使用した。アルコール濃度は 70%付近で殺菌作用が最も高いことや、高濃度のアルコールが皮膚に繰り返しまたは長く接触すると皮膚から吸収されて中毒の原因となることから 60%希釈により使用した。希釈は唐木（1994）による希釈方法に従った。また、混合熱が発生することを考慮して実験前日に希釈して冷蔵庫で保管したものを使用した。冷却水の温度について小林（1997）はマラソンの暑さ対策として、外気温が 25℃以上では 10℃から 13℃の冷水が身体冷却に適するとしていることから 13℃に設定した。冷却水量は石井ほか（2000）の研究を基に 1 回につき 200ml とした。冷却水(water, ethanol)は KOSHIN 社製電池式噴霧器 GT-3 を用いて、毎分 240ml/min の速度で頭部及び顔面を除く全身に噴霧した。

すべての被験者に対して、実験条件の慣れに対する影響を除くようにランダムイズし、サーカディアンリズムを考慮してほぼ同時時間帯に実施した。また、被験者には可能な限り日常のライフスタイルを維持させ、コンディションを良好に保たせた。

全体傾向については平均値、標準偏差を求めた。実験 3 条件間の平均の差の有意性に関する統計的検定は、

Student の t-test 法により行い、有意水準は 5%未満とした。

III. 結果

1. 体温および発汗反応の比較

運動開始時の平均皮膚温を基準として、運動中の変動を図 2 に示した。water, ethanol は冷却により低下し、control と比較して運動開始 11 分から運動終了時まで有意な低値を示し ($P < 0.05 - P < 0.01$)、運動終了時には開始時よりも有意な低値を示した ($P < 0.05$)。また、ethanol は冷却後の数分間低下の度合いが大きく、water と比較して 13, 14, 23 分に有意な低値を示した ($P < 0.05$)。

運動開始時の直腸温を基準として、運動中の変動を図 2 に示した。実験中 40℃以上の高温を示したものが 3 名、39.5℃以上が 9 名であった。ethanol は運動開始 14 分で control と比較して有意な低値を示した ($P < 0.05$) が、その後は差が認められなかった。また、運動終了時の直腸温を基準として、回復期における変動を図 3 に示した。ethanol は回復期 1 分目で control と比較して、回復期 2, 3, 4, 5, 8 分目で water と比較して有意な低値を示し ($P < 0.05$)、低下の度合いが大きかった。

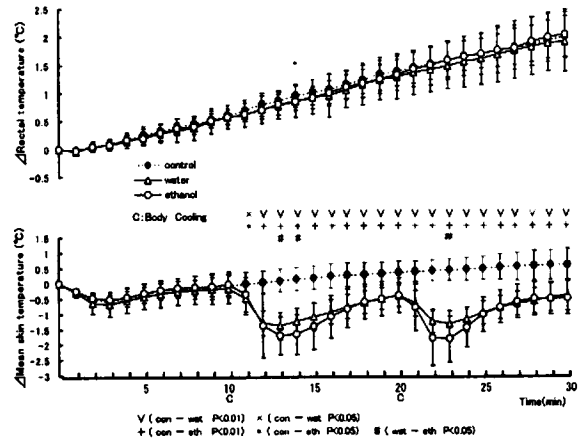


Fig.2 Change of Δ rectal temperature and Δ mean skin temperature during exercise.

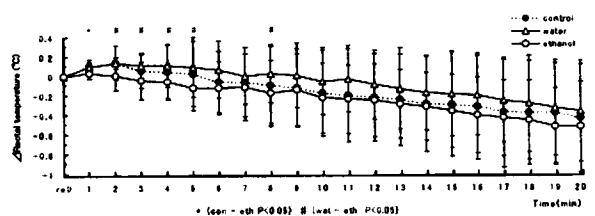


Fig.3 Change of Δ rectal temperature during recovery.

発汗量を図 4 に示した。control が 1387.5 ± 346.4 g, water が 1290.4 ± 279.4 g, ethanol が 1270.9 ± 246.5 g となり、ethanol が control と比較して有意に少なかった

($P < 0.05$). water も control と比較して少ない傾向にあったが、有意な差は認められなかった。

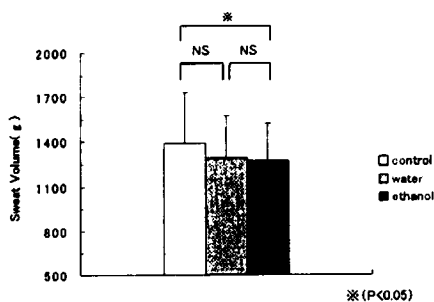


Fig. 4 Sweat volume after experiment.

2. 呼吸および循環機能の比較

運動中5分毎の心拍数を図5に示した。運動開始11-15分においてwaterがcontrolと比較して有意な低値を示した ($P < 0.05$)。また冷却直後にあたる11-15分、21-25分においてwater, ethanolの冷却条件がcontrolと比較して低い傾向にあった。回復期においては3条件間に差は認められなかった。

運動中の5分毎の酸素摂取量を図5に示した。運動中の酸素摂取量はcontrolが $40.5 \pm 4.9 \text{ ml/kg/min}$, waterが $41.1 \pm 5.3 \text{ ml/kg/min}$, ethanolが $42.0 \pm 5.3 \text{ ml/kg/min}$ であった。 $\dot{V}_{O_2\text{max}}$ に対する割合は、controlが74.0%, waterが75.1%, ethanolが76.7%であった。運動中は3条件において時間経過に伴い徐々に低下する傾向を示した。3条件間に差は認められなかったが、運動開始11-15分から終了時にかけてcontrolが低く、次いでwater, ethanolの順に高い傾向を示した。

運動中の換気量を図5に示した。換気量は運動開始16-20分から終了時にかけてcontrolが低く、次いでwater, ethanolの順に高い傾向を示した。

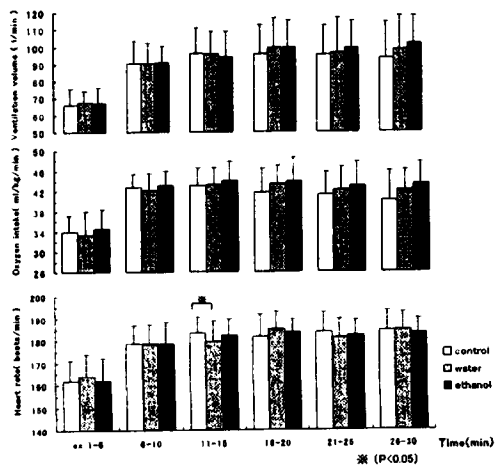


Fig. 5 Ventilation volume and Oxygen intake and Heart rate in exercise.

3. 走行距離の比較

セルフペース走となる運動開始10分目以降の20分間の走行距離を図6に示した。controlが $3132.2 \pm 486.9 \text{ m}$, waterが $3292.4 \pm 483.4 \text{ m}$, ethanolが $3262.2 \pm 489.5 \text{ m}$ となり、waterおよびethanolがcontrolと比較して有意に長く ($P < 0.01$)、controlに対してwaterが5.1%, ethanolが4.1%のパフォーマンスの向上が認められた。各個人ごとの3条件における走行距離の変化(図6)では、ethanolがwaterと比較して10名中6名が長く、waterとの差が $46.7 \pm 43.1 \text{ m}$ であった。また、waterが長い4名はethanolとの差が $145.6 \pm 50 \text{ m}$ であった。

被験者のセルフペースとなる運動開始10分目からの走行速度の変動は、時間経過とともに低下傾向を示したが、water, ethanolは運動開始11分から15分、21分から25分にて速度が低下せずに持続される傾向を示した。また、3条件ともに29, 30分は速度が上昇する傾向を示した。waterはcontrolと比較して12分から19分、22分から29分に有意な高値を示した ($P < 0.05 - P < 0.01$)。またethanolはcontrolと比較して15分から24分、28分から30分に有意な高値を示した ($P < 0.05 - P < 0.01$)。waterとethanolに有意な差は認められなかった。

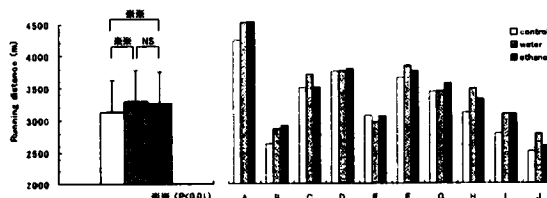


Fig. 6 Self pace 20min Running distance and individual self pace 20min running distance.

4. 主観的感覚の比較

主観的運動強度は運動開始から時間経過に伴い「きつい」方向への移動を示し、運動終了時には3条件ともに「かなりきつい」と感じていた。

温冷感の変動は安静時では「暖かい」と感じていたが、運動中は時間経過に伴い「暑い」方向への移動を示した(以下, 上昇)。回復期では時間経過に伴い「涼しい」方向へ移動を示した(以下, 下降)。運動中は身体冷却後の運動開始15分目の申告では、water, ethanolが下降し、controlと比較して有意な低値を示した ($P < 0.05$)。ethanolは25分目においても下降し、運動終了時にcontrolと比較して有意な低値を示した ($P < 0.05$)。

快適感の変動は(スケールを反転させて1を高値, 8を低値とした)安静時で「なんともない」と感じていたが、運動中は時間経過に伴い「苦しい」方向への移動を示した。ethanolは運動開始15分目においてcontrolと比較

して有意な低値を示した ($P < 0.05$).

IV. 考察

1. 体温および発汗

身体冷却の効果について伊藤 (1996) は冷却部位、方法によって差がみられるとしている。冷却部位として頭部、頸部は、脳に近いことや皮膚血管収縮作用がないため冷却効果を促進しやすい部位と考えられている。そのため、それらを冷却した研究では実験上の装置が多いことや、冷却用具の交換頻度を遅くした場合に疑問があるとしながらも、体温上昇の抑制を指示する報告は多いとしている。しかし、全身をスポンジ、シャワー、スプレーで体表面を濡らしたり、冷却した時には総じて核心温の上昇を抑制する効果がみられないとしている。その理由として皮膚表面を冷却することは皮膚温と核心温の温度勾配を拡大し深部から体表面への熱の運搬を助長することになるが、皮膚の冷却で交感神経刺激が亢進されるため皮膚血管が収縮し、体内からの熱を運搬する皮膚血流量が減少する。そのため、2つの作用が相殺されて、深部体温の上昇を抑制するまでの効果が見られなかったと報告している。

運動開始時からの平均皮膚温の上昇度は、身体冷却により低下し、water, ethanol は control と比較して有意な低値を示した (図2)。冷却後の数分間 ethanol は、water と比較しても有意な低値を示した。梶原ほか (1999) は、暑熱環境下走行時に後頸部に霧状に水を吹き掛けて身体冷却を行った。その結果、皮膚表面に付着した水分が蒸発する際に気化熱を奪うことにより皮膚表面温度が低下したと報告している。このことから、water, ethanol は control と比較して低値を示したと考えられる。また、ethanol が water よりも低値を示したのは、揮発性が高いことから蒸発性熱放散が促進されたためと考えられる。

運動開始時からの直腸温は、ethanol が運動開始 14 分目に control と比較して有意な低値を示したが、その他の差は認められなかった (図2)。回復期において ethanol は control と比較して回復期 1 分目で、water と比較して回復期 2, 3, 4, 5, 8 分目で有意な低値を示した (図3)。water, control は、回復期終了後の数分間で上昇が大きく、運動中の産熱がまだ蓄熱状態にあったと考えられる。ethanol は蒸発性熱放散の促進から、皮膚冷却により還流静脈血が冷やされ体幹部を循環したことで蓄熱が軽減し、速やかな回復が見られたと考えられる。佐川 (1991) は運動時の体温、特に深部体温を推定する時は直腸温の反応は非常に遅く、時間のずれがあると報告している。本実験においてもその特徴があり、回復期に差がみられたと考えられた。

発汗量は ethanol が control と比較して有意に低値を示

した (図4)。発汗量は視床下部温によって調整されるが、皮膚温も関与しているという報告がある (Nicholson and Somerville 1978)。また、皮膚の温度受容器から視床下部への求心性のインパルスは、温度変化が大きく速いほど強くなるとされる。そのため、ethanol は皮膚温の低下の度合いが大きいため、発汗量が減少したことが考えられる。また、多量の発汗がある場合、汗の量は漸次減少すると考えられている。この現象は発汗漸減現象と呼ばれ、体液損失を防ぐ合目的現象と解釈されている。Ogawa et al. (1984) は、皮膚の湿潤が発汗漸減に影響することを報告している。そのため、体表面を濡らしたことで発汗漸減現象が引き起こされたと考えられる。高温環境では体温調節に役立たない無効発汗量が増加する。無駄な発汗は血漿量の減少、電解質の損失を伴う。電解質の損失は、熱中症のひとつである熱痙攣を引き起こす危険があることや、自発的脱水に関与して体水分量の回復を妨げることが考えられる。

このことから、エタノールによる身体冷却は体温調節に効率的であるだけでなく、体水分量の損失の抑制に対しても効果的であると考えられる。

2. 呼吸および循環機能

心拍数においては、運動開始 11-15 分で water が control と比較して有意な低値を示した (図5)。また、water, ethanol は control と比較して、冷却直後にあたる 11-15 分、21-25 分において低い傾向にあった (図5)。運動による産熱量の増加は、熱放散のための皮膚血流量を増加させる。それが持続されることで、大量の血液が皮膚領域に滞留し、心臓への還流血流量が減少し、一回拍出量が低下する。心拍数はそれを代償することによって単位時間あたりの心拍出量を一定に維持しているという報告がある (白木・佐川, 1991)。梶原ほか (1999) は身体冷却による皮膚血管の収縮が維持されたことで、還流血流量が増加し、心拍数が低下したと報告している。このことから、身体冷却により心拍数が低い傾向を示したものと考えられる。

酸素摂取量は、運動後半時期に control が低く、次いで water, ethanol の順に高くなる傾向を示した (図5)。このことは基本的に走速度が高まっていることによるものと考えられ、ethanol はより限界に近い状態であったと考えられる。なお、同時に換気量も同じ傾向にあったが、原因は同じであると考えられる。

3. 走行距離

運動時の走行距離は water, ethanol が control と比較して有意に長く、パフォーマンスが高かった (図6)。高温環境下では体温調節のための皮膚への血液循環と、運動継続のための筋肉組織への血液循環との競合作用がお

こるが、持続するにつれて皮膚血流量が増加して、血液が皮膚領域に滞留し中心血流量が低下するという報告がある(白木・佐川, 1991)。黒田ほか(1974)は種々の環境条件において循環系機能と作業成績について検討した。高温環境下における運動持続時間の短縮は、体温調節のため皮膚血流量が増加したことで心拍出量の配分比が変化し、活動筋への血流量が減少したためであると報告している。Rowell et al. (1969)は、皮膚温度の中心循環動態への影響について検討するため、水を還流させるスーツを着用し皮膚温度を制御した。その結果、スーツの循環水温を上昇させて皮膚温を急速に上昇させると一回心拍出量、中心血流量、大動脈及び右心房圧の減少を引き起こした。また、皮膚を冷却するとこれらの変化が急速に改善され、皮膚の冷却を続けている間は運動による中心循環系の低下が阻止されたと報告している。伊藤(1996)は身体冷却により皮膚が冷却されることで皮膚血管が収縮し、皮膚血流量の減少により循環血流量、あるいは筋血流量を増す効果が考えられると報告している。これらのことから、身体冷却による体温調節系への効果は、心拍出量の配分比を変えて活動筋への血液配分を増加させ、パフォーマンスの向上に結びついたものと考えられる。

温冷感では water が運動開始 15 分で、ethanol が 15 分、30 分で control と比較して有意に低値を示した。快適感では ethanol が 15 分で control と比較して有意に低値を示した。温冷感や快適感では皮膚温や深部体温によって影響されると考えられている。中井(1983)は、温冷感、快適感で温熱ストレスを評価し環境因子、身体的因子と相関が高いことを報告している。そのため、身体冷却により身体的な暑熱ストレスが軽減されたため、温冷感、快適感の申告に差が認められたものと考えられる。Mountain and Coyre (1992)は水分摂取が精神的ストレスを軽減させ、運動の意欲を高めるとしている。また、伊藤(1996)は、身体冷却について生理的効果より、むしろ気分的な爽快感などがより大きな効果をもち、実際のレースではこの効果の方が重要ではないかとしている。運動中の走行速度の変化は water, ethanol が運動開始 11 分から 15 分、15 分から 20 分で速度の低下が少ない傾向を示した。走行速度の最大差は、control と比較して water で 15 分目に 11.2m/min, ethanol では 17 分目に 9.2m/min であった。これらの時間帯は温冷感、快適感の申告に差が認められた時間帯とほぼ一致する。そのため、心理的ストレスの軽減が速度の低下の度合いを緩やかにしたと考えられる。

4. エタノールによる冷却効果

ethanol は water と比較して皮膚温の低下度が有意に大きく、回復期における直腸温に差が認められ、発汗量

も少ない傾向を示した。個人別の走行距離では 10 名中 6 名の被験者で ethanol のパフォーマンスが高かった。前述のように体温調節系への効果と心理的ストレスの軽減は、パフォーマンスの向上に結びつくと考えられる。このことから、6 名の被験者は ethanol が water と比較してパフォーマンスが高かったと考えられる。water のパフォーマンスが高い 4 名は、比較的 ethanol との差が大きい傾向が見られた。中野(1991)はマラソンなどの身体冷却は熱の放散を促進する程度で特に問題にされないとしながらも、冷やしすぎは代謝の低下を招き、ひいては運動能力を低下させるとしている。一流の競技者の中には身体冷却に 0°C に近い水を使用している場合もみられている。しかし、それは普段の練習時から実施しており、身体が慣れているため問題はないが、普段から実施していないものにとっては冷たすぎるのが考えられる。小林ほか(1992)は身体冷却の水温(13°C)の感覚を調査し、概ね良好だったものの感じ方は個人差が大きかったと報告している。このことから、4 名の被験者においては、エタノールによる一時的な強い冷却がパフォーマンスに悪影響を及ぼしたことが考えられる。

エタノールおよび水による身体冷却を行った ethanol, water は身体冷却を行わない control と比較して走行距離が長く、パフォーマンスが高かった。身体冷却は体温調節系への効果を示し、循環系の活動筋への血液配分が効率的になったことや、精神的な暑熱ストレスが軽減されたことによりパフォーマンスの向上を示したと考えられる。また、ethanol は water と比較して 6 名の被験者でパフォーマンスが高かった。しかし、water のパフォーマンスが高い 4 名の被験者においては比較的 ethanol との差が大きい傾向を示し、ethanol による一時的な強い冷却がパフォーマンスに悪影響を及ぼしたことが考えられた。また、本研究においては見られなかったものの、アルコールの濃度によりアルコール刺激に弱い人に対しては何らかの影響を及ぼすことも考えられる。さらに、粘膜へ刺激があるため、身体冷却に効果のあるとされる頭部や顔面に対する使用は困難であると考えられる。そのため、今後は研究レベルでのさらなる検討や、実用的な検討を重ねていく必要があるものと考えられる。

文献

- Borg, G. (1973) Perceived exertion: a note on "history" and methods. *Med. Sci. Sports* 5(2) : 90-93.
- Brozek, J., Grande, F., Anderson, J. and keys, A. (1963) Densitometric analysis of body composition: revision of some quantitative assumption. *Ann. N. Y. Acad. Sci* 110 : 113-140.
- Hardy, J. (1970) Thermal comfort and health. 2nd Human Factor Symposium, ASHRAE : 225.

- 石井好二郎・松生香里・福嶋利浩・和田光代・宮原清彰・梅林薫・豊岡示朗 (2000) 暑熱環境下走行時における含水スポンジによる身体冷却効果. ランニング学研究 11 : 34-41.
- 伊藤静夫 (1996) 長距離走・マラソンレース中の暑さ対策—水分補給あるいは身体冷却の効果について—ランニング学研究 7 : 39-53.
- 梶原洋子・小野伸一郎・山本正彦・五十嵐桂一・大畑好美 (1997) 暑熱環境下で開催されたジュニア期の全国陸上競技大会における環境条件の実施調査. ジュニア期の夏季トレーニングに関する研究—第 1 報—平成 9 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 7 : 55-66.
- 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 (1999) 暑熱環境下における走行時の身体冷却が身体機能および心理的状况に及ぼす影響. ジュニア期の夏季トレーニングに関する研究—第 3 報—平成 11 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 8 : 50-58.
- 金子保敏・戸苅晴彦・安松幹展・磯川正教・丸山剛生・沼澤秀雄・福井真司・石崎聡之 (2000) 暑熱環境におけるサッカーゲーム中の生体負担度に関する研究. サッカー医・科学研究 20 : 202-208.
- 唐木功 (1994) アルコールのはなし. 通商産業調査会 : 東京, p.71-73.
- 小林寛道・八木規夫・杉田正明・川初清典・松垣紀子 (1992) 札幌国際ハーフマラソン (1992) における体重と体温変化. 平成 4 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告 No. II 競技種目別競技力向上に関する研究 12:167-173.
- 小林寛道・八木規夫・杉田正明・江橋博・伊藤章・高松薫・形本静夫 (1992) 北海道マラソン (1992) における体温体重変化. 平成 4 年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告, No. II 競技種目別競技力向上に関する研究 12 : 173-179.
- 小林寛道 (1997) マラソンの暑さ対策. 臨床スポーツ医学 14 (7) : 753-762.
- 黒田善雄・鈴木洋児・塚越克己・雨宮輝也・伊藤静夫 (1973) 環境温度が最大下作業中の循環器系機能に及ぼす効果について. 環境温度と持久性運動に関する研究—第 4 報—. 環境温・湿度が持久性運動に及ぼす影響 昭和 48 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 7 : 1-13.
- 黒田善雄・雨宮輝也・塚越克己・鈴木洋児・伊藤静夫 (1973) 湿度の performance への影響について. 環境温・湿度が持久性運動に及ぼす影響 昭和 48 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 7 : 15-23.
- 黒田善雄・伊藤静夫・塚越克己・雨宮輝也・鈴木洋児 (1974) 運動強度と体温変化について. 環境湿度と持久性運動に関する研究—第 2 報— 昭和 49 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 8 : 1-12.
- 黒田善雄・伊藤静夫・塚越克己・雨宮輝也・鈴木洋児・北嶋久雄 (1975) 環境湿度と持久性運動に関する研究—第 3 報— 昭和 50 年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 8 : 1-10.
- 三浦豊彦・森岡三生・木村菊二・阿久津綾子・兵藤庄治・大沢文男・千原義男・岡島勉 (1960) 外気温を考慮した冷房の至的湿度に関する研究. 労働科学 36 : 283-336.
- Montain, R. J. and Coyle, E. F. (1992) The influence of graded dehydration on hyperthermia and cardiovascular drift during exercise. *J Appl Physiol* 73 : 1340-1350.
- Nagamine, S. and Suzuki, S. (1964) Anthropometry and body composition of Japanese young men and women. *Human Biol* 36 : 8-15.
- 中井誠一 (1983) 夏季運動時の温熱環境と温熱ストレス. 日本体育大学紀要 12 : 85-91.
- 中野昭一 (1991) 暑さとパフォーマンス. トレーニングジャーナル 8 : 11-14.
- Nicholson, M. R. and Somerville, K. W. (1978) Heat stroke in a "run for run". *Brit Med J* 10 : 1525-1526.
- 日本気象協会 (2000) 2000 年版気象年鑑. 大蔵省印刷局 : 東京, p.152-153.
- Ogawa, T Asayama, M Sugenoya, J Fujimatsu, H Miyagawa, T and Terai, Y (1984) Temperature regulation in hot-humid environments, with special reference to the significance of hidromeiosis. *J Therm Biol* 9 : 121-125.
- 小野寺孝一・宮下充正 (1976) 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 of perceived exertion の観点から—. 体育学研究 21 : 191-203.
- 大内真吾・遠藤重厚・谷口繁・石川浩・山田裕彦・荒川直志・佐藤紀夫・廣井悟 (1995) 1994 年に経験した重症熱射病 5 例の検討. 岩手医学雑誌 47(4) : 485-489.
- Ramanathan, N. (1964) A new weighting system for mean surface temperature of the human body. *J Appl Physiol* 19 : 531-533.
- Rowel, L. B., J. A. Murray, G. L. Brengelmann, and K.K.Kraning II (1969) Human cardiovascular adjustments to rapid changes in skin temperature during exercise. *Circulation Res* 24 : 711-724.
- 佐川寿栄子・白木啓三 (1991) 目的にかなった深部体温はどのようにして測定できるのか?. 臨床体温 11 : 17-28.
- 白木啓三・佐川寿栄子 (1991) 暑熱環境における運動時の体温調節と循環動態との総合的な考察. スポーツ活

- 動における熱中症事故予防に関する研究—第1報—平成3年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告8: 27-34.
- 菅沼明人 (2000) 小笠掛川マラソン救護について—市民マラソンの熱中症対策—. 臨床スポーツ医学 17 (5) : 610-616.
- 田中正敏 (1981) 温熱環境. 菊地安行ほか編 生理人類学入門. 南江堂: 東京.
- 戸苅晴彦・磯川正教・丸山剛生・長谷川博 (1998) サッカーの暑さ対策ガイドブック. 日本サッカー協会, 東京. p.26-37.
- 戸苅晴彦 (1997) サッカーの暑さ対策. 臨床スポーツ医学 14 (7) : 741-746.
- 柳川洋一・岡田芳明・岩本慎一郎・石山業弘・阪本敏久 (2001) 集中治療を要した熱中症の二例. 防衛衛生 48 (1) : 5-10.