

運動時の水分摂取が体液調節に及ぼす影響  
—高温環境下の湿度変化による影響—

The effect of water intake on body fluid regulation at the exercise  
—The influence of humidity change under hot environment—

齋藤初恵\*, 藤田佳代\*, 伊藤拳\*\*, 渡辺剛\*\*\*

Hatsue SAITO \*, Kayo FUJITA \*, Susumu ITO \*\* and Tsuyoshi WATANABE \*\*\*

ABSTRACT

In this study, we investigated the effect of fluid intake on body fluid regulation during exercise. The purpose of this study was to make clear how humidity influences to body fluid regulation under hot environment in particular. Fluid intake in the exercise was effective in depressing the elevation of body temperature. Taking cold water was effective in cooling body temperature, but its efficiency depended on environmental temperature. Thermoregulation by evaporative heat depression was comparatively effective when humidity was low at the hot temperature. When humidity was high, however, body temperature rose because of insufficient evaporative heat depression, resulting in increase of sweat rate and Na<sup>+</sup> loss. These results revealed importance of body fluid osmoregulation in thermoregulation under hot and high humidity environment. At the exercise under hot environment, the effective mechanism for thermoregulation might be different in high and low humidity.

*Key words; hot environment, humidity, thermoregulation, body fluid regulation, body fluid osmoregulation*

I はじめに

運動時には筋肉の活動によって発生したエネルギーにより、体内で多量の産熱が起こるために、運動強度に比例して体温が上昇する<sup>7) 13) 18)</sup>。運動時の体温上昇の際には、生体は皮膚血流量を増やし、皮膚温を上昇させることで外気との温度勾配を大きくして放熱し（非蒸散性熱放散）、体熱を

体表面から外部へ放出させることで体温調節を行う。また運動時の体温は、運動強度のみならず外部環境の温度および湿度の影響を大きく受ける。高温環境下の場合、皮膚温と外気温の勾配がなくなるため、非蒸散性熱放散による体温調節は望めなくなるが、発汗は水分を外気に蒸発させることで放熱し体温を低下させるため（蒸散性熱放散）、温度が高いほど発汗による熱放散の割合が大きく

\* 国士舘大学大学院スポーツ・システム研究科 (Graduate School of Sport System, Kokushikan University)

\*\* 国士舘大学体育学部スポーツ医科学科 (Dept. of Sport and Medical Science, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

\*\*\* 国士舘大学体育学部運動生理学教室 (Lab. of Exercise Physiology, Faculty of Physical Education, Kokushikan University)

なる<sup>10) 18)</sup>。したがって、高温環境下の運動時には、この発汗が重要な熱放散反応となる。

高温環境下における運動時には、大量の発汗を伴うために血漿などの体液が減少する。それにより非蒸散性熱放散および蒸散性熱放散が減少し、過度の体温上昇を招き、さらに電解質などが汗とともに失われる。また、発汗量が多いほど体液の浸透圧は上昇する。つまり、運動時の発汗、すなわち脱水により体液バランスの乱れが生じる。また一般に体温の約3%を脱水すると、循環血液量が減少して酸素の運搬機能が低下し、運動能力が低下するといわれていることから、運動時における生体の体液量およびその組成の維持は、体温調節機能および循環機能を維持する上で重要となる。高い運動能力を発揮し、または維持するためには、脱水を回復させて体温の上昇を抑える必要がある、したがって水分を摂取することが必要不可欠となる。

このように生体の体温調節系と体液調節系は密接に関連しあって機能しており、運動や発汗(脱水)による体液量とその組成の変化は、体温上昇時の体温調節反応に影響を及ぼす<sup>2) 6) 12)</sup>。特に高温環境下では湿度が発汗に与える影響が大きいと言われている<sup>9)</sup>。しかし、高温環境下における運動時の体温調節反応に関する研究は数多く行われているものの<sup>14) - 17)</sup>、湿度の変化に着目し検討した

研究はほとんど見られない<sup>9) 11)</sup>。そこで本研究では、運動時の水分摂取が体液調節に及ぼす影響について、特に高温環境下の湿度変化による影響について明らかにすることを目的とした。

## II 方法

### 1. 被験者

被験者は健康な成人男子7名(年齢24.3±2.1歳、身長172.2±5.6cm、体重71.9±12.7kg)とした。実験に先立ち、被験者には本研究の目的および危険性についての十分な説明を行い、実験の被験者となることの同意を得た。

### 2. 最大酸素摂取量 (VO<sub>2</sub>max) 測定

運動負荷の設定のため、自転車ペダリング運動による漸増運動負荷テスト(初期負荷を80Wとし1分間に15Wずつ負荷を増加)を行い、最大酸素摂取量 (VO<sub>2</sub>max) を測定した。呼気ガスはミナト医科学社製AE-300SおよびAT for Windowsにより測定した。

### 3. 実験プロトコール (図-1)

#### (1) 環境条件

運動は温度・湿度を一定にした人工気象室内で行った。環境条件はコントロール(室温23.4±1.4℃、相対湿度53.2±3.5%)、高温・低湿(室温32℃、相対湿度40%)、および高温・高湿(室温

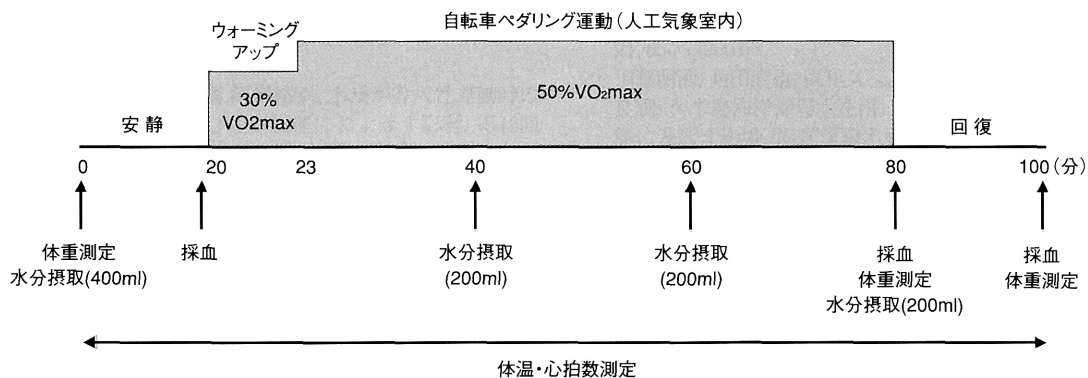


図-1 実験プロトコール

32℃、相対湿度80%)の3条件とした。

## (2) 摂取飲料

摂取飲料は市販のミネラルウォーターとした。水分摂取量、水温および摂取間隔の設定は、アメリカ栄養士会SCANの「スポーツ栄養ワークショップ資料」<sup>1)</sup>および日本体育協会による「スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック」<sup>8)</sup>を参考に、運動開始20分前に400ml、運動開始20分後、40分後、60分後に各200mlずつ、合計1000ml摂取した。ミネラルウォーターの温度は5～15℃とした。

## (3) 運動負荷

20分間の安静座位を保った後、人工気象室に入室し、2. で測定した $\dot{V}O_2\max$ の30%の負荷で3分間のウォーミングアップを行い、その後50% $\dot{V}O_2\max$ で57分間、計60分間の自転車ペダリング運動を行った。ペダリングの回転速度は60rpmとした。運動終了後には人工気象室から退室し、再び20分間の安静座位を保った。

## (4) 測定項目および測定方法

測定項目は体温、心拍数、体重、ヘマトクリット(以下Ht)、血清浸透圧、血漿バソプレシン濃度、血清総タンパク質、血中ナトリウム濃度(以下 $Na^+$ )とした。

体温、心拍数は安静開始から運動終了20分後まで5分ごとに記録した。体温は瞬間体温計(BRAWN社製サーモスキャンIRT 1020)を用いて測定した。体重測定は安静開始前、運動終了直後、運動終了20分後(以下回復時)に行った。採血は安静開始20分後(以下安静時)、運動終了直後、回復時に行った。

Ht、血清浸透圧、血漿バソプレシン濃度、血清総タンパク質、 $Na^+$ の血液検査項目については(株)三菱化学ビーシーエルに委託分析した。

## (5) 統計処理

統計量は全て平均値±標準偏差で表した。環境条件間、経過時間ごとの比較にはANOVAを用い、有意差が認められた場合にはFisherのPLSDによる多重比較検定を行った。また、測定項目間の相関関係の有意差検定にはPearsonの相関係数検定

法を用いた。いずれも有意水準は5%未満とした。

## Ⅲ 結 果

### 1. 各環境条件における体温、体重、心拍数および血液検査項目の変化

体温の変化率を図-2に示した。運動中の体温は、高温・低湿、高温・高湿ともにコントロールと比較し有意に高い変化を示した。

心拍数はいずれの条件においても運動開始後10分間に急激に上昇し、その後は運動終了時まで緩やかに上昇した。各環境条件間、経過時間ごとの比較では、いずれも有意な差は認められなかった。体重の変化率(表-1、図-3)は、コントロールと高温・高湿の運動終了直後および回復時にそれぞれ有意な差が認められた(いずれも $p<0.05$ )。

Ht(表-1)は各環境条件間の比較では有意な差は認められなかった。高温・低湿では安静時から運動終了直後にかけて有意な上昇が認められ( $p<0.01$ )、運動終了直後から回復時には有意に減少していた( $p<0.05$ )。

血清浸透圧の変化を表-1および図-4に示した。血清浸透圧は、各環境条件間の比較では有意な差は認められなかったが、コントロールの運動終了直後と回復時( $p<0.05$ )、高温・低湿の運動終了直後と回復時( $p<0.01$ )、高温・高湿の安静時と運動終了直後( $p<0.05$ )、運動終了直後と回復時( $p<0.01$ )にそれぞれ有意な差が認められた。

血漿バソプレシン濃度(表-1、図-5)は、コントロールと高温・高湿の回復時( $p<0.01$ )、高温・低湿と高温・高湿の回復時( $p<0.05$ )に有意な差が認められた。また、高温・高湿の安静時と運動終了直後( $p<0.01$ )、運動終了直後と回復時( $p<0.05$ )にそれぞれ有意な差が認められた。

血清総タンパク質(表-1)は、各環境条件間の比較では有意な差は認められなかったが、コントロールでは安静時と運動終了直後、運動終了直後と回復時に有意な変化が認められた(それぞれ $p<0.001$ 、 $p<0.05$ )。高温・低湿では安静時と運動終

了直後、運動終了直後と回復時に有意な変化が見られた (いずれも  $p < 0.001$ )。また、高温・高湿では安静時と運動終了直後、安静時と回復時、運動終了直後と回復時に有意な差が認められた (それぞれ  $p < 0.001$ 、 $p < 0.05$ 、 $p < 0.05$ )。

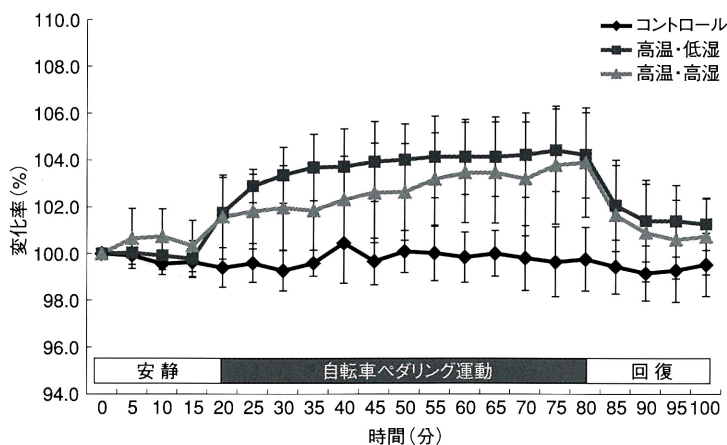


図-2 体温の変化率

表-1 各測定項目の変化

		安静時	運動終了直後	回復時
体重変化率 (%)	コントロール	100.0±0.0	98.8±0.2	98.7±0.2
	高温・低湿	100.0±0.0	98.6±0.3	98.4±0.3
	高温・高湿	100.0±0.0	98.3±0.4	98.1±0.4
Ht (%)	コントロール	44.5±2.2	47.0±2.0	45.6±2.6
	高温・低湿	44.9±1.7	47.8±1.5	45.3±1.7
	高温・高湿	45.2±2.6	47.8±2.5	45.9±1.9
血清浸透圧 (mOsm/l)	コントロール	291.1±4.0	293.0±2.9	289.1±2.9
	高温・低湿	290.4±2.8	294.0±3.7	288.4±4.1
	高温・高湿	288.1±2.4	291.6±2.6	287.4±2.2
血漿バソプレシン濃度 (pg/dl)	コントロール	5.34±2.15	7.30±3.15	5.57±1.33
	高温・低湿	5.92±2.92	8.07±3.47	5.92±2.48
	高温・高湿	4.27±1.27	7.22±2.55	4.89±1.65
血清総タンパク質 (g/dl)	コントロール	7.09±0.24	7.76±0.33	7.34±0.32
	高温・低湿	7.04±0.21	7.76±0.18	7.27±0.23
	高温・高湿	7.00±0.38	8.03±0.45	7.53±0.42
Na <sup>+</sup> (mEq/l)	コントロール	139.7±2.0	141.0±1.4	139.6±1.3
	高温・低湿	139.0±2.1	140.0±2.5	138.8±2.1
	高温・高湿	139.6±1.0	140.6±0.8	138.7±1.1

Na<sup>+</sup> (表-1) は各環境条件間の比較では有意な差は認められなかったが、高温・高湿の運動終了直後と回復時に有意な差が認められた ( $p < 0.01$ )。

## 2. 体重減少量とNa<sup>+</sup>の相関 (図-6)

運動終了後において、高温・高湿の体重減少量とNa<sup>+</sup>に有意な負の相関が認められた ( $r = -0.541$ 、 $p < 0.05$ )。

## 3. 血清総タンパク質とHtの相関 (図-7)

高温・高湿の運動終了後において、血清総タンパク質とHtに有意な正の相関が認められた ( $r = 0.569$ 、 $p < 0.05$ )。

## 4. 血清浸透圧と血漿バソプレシン濃度の相関 (図-8)

高温・高湿の運動終了後において、血清浸透圧と血漿バソプレシン濃度に有意な正の相関が認められた ( $r = 0.741$ 、 $p < 0.01$ )。

## IV 考 察

運動時には運動強度と発汗による脱水の程度に依存して血漿の浸透圧が上昇し、浸透圧の上昇によって抗利尿ホルモンであるバソプレシンの分泌が促され、腎臓での水の再吸収を促進させるとともに、尿として体外に排泄しないように働く。この反応により体内に水が停滞し、体液量を正常、あるいはそれ以上にまで回復させる (体液浸透圧調節系)<sup>3)</sup>。非蒸散性熱放散、蒸散性熱放散による体温調節が有効に働かない場合には、この体液浸透圧調節系が体温調

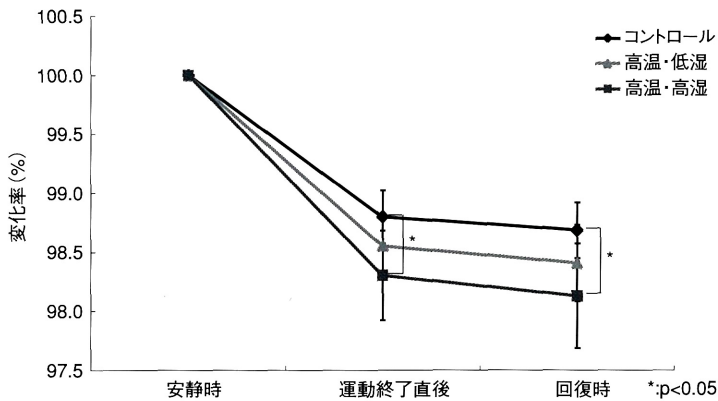


図-3 体重の変化率

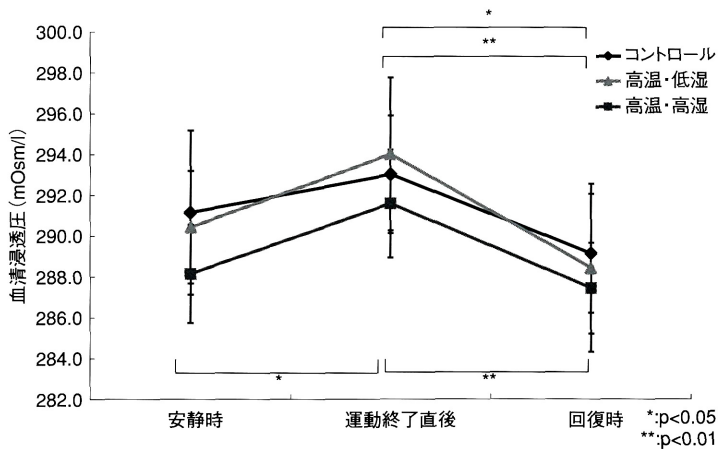


図-4 血清浸透圧の変化

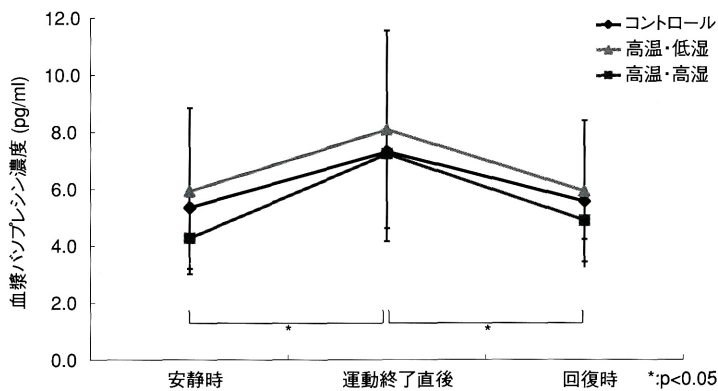


図-5 血漿バソプレシン濃度の変化

節に参与する。

コントロールでは、運動中において体温上昇がほとんど見られず(図-2)、運動終了直後の血清浸透圧および血漿バソプレシン濃度にも有意な変化が認められなかったことから、十分な水分摂取量および冷水を摂取したことにより体温の冷却効果が有効に働き<sup>19)</sup>、さらに皮膚血流量の増加に伴う熱放散、発汗による蒸散性熱放散によって体温が調節され、体温の上昇が抑制されたと考えられる。

高温・低湿ではHtが安静～運動終了直後にかけてHtが有意に上昇していたものの、Na<sup>+</sup>には有意な変化は認められなかった。また、体重減少量とNa<sup>+</sup>にも有意な相関は認められなかった(図-6)。中等度の運動強度では、汗腺から続く導管からのNa<sup>+</sup>の再吸収により、汗に含まれるNa<sup>+</sup>濃度が低く抑えられるため、Na<sup>+</sup>の損失は少なくなる<sup>4)</sup>。本研究においても、運動強度は50%  $\dot{V}O_2\max$ という中等度であったため、血漿量は減少したものの、Na<sup>+</sup>の再吸収が起これ、Na<sup>+</sup>の損失が抑えられたと考えられる。Na<sup>+</sup>の損失が抑えられたことと運動終了後の水分摂取により、血清浸透圧は運動終了直後～回復時にかけて有意に減少し(図-4)、血漿バソプレシン濃度(図-5)は有意な変化を示さなかった

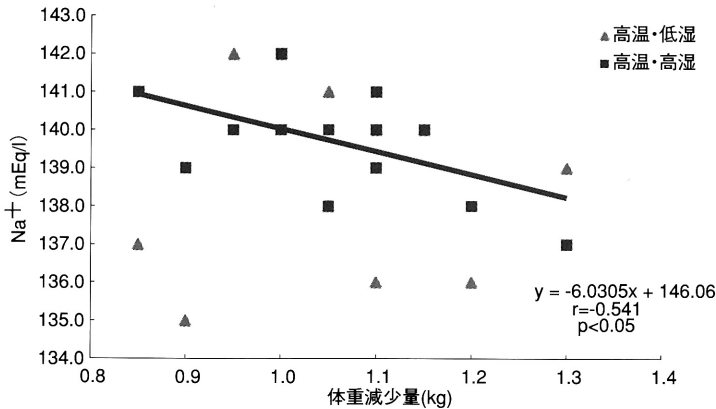


図-6 運動終了後の体重減少量とNa<sup>+</sup>の相関

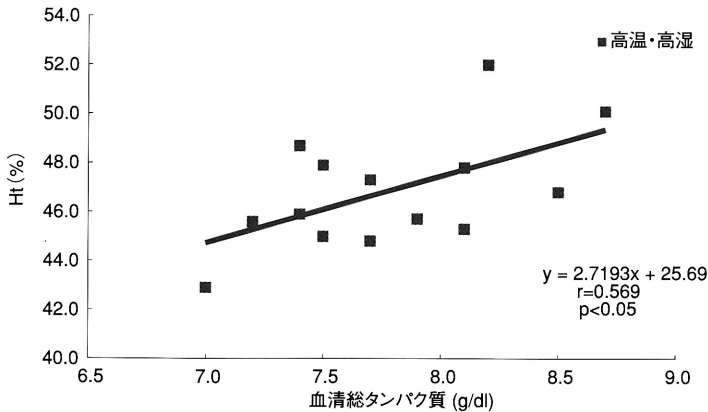


図-7 運動終了後の血清総タンパク質とHtの相関

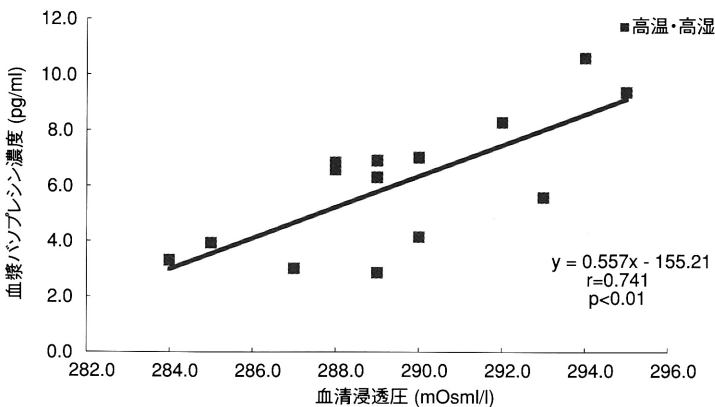


図-8 運動終了後の血清浸透圧と血漿バソプレシン濃度の相関

ものと考えられる。したがって高温・低湿では、体液浸透圧調節系は体温調節に関与していなかったと推察される。

高温・高湿ではHtと血清総タンパク質(図-7)に有意な正の相関が、また体重減少量とNa<sup>+</sup>(図-6)に有意な負の相関が認められた。Lundvall<sup>5)</sup>は、血漿タンパク質が上昇すると血漿膠質浸透圧が上昇し、活動筋での水分移動を抑制し、活動筋以外の組織の間質から脈管内へ水分を移動させ、運動時の循環血液量が維持されると述べている。このことから本研究の高温・高湿時では、血清総タンパク質の上昇により血漿量は維持されたものの、発汗によるNa<sup>+</sup>の損失が大きかったことが推察される。さらに高温・高湿では血清浸透圧(図-4)と血漿バソプレシン濃度(図-5)に有意な変化が認められ、血清浸透圧と血漿バソプレシン濃度に有意な正の相関が認められた(図-8)。したがって、Na<sup>+</sup>の上昇により血清浸透圧が上昇し、血清浸透圧の上昇によりバソプレシンが分泌されたと考えられる。運動終了直後～回復時にかけては、血清浸透圧はバソプレシンの分泌と運動終了直後の水分摂取により有意に減少し、血清浸透圧の回復とともにNa<sup>+</sup>もまた運動終了直後～回復時にかけて有意に減少したと考えら

れる。このことから高温・高湿では、体液浸透圧調節系が体内に水分を停滞させて体液量を維持するように働き、それにより体温調節がなされたと推察される。

本研究においては高温・低湿時と高温・高湿時の体温の変化率には有意な差は認められなかったが、佐藤ら<sup>11)</sup>は高温環境下では湿度が高くなるにつれ、十分な発汗反応があるにもかかわらず、蒸散性熱放散が有効に働かないために体温が上昇し、さらに発汗量を増加させるとともに身体に必要な水分や電解質が失われると報告している。このことから本研究においても、体温の変化に有意な差は認められなかったものの、高温・高湿の方が高温・低湿と比較して体重減少量が多く、また高温・高湿においてのみ体重減少量とNa<sup>+</sup>の間に有意な正の相関が認められたものと考えられる。湿度が高くなるほど汗の蒸発は減少し、蒸散性熱放散が有効に行われなくなるために無効発汗（蒸発しない汗）の量が増す。したがって、高温・低湿では湿度が低いために高温・高湿よりも蒸散性熱放散が有効に働き、体温が調節された可能性があると考えられた。

## V ま と め

本研究では運動時の水分摂取が体液調節に及ぼす影響について、特に高温環境下の湿度変化による影響について明らかにすることを目的とし、環境条件を変化させて検討した。その結果、運動時の水分摂取は体温上昇の抑制に有効であり、また冷水を摂取することによる体温の冷却効果も有効であるが、その有効性は環境温度に依存していることが示された。また、高温環境下では湿度が低い場合は蒸散性熱放散による体温調節が比較的有効に働くが、湿度が高くなるとそれが有効に働かないために体温が上昇し、さらに発汗量が増加するとともにNa<sup>+</sup>の損失が増し、それにより体液浸透圧調節系が体温調節に関与することが推察された。つまり、高温環境下の運動時には、体温調節

に有効な機能は湿度によって異なる可能性が示唆された。

本研究は、国士舘大学体育学部附属体育研究所の平成15年度研究助成を受けて行われた。

## 引用・参考文献

- 1) アメリカ栄養士会SCAN：1998スポーツ栄養ワークショップ資料，コーチングクリニック，14-17，2001
- 2) Baker, M.A.: Thermoregulation in dehydrated vertebrates, *Biometeorology*, 7, 101-107, 1989,
- 3) 池上晴夫編：身体機能の調節性—運動に対する応答を中心に—，朝倉書店，1997
- 4) 井澤鉄也編：運動とホルモン—液性因子による調節と適応—，NAP，2001
- 5) Lundvall J, Mellander S, Westing H: Fluid transfer between blood and tissues during exercise., *Acta Physiol. Scand.*, 85, 258-269, 1972
- 6) Morimoto, T.: Thermoregulation and body fluids: Role of blood volume and central venous pressure, *J.J. Physiol.* 40, 165-179, 1990
- 7) Nielsen, B.: Thermoregulation in rest and exercise, *Acta Physiol. Scand. (Suppl.)*, 323, 1969
- 8) 日本体育協会：スポーツ活動中の熱中症予防ガイドブック，1999
- 9) 丹羽健市：運動時の熱平衡に及ぼす湿度の影響，*大阪大医学雑誌*, 30, 1-13, 1978
- 10) 能勢博：暑熱環境下運動時の皮膚血流調節，*体力科学*, 47, 257-262, 1998
- 11) 佐藤靖丈，丹羽健市：運動時の飲水が発汗反応および体温冷却に及ぼす影響，*体力科学*, 46, 113-122, 1997
- 12) Sawka, M.N.: Physiological consequences of hypohydration: exercise performance and thermoregulation, *Med. Sci. Sports Exerc.*, 24, 657-670, 1992
- 13) Stitt, J.T.: Central Regulation of Body Temperature, *Exerc. Sci. and Sports Med.*, 6, 1-47, 1993
- 14) 鷹股亮：スポーツと水分摂取（特集 運動をめぐる話題），*保健の科学*, 42, 5, 332-339, 2000
- 15) 鷹股亮，森本武利：運動、スポーツにおける体温調節と水分摂取，*臨床スポーツ医学（臨時増刊号）*, 13, 68-73, 1996
- 16) 高取直志，長谷川博，山崎昌廣，小村堯：水分摂取間隔の違いが暑熱下運動中の体温調節反応に与える影響，*体力科学*, 51, 317-324, 2002
- 17) 和久貴洋，松田光生，前田清司，宮内卓，松崎守利：高温環境下における運動時の血行動態—水分摂取の影響—，*体力科学*, 41, 692, 1992
- 18) Werner, J.: Temperature regulation during exercise : An

overview, *Exerc. Sci. and Sports Med.*, **6**, 49-84, 1993

- 19) 山田誠二, 松原周信, 能勢博, 三木健寿, 伊藤俊之, 瀬尾芳輝, 平川和文, 森本武則: 発汗時補給水分の体温冷却効果, *日本生気象学会雑誌*, **19**, 45-51, 1982

- 20) 寄本明, 中井誠一, 芳田哲也, 森本武則: 屋外における暑熱下運動時の飲水行動と体温変化の関係, *体力科学*, **44**, 357-364, 1995