

**運動中のハイポトニック飲料の自由摂取が体液および電解質バランスに及ぼす影響**  
**Effects of ingested fluids on voluntary drinking and fluid balance**  
**and metabolic responses to prolonged exercise in a hot environment in men**

呉泰雄<sup>1)</sup>、樋口満<sup>2)</sup>、彼末一之<sup>2)</sup>、村岡功<sup>2)</sup>、坂本静男<sup>2)</sup>、鈴木克彦<sup>2)</sup>  
光田博充<sup>3)</sup>、仲立貴<sup>4)</sup>、張志勳<sup>5)</sup>

<sup>1)</sup>松本大学人間健康学部スポーツ健康学科、<sup>2)</sup>早稲田大学スポーツ科学学術院  
<sup>3)</sup>アサヒ飲料(株)商品開発研究所、<sup>4)</sup>(独)国立健康・栄養研究所、<sup>5)</sup>關東大學校(韓国)

Keywords: hot environment, sports beverage, plasma volume, hypotonic drink, exercise  
キーワード: 暑熱環境、スポーツ飲料、血漿量、ハイポトニック飲料、運動

**Abstracts**

This study examined the effects of ingested fluids on voluntary drinking, fluid balance and metabolic responses to prolonged exercise in a hot environment in men (temperature:  $28.1 \pm 1.5$  °C, humidity:  $52.6 \pm 3.1\%$ ). Six males (age  $19.0 \pm 0.6$  yr) cycled for 90 min at 60 % of their maximum oxygen consumption. One of three beverages was assigned: a) unflavored water (W), b) Isotonic-carbohydrate drink (ISO): flavored water plus glucose 6.0 %, Osmolality 317 mOsm/kg, and c) Hypotonic-electrolyte drink (HYPO): flavored water plus glucose 4.1 %, Osmolality 193 mOsm/kg. Rectal temperature was calculated, and heart rate were recorded at rest, every 15 min during exercise and recovery. Venous blood samples were drawn before and after exercise, at 45 min exercise, and 30 min after exercise for determination of haemoglobin, haematocrit, blood metabolites and serum electrolytes and osmolality. Urine samples were drawn before and after exercise, at 30 min post exercise for determination of electrolytes and osmolality. Total fluid intake was higher ( $P < 0.05$ ) during HYPO ( $1,403 \pm 557$  g) compared with W ( $701 \pm 249$  g). Euhydration was lower ( $P < 0.05$ ) during ISO ( $-0.51 \pm 0.4$  kg) and HYPO ( $-0.5 \pm 0.4$  kg) compared with W ( $-0.95 \pm 0.3$  kg). The serum glucose was higher ( $P < 0.05$ ) during ISO ( $137.5 \pm 37$  mg/dL) compared with HYPO ( $102.5 \pm 17$  mg/dL) and W ( $87.3 \pm 8$  mg/dL). The haemoglobin was higher ( $P < 0.05$ ) during ISO compared with W. The haematocrit was higher ( $P < 0.05$ ) during ISO compared with HYPO and W. No differences were observed in rectal temperature, heart rate, free fatty acid, catecholamine, osmolality, sodium and potassium did not differ among 3 drinks. In conclusion, a flavored hypotonic beverage seems to be better in easiness to drink in sports activities under the high temperature environment. Moreover, it seems that the hypotonic beverage are excellent under the situation that the plasma volume which is the index of dehydration is not lowered.

## I. 緒言

水分は体内で重要な働きをし、生命維持に欠かせないものである。体内の水分が運動による発汗などで失われ、脱水状態をおこすこともある。その結果、運動能力の低下だけでなく、脱水、熱中症、ひいては死に至ることもなりかねない。したがって、運動中・運動後の水分補給が重要になってくる。長時間、あるいは暑熱環境下での運動後には、単に水分だけでなく、電解質や糖質などを含んだスポーツ飲料の摂取により、体温上昇が抑制され、発汗により喪失した水分、電解質の補給および血糖の低下が防止される<sup>1,2,3)</sup>と報告されている。

エネルギー、電解質と水分の補給としてスポーツ飲料が広く市販されている。スポーツ飲料は浸透圧により、アイソトニックとハイポトニックに区別される。Maughan ら<sup>4)</sup>は疲労困憊までの運動による血漿量減少はアイソトニック飲料よりハイポトニック飲料の摂取の方が有意に抑制されたと報告している。しかし、スポーツ選手がスポーツ飲料を

選択する際、飲みやすさで選択する傾向がある一方で、その科学的根拠は必ずしも明らかになっていない。

そこで、本研究においては健康な大学生を対象に、運動中のスポーツ飲料(アイソトニック、ハイポトニック)または純水の自由摂取が糖・脂質、水・電解質代謝およびそれらの調節に関与している血漿ホルモンの動態に及ぼす影響を明らかにしようと試みた。

## II. 方法

### A. 対象

被験者の特徴は表1に示した。22歳から25歳の大学の自転車部に所属している健康な男子大学生6名について実験を行なった。本研究は、早稲田大学「研究倫理委員会」の承認を受け、ヘルシンキ宣言の精神に則って行われた。

なお、各被験者とも事前に研究の目的、実験内容等について十分な説明を受けた後、本実験に参加した。

Table 1. Characteristics of the subjects

Parameters	Values
Age (yr)	19±0.6
Height (cm)	170.8±10.1
Weight (kg)	64.1±8.9
% Fat (%)	15.1±1.7
$\dot{V}O_2\text{max}$ (ml/kg/min)	57.7±5.7

n = 6, mean ± SD

### B. 研究方法

本実験の1週間前に最大酸素摂取量( $\dot{V}O_2\text{max}$ )の測定を自転車エルゴメータによる漸増負荷法で行った。本実験の運動負荷は

60% $\dot{V}O_2\text{max}$ の強度で90分間(45分・45分に5分休憩を入れる)自転車エルゴメータで行った。

飲食条件としては試験前日の午前9時以降は飲食禁止とし、規定の朝食(おにぎり1個、バナナ

1個、卵1個、牛乳250 mL)を摂取した。本研究の3種類の飲料摂取条件は1週間ずつ時間をあけて異なる日に各群の実験を行った。3種類の飲料条件は無作為に二重盲検で設定した。

本実験の流れは1時間前に実験室(気温:  $28.1 \pm 1.5$  °C、湿度:  $52.6 \pm 3.1$  %)に入り、体重を計測し、運動負荷中の飲料摂取は自由にし、飲んだ量を測定した。運動終了後、直ちに体重計測し、30分間回復期をおいた。安静時、運動中、回復時には直腸温、心拍数を計測し、Rate of Perceived Exertion (RPE)を判定した。本研究の採血は、肘静脈から運動前と運動中(45分後)及び運動直後、30分後に医師が行なった。血糖値と乳酸値は指先からの微量血液採取で測定できるため、運動中15分おきに6回測定した。採尿は安静時と運動直後、30分後に行った。今回使用したアイソトニック飲料の糖組成は、グルコース4.0%、砂糖2.0%で、浸透圧は317 mOsm/kgであった。ハイポトニック飲料の糖組成は、砂糖2.4%、果糖1.2%、マルトデキストリン0.5%で、浸透圧は193 mOsm/kgであった。水はイオン等を除去したミネラルは含まれていない純水を使用した。血液成分の測定項目は、血糖、乳酸、血清浸透圧、血清Na, K、血液学的成分(RBC, WBC, Hb, Hct)、血漿カテコールアミンであり、血糖値と乳酸値は運動前に1回、運動中15分おきに6回、運動直後1回、運動15分後1回、運動30分後1回の計10回測定した。その他の血液成分は1回10ml採血後、試験管およびEDTA管(2Naおよび2K含有)に分注し、血液学的成分は直ちに測定したが、血清および血漿分離した検体は測定まで凍結保存した。尿成分測定項目は、浸透圧、電解質(Na, K)であった。

統計処理法として、3種類の飲料間の差の検定には一元配置分散分析のpost hoc検定を行った。運動前、運動中および運動後間の測定値の変化に差異があるか否かの検定には二元配置分散分析を行い、有意性が認められた場合にはそれぞれ対応する3試行の測定値をTukey-kramerの多重比較で検定した。なお、相関係数の検定にはピアソンの相関係数検定法を用い、いずれの場合も確率水準5%を有意水準とした。

### III. 結果

#### A. 心拍数、体重当りの水分摂取量、体重および直腸温の変化

90分間運動中の飲料の自由摂取による心拍数、体重当りの水分摂取量、体重および体温の変化を図1, 2, 3, 4, 5に示した。心拍数は90分間の運動によって安静時より有意( $p < 0.05$ )に高値を示した。3種類の飲料摂取による有意な変化は認められなかった(図1)。体重の変化は90分間運動中の飲料の自由摂取により、純水に比べてアイソトニック飲料とハイポトニック飲料の方が有意に( $p < 0.05$ )低値を示した(図2)。水分摂取量および体重当りの水分摂取量は90分間運動中の飲料の自由摂取により、ハイポトニック飲料の方が純水に比べて有意に( $p < 0.05$ )高値を示した(図3, 4)。発汗量については、90分間運動中の飲料の自由摂取による体重の有意な変化は認められなかった(図5)。直腸温は3種類の飲料による変化はみられなかったが、運動の影響としては運動前に比べて運動30分後から回復30分後まで有意な変化がみられた( $p < 0.05$ ) (図6)。

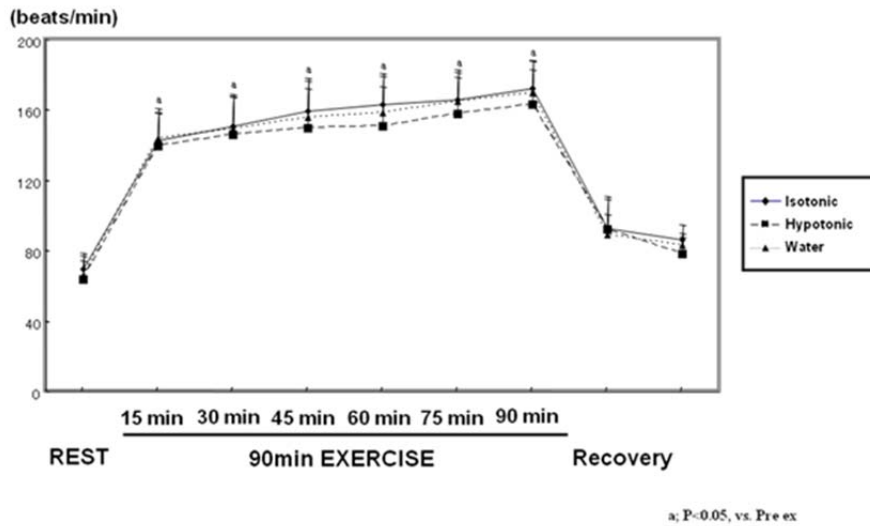


図1. 90分間運動中の心拍数

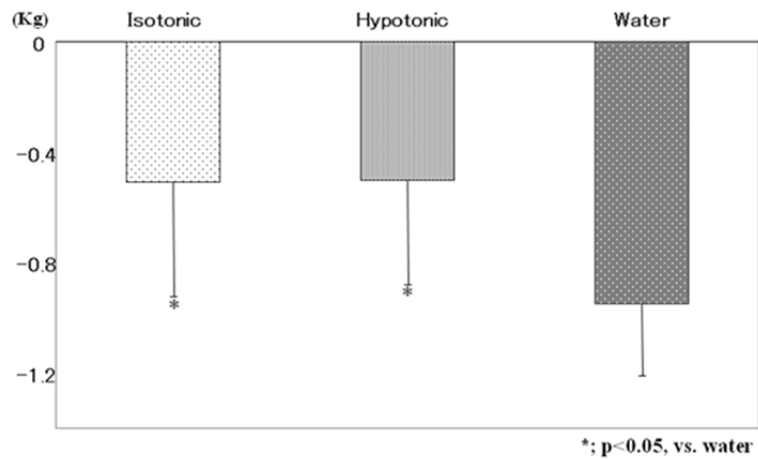


図2. 90分間運動中の体重の変化

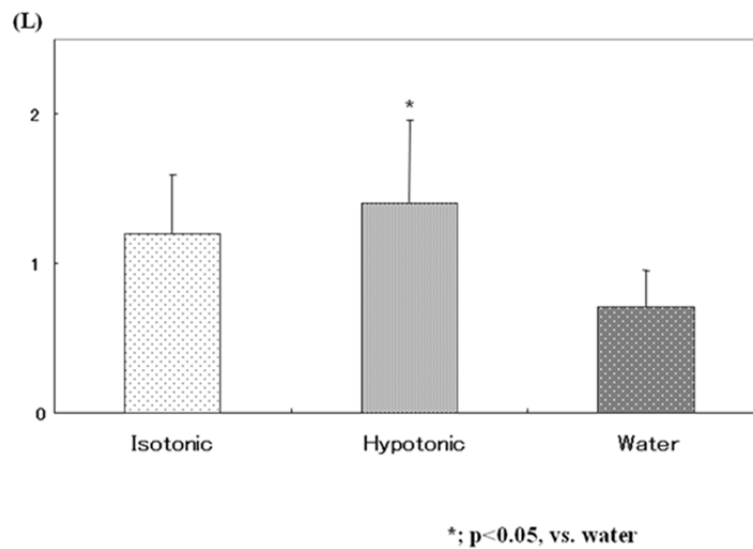


図3. 90分間の運動中の水分摂取量

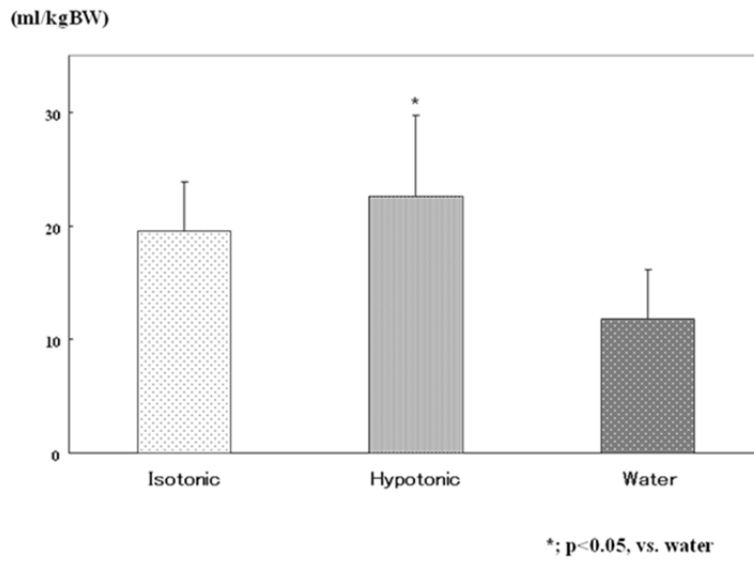


図4. 90分間の運動中の体重当りの水分摂取量

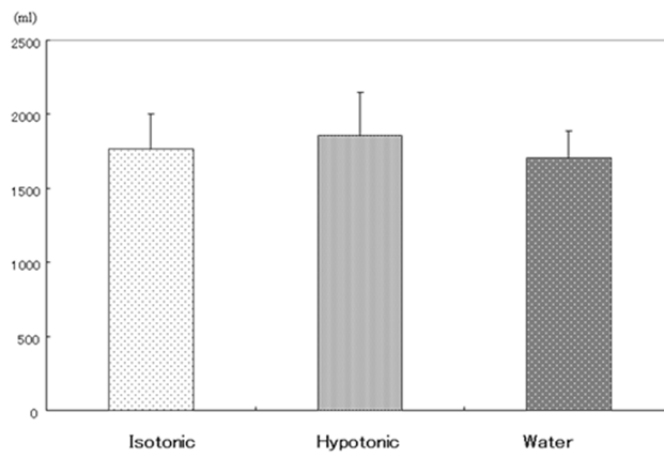


図5. 90分間の運動中の発汗量

発汗量 = (運動前体重 + 飲水量) - 運動後体重

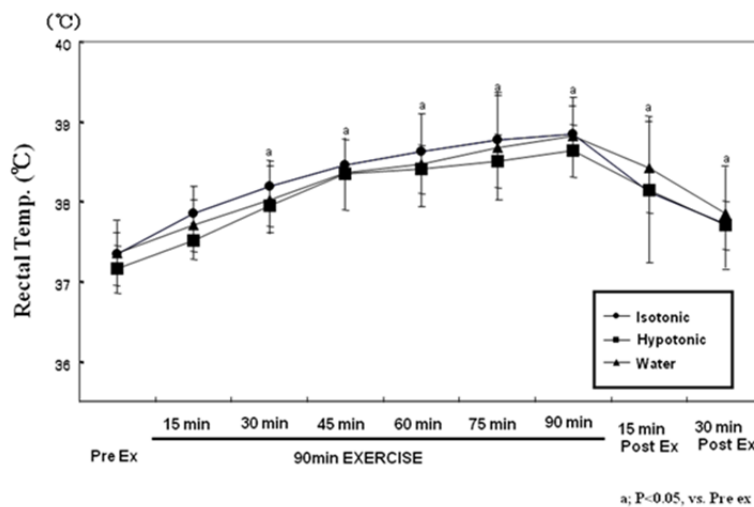


図6. 90分間の運動中の直腸温

## B. 血糖および血清遊離脂肪酸濃度の変化

90 分間運動中の飲料の自由摂取による血糖および血清遊離脂肪酸濃度の変化を図 7, 8 に示した。血糖値は 3 種類の飲料による変化として回復 30 分後で、アイトニック飲料に比べて純水とハイポトニック飲料ともに有意に低かった ( $p < 0.05$ )。運動の影響としてアイトニック飲料で

は運動前に比べて運動直後、またはハイポトニック飲料では運動前に比べて運動 45 分後でのみ有意に ( $p < 0.05$ ) 高かった (図 7)。遊離脂肪酸値は 3 種類の飲料による変化はみられなかったが、運動の影響としては運動前に比べて運動 45 分後から回復 30 分後まで有意な ( $p < 0.05$ ) 変化がみられた (図 8)。

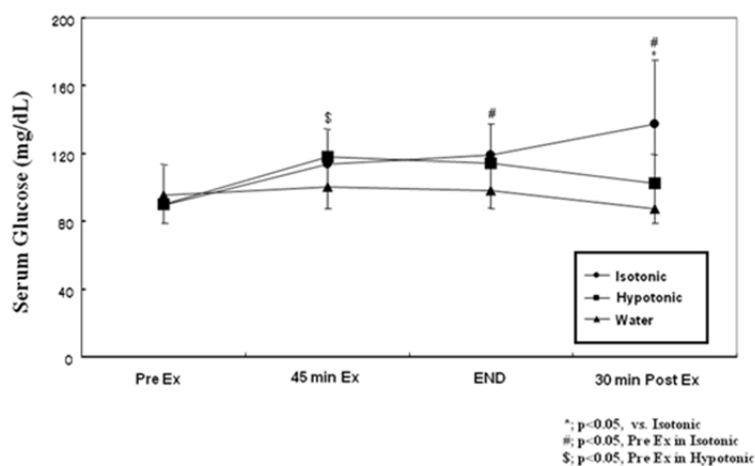


図7. 90分間の運動中の血糖値

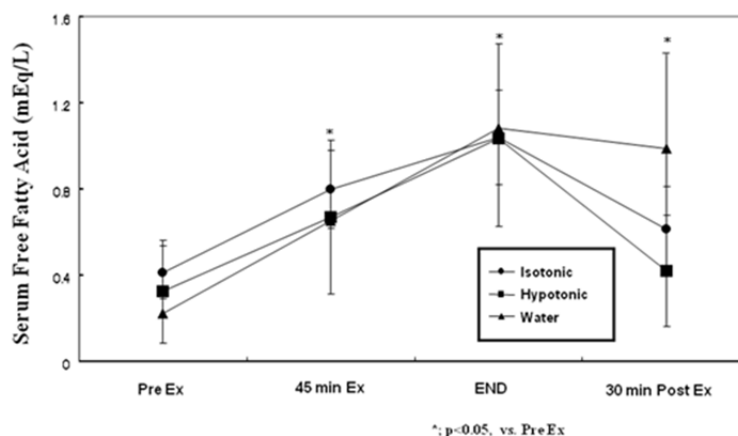


図8. 90分間の運動中の遊離脂肪酸値

## C. 血中ヘモグロビン、ヘマトクリットおよび血漿量変化

90 分間運動中の飲料の自由摂取による血中ヘモグロビン、ヘマトクリットおよび血漿量変化を表 2 に示した。ヘモグロビンでの 3 種類の飲料による変化は純水に比べてアイトニック飲料の方

が有意に高かった ( $p < 0.05$ )。また、運動の影響は運動直前より直後の方が有意に高い値を示した ( $p < 0.05$ )。ヘマトクリットでの 3 種類の飲料による変化は純水とハイポトニック飲料に比べてアイトニック飲料の方が有意に高かった ( $p < 0.05$ )。また、運動の影響は運動前より運動 45 分後、直後

の方が有意に高い値を示し(p<0.05)、回復 30 分後より運動直後の方が有意に高い値を示した(p<0.05)。血漿量変化での 3 種類の飲料による

変化は純水とハイポトニック飲料に比べてアイソトニック飲料の方が有意に低かった(p<0.05)。また、運動の影響はヘマトクリットと同じ傾向を示した。

**Table 2. Hemoglobin, hematocrit, and PV changes of Blood**

Variable			TIME			
			Pre ex	45 min Ex	END	30 min post Ex
Hemoglobin	g/dl	Isotonic	16.0(0.6)	16.5(1.0)	16.8(1.3) <sup>*</sup>	16.0(1.1)
		Hypotonic	15.5(0.6)	16.1(0.7)	16.3(0.8) <sup>*</sup>	15.6(0.7)
		Water	14.9(0.6)	15.6(0.7)	15.9(0.8) <sup>*</sup>	15.4(0.8)
Hematocrit	%	Isotonic	47.9(1.6)	50.0(2.0) <sup>*</sup>	50.1(2.6) <sup>*</sup>	48.1(2.1) <sup>\$</sup>
		Hypotonic	46.6(1.8)	48.3(1.8) <sup>*</sup>	48.4(1.6) <sup>*</sup>	46.7(1.5) <sup>\$</sup>
		Water	45.4(1.4) <sup>#</sup>	47.8(1.3) <sup>*#</sup>	48.6(1.6) <sup>*#</sup>	47.3(1.6) <sup>\$#</sup>
PV change	Δ%	Isotonic		-2.1(0.2) <sup>*</sup>	-2.2(0.3) <sup>*</sup>	-0.2(0.2)
		Hypotonic		-1.7(0.2)	-1.7(0.2)	-0.1(0.2)
		Water		-2.4(0.1) <sup>*#</sup>	-3.2(0.2) <sup>*#</sup>	-1.9(0.2) <sup>#</sup>

<sup>\*</sup>:p<0.05, vs. Pre Ex <sup>#</sup>:p<0.05, vs. Hypotonic

#### D. 血漿カテコールアミン濃度の変化

90 分間運動中の飲料の自由摂取による血漿カテコールアミン濃度の変化を表 3 に示した。3 種

類の飲料による変化はみられなかったが、運動の影響としては運動直前と回復 30 分後に比べて運動直後の方が有意に高かった(p<0.05)。

**Table 3. Concentration of plasma catecholamine**

Variable		Time			
		Pre Ex	45min Ex	End	30min Post Ex
adrenaline	Isotonic	61(20) <sup>*</sup>	221(238)	274(394)	95(108) <sup>*</sup>
	Hypotonic	62(27) <sup>*</sup>	160(157)	170(107)	69(45) <sup>*</sup>
	Water	41(8) <sup>*</sup>	186(101)	317(194)	82(46) <sup>*</sup>
noradrenaline	Isotonic	462(157) <sup>*</sup>	1557(722)	1723(900)	628(209) <sup>*</sup>
	Hypotonic	466(136) <sup>*</sup>	1057(412)	1204(323)	616(245) <sup>*</sup>
	Water	337(96) <sup>*</sup>	1122(503)	1314(429)	554(217) <sup>*</sup>
dopamine	Isotonic	25(14) <sup>*</sup>	54(25)	82(49)	31(13) <sup>*</sup>
	Hypotonic	26(15) <sup>*</sup>	46(27)	65(42)	28(14) <sup>*</sup>
	Water	15(8) <sup>*</sup>	38(23)	62(43)	22(8) <sup>*</sup>

<sup>\*</sup>:p<0.05, vs. END

**E. 血液の浸透圧および電解質の変化**

血液の浸透圧および電解質 (Na, K) を表 4 に示した。3 種類の飲料による変化はみられなかつ

たが、運動の影響としては K の値のみ運動直前に比べて運動 45 分後の方が有意に高かった ( $p < 0.05$ )。

**Table 4. Blood Osmolality, Na, and K**

Variable			TIME			
			Pre ex	45 min Ex	END	30 min post Ex
Osmolality	mOSM/Kg	Iso tonic	284(2)	286(3)	290(9)	286(2)
		Hypo tonic	284(5)	287(6)	287(5)	284(5)
		Water	284(3)	285(4)	285(2)	284(3)
Na	mEq/L	Iso tonic	140(1)	141(1)	144(7)	140(1)
		Hypo tonic	140(2)	140(2)	140(1)	140(2)
		Water	141(1)	142(1)	142(1)	141(1)
K	mEq/L	Iso tonic	4.3(0.2)	4.7(0.2)	4.7(0.2)	4.4(0.4)
		hypo tonic	4.2(0.2)	4.5(0.2)	4.6(0.2)	4.5(0.2)
		Water	4.3(0.1)	4.6(0.3)	4.5(0.3)	4.4(0.2)

^;  $p < 0.05$ , vs. Pre

**F. 尿中の浸透圧および電解質の変化**

90 分間運動中の飲料の自由摂取による尿中の浸透圧および電解質 (Na, K) の影響を表 5 に示した。3 種類の飲料による変化はみられなかつ

たが、運動の影響としては Na の値のみ運動直前に比べて回復 30 分後の方が有意に低かった ( $p < 0.05$ ) が、K の値は運動直前に比べて回復 30 分後の方が有意に高かった ( $p < 0.05$ )。

**Table 5. Urine Osmolality, Na and K**

Variable			TIME		
			Pre ex	END	30 min post Ex
Osmolality	mOSM/Kg	Iso tonic	979(94)	1012(111)	950(243)
		Hypo tonic	881(196)	763(273)	1064(135)
		Water	853(230)	896(163)	947(100)
Na	mEq/L	Iso tonic	163(62)	127(70)	54(30)*
		Hypo tonic	184(31)	137(72)	79(79)*
		Water	170(34)	127(53)	98(54)*
K	mEq/L	Iso tonic	86(36)	111(37)	110(1)*
		Hypo tonic	67(19)	82(39)	117(46)*
		Water	65(24)	111(43)	139(28)*

^;  $p < 0.05$ , vs. Pre



#### IV. 考 察

暑熱環境下での運動時には体温上昇、発汗量の増加による水分、塩分の喪失および循環血漿量の減少などがおきる。暑熱環境下における運動時の水分摂取の効果は摂取水分の組成などに影響される。本研究は、糖・脂質、水・電解質およびそれらの調節に関与するホルモンの動態を指標に、健康な一般人に対し暑熱環境下で90分間程度の中等度強度の運動を行う際に、浸透圧が違うスポーツドリンクを自由に摂取した場合の影響を明らかにすることを目的とした。暑熱環境を想定した実験室(気温:28.1±1.5℃、湿度:52.6±3.1%)で60% $\dot{V}O_2$ max強度の運動負荷で90分間(45分・45分に5分休憩を入れる)自転車エルゴメータで行なった。

まず、90分間中等度強度の運動による影響で心拍数と直腸温は徐々に高くなり、体重の変化は純水に比べて糖質飲料(アイソトニックとハイポトニック)の方が低かった。それは運動による水分喪失が純水より糖質飲料の方が優れているためと考えられる。血糖値はアイソトニック飲料では運動前に比べて運動直後、またはハイポトニック飲料では運動前に比べて運動45分後でのみ高かった。遊離脂肪酸値は運動前に比べて運動45分後から回復30分後まで変化がみられた。本研究で使用したアイソトニック飲料の糖質濃度は6.0%でハイポトニック飲料は4.1%でアイソトニック飲料の方が糖質濃度が高かったことが一つの要因と考えられる。

体重当りの水分摂取量は90分間運動中の自由な飲料摂取により、ハイポトニック飲料の方が純水に比べて高かったことより飲みやすかったためと考えられる。発汗量は90分間運動中の自由な飲料摂取による変化は認められなかった。直腸温は3種類の飲料による変化はみられなかったが、運動の影響としては運動前に比べて運動30分後から回復30分後まで変化がみられた。血液の

ヘモグロビン濃度での3種類の飲料による変化は純水に比べてアイソトニック飲料の方が高かった。また、運動の影響は運動直前より直後の方が有意に高い値を示した( $p<0.05$ )。

ヘマトクリットでの3種類の飲料による変化は純水とハイポトニック飲料に比べてアイソトニック飲料の方が高かった。また、運動の影響は運動前より運動開始45分後の方が高い値を示し、回復30分後より運動直後の方が高い値を示した。血漿量変化での3種類の飲料による変化は純水とハイポトニック飲料に比べてアイソトニック飲料の方が低かった。また、運動の影響はヘマトクリットと同じ傾向を示した。血漿の増加量は摂取した水分量と直接的な相関関係があるので本研究の自発的な水分摂取によりハイポトニック飲料の方が多く飲まれたからと考えられる。血漿カテコールアミン濃度変化は3種類の飲料による変化はみられなかったが、運動の影響としては運動直前と回復30分後に比べて運動直後の方が高かった。血液または尿中の浸透圧および電解質(Na, K)では3種類の飲料による変化はみられなかったが、運動の影響としてはKの値のみ運動直前に比べて運動45分後の方が有意に高かった( $p<0.05$ )。

効果的に脱水を回復させるためには発汗量を同じくらいか上回る量の水分を摂取する必要がある。そのため、飲料の溶質成分とともに口当たりのよさが重要である。水分の摂取量が増えれば、それだけ効果的に脱水の回復をはかる機会を得やすくなる。今回使用したハイポトニック飲料の糖組成は、砂糖2.4%、果糖1.2%、マルトデキストリン0.5%で、浸透圧は193 mOsm/kgである。この組成は暑熱環境下での90分間の運動中に失われた水分を回復させるために有効であると考えられた。

今回の研究の限界として、対象者が少ないことがあげられるが、今後例数を蓄積し検討する予定である。

## V. 要約

暑熱環境下での 90 分間の運動中にハイポトニック飲料の摂取量は高く、ハイポトニック飲料の方が他の飲料に比べて飲みやすかったと考えられる。血糖値は回復 30 分後で、アイソトニック飲料に比べて純水とハイポトニック飲料では有意に低かった。これは、糖質の量が純水とハイポトニック飲料よりアイソトニック飲料の方が多いためと考えられる。各飲料の血液と尿の浸透圧に有意差はみられなかったものの暑熱環境下での運動後に低下すると考えられる血漿量ではハイポトニック飲料に比べて純水の方が有意に低かった ( $p < 0.05$ )。これは運動による血液濃縮をハイポトニック飲料によって抑制したためと考えられる。遊離脂肪酸、カテコールアミン、Na、K、心拍数、直腸温、乳酸の値は運動による変化はみられたが、各飲料による影響はみられなかった。\*\*\*\*\*以上より、ハイポトニック飲料は暑熱環境下でのスポーツの場面で飲みやすく摂取量が高く、脱水の指標である血漿量を下げない点においても、ハイポトニック飲料が優れていると考えられる。

## 参考文献

- 1) 山田誠二、松原周信、能勢 博、三木建寿、伊藤俊之、瀬尾芳輝、平川和文、森本武利。発汗時補給水分の体温冷却効果。日生氣誌, 19,45-51,1982.
- 2) Montain SJ, Coyle EF. Fluid ingestion during exercise increases skin blood flow independent of increases in blood volume. *J Appl Physiol.*, 73(3):903-10,1992.
- 3) Owen MD, Kregel KC, Wall PT, Gisolfi CV Effects of ingesting carbohydrate beverages during exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc.*,18(5):568-75,1986.
- 4) Maughan RJ, Bethell LR, Leiper JB Effects of ingested fluids on exercise capacity and on cardiovascular and metabolic responses to prolonged exercise in man. *Exp Physiol.*, 81(5):847-59,1996.
- 5) Ishijima T, Hashimoto H, Satou K, Muraoka I, Suzuki K, Higuchi M. The different effects of fluid with and without carbohydrate ingestion on subjective responses of untrained men during prolonged exercise in a hot environment. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*, 55(6):506-10,2009.
- 5) Neville V, Gant N, Folland JP. Thermoregulatory demands of Elite Professional America's Cup Yacht Racing. *Scand J Med Sci Sports*, 23,2009.
- 6) Anastasiou CA, Kavouras SA, Arnaoutis G, Gioxari A, Kollia M, Botoula E, Sidossis LS. Sodium replacement and plasma sodium drop during exercise in the heat when fluid intake matches fluid loss. *J Athl Train.*, 44(2):117-23,2009.
- 7) Lafrenz AJ, Wingo JE, Ganio MS, Cureton KJ. Effect of ambient temperature on cardiovascular drift and maximal oxygen uptake. *Med Sci Sports Exerc.*, 40(6):1065-71,2008.
- 8) Armstrong LE, Casa DJ, Roti MW, Lee EC, Craig SA, Sutherland JW, Fiala KA, Maresh CM. Influence of betaine consumption on strenuous running and sprinting in a hot environment. *J Strength Cond Res.*, 22(3):851-60,2008.
- 9) Coso JD, Estevez E, Baquero RA, Mora-Rodriguez R. Anaerobic performance when rehydrating with water or commercially available sports drinks during prolonged exercise in the heat. *Appl*

- Physiol Nutr Metab.*, 33(2):290-8, 2008.
- 10) Del Coso J, Estevez E, Mora-Rodriguez R. Caffeine effects on short-term performance during prolonged exercise in the heat. *Med Sci Sports Exerc.*, 40(4):744-51,2008.
- 11) Gant N, Leiper JB, Williams C. Gastric emptying of fluids during variable-intensity running in the heat. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.*, 17(3):270-83, 2007.
- 12) González-Alonso. Hyperthermia impairs brain, heart and muscle function in exercising humans. *J.Sports Med.*, 37(4-5):371-3, 2007.
- 13) Shibasaki M, Wilson TE, Crandall CG. Neural control and mechanisms of eccrine sweating during heat stress and exercise. *J Appl Physiol.*, 100(5):1692-701. Review,2006.
- 14) Maughan R, Shirreffs S.Exercise in the heat: challenges and opportunities. *J Sports Sci.*, 22(10):917-27. Review, 2004.
- 15) Wingo JE, Lafrenz AJ, Ganio MS, Edwards GL, Cureton KJ. Cardiovascular drift is related to reduced maximal oxygen uptake during heat stress. *Med Sci Sports Exerc.*, 37(2):248-55,2005.
- 16) Kilduff LP, Georgiades E, James N, Minnion RH, Mitchell M, Kingsmore D, Hadjicharlambous M, Pitsiladis YP. The effects of creatine supplementation on cardiovascular, metabolic, and thermoregulatory responses during exercise in the heat in endurance-trained humans. *Int J Sport Nutr Exerc Metab.*, 14(4):443-60,2004.
- 17) Morgan RM, Patterson MJ, Nimmo MA. Acute effects of dehydration on sweat composition in men during prolonged exercise in the heat. *Acta Physiol Scand.*, 182(1):37-43, 2004.
- 18) Coris EE, Ramirez AM, Van Durme DJ. Heat illness in athletes: the dangerous combination of heat, humidity and exercise. *Sports Med.*, 34(1):9-16. Review, 2004.