

昭和56年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. VIII 運動時における体温の動的様相  
—第4報・飲料摂取の影響について—

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会



# 昭和56年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

## No. VIII 運動時における体温の動的様相

### —第4報・飲料摂取の影響について—

報告者 財) 日本体育協会スポーツ科学研究所

伊藤 静夫 黒田 善雄 塚越 克己  
雨宮 輝也 金子 敬二 松井 美智子

#### I 目 的

暑熱環境下における長時間の激運動は多量の発汗を招き、体液が失われる。このような脱水状態で運動を継続することは、循環系により大きな負担をかけることになる。マラソンレース中の体重減少はおよそ3kg(-4%)に達し、直腸温が40℃を越えることも少なくない<sup>5)</sup>。Wyndham と Strydom は<sup>10)</sup>、マラソンレース時の体重減少と直腸温を測定した結果、体重減少の大きいほど直腸温が高いことを観察している。このことから、マラソンレース時の直腸温上昇を抑えるために、適切な水分補給が重要であることを指摘している。一方、実験的なデータからも、暑熱環境下における長時間運動の遂行に当って、水分補給は直腸温の上昇を抑え、performance を向上させるという報告がみられる。しかし、これらの実験条件では脱水程度が大きく、また補給する水分量も大きい。Costill<sup>3)</sup> の実験では2時間のトレッドミル走で4.8~6.8%の体重減をおこし、その際2,000 ml

の液体補給をしているが、被験者は最後の給水では満腹感でこれ以上の飲水は不可能であったと言う。従来報告されている実験的研究<sup>1),3),4),6)</sup>では、運動時の脱水に対する飲水の生理的効果を明らかにする上で意義を持つと思われるが、実際のスポーツ活動での飲料摂取に当っては、その量が多すぎるめた実用的ではないと思われる。

そこで、本研究では通常のスポーツ活動で利用される市販のスポーツ飲料について、無理なく摂取できるとと思われる量を想定し、その効果を検討した。すなわち、60% $\dot{V}O_{2max}$ の負荷による運動時に、500mlの飲料を摂取し、主に体温調節系への影響を検討した。

#### II 方 法

##### 1. 被 験 者

被験者には、健康な成人男子4名を用いた。被験者の身体特性を表1に示す。被験者はいずれも競技的なトレーニングを継続して実施しているものではなく、TAとSIは週4・5回の軽いラン

表1 被験者の身体特性及び走行条件

被験者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	体表面積 (m <sup>2</sup> )	走行スピード (m/min)				
					60% $\dot{V}O_{2max}$	0~2分	2~4分	4~6分	6~8分
KT	45	178.0	81.1	1.91	120	140	160	180	200
KK	28	171.0	73.5	1.70	140	160	180	200	220
TA	39	165.0	68.7	1.70	150	180	210	240	270
SI	31	160.0	58.2	1.59	180	220	260	300	340

ニングを20分程度実施しており、KKは週3・4回バドミントンを20~30分程度行い、KTは日常的な身体活動を行っていない。

## 2. 実験条件

飲料摂取条件では、次の4条件を設定した。市販のスポーツ飲料を2種類選択し、それぞれにつき1実験ずつ行った。プラセボ条件として、水道水に化学甘味料とレモンエッセンスを加えスポーツ飲料に類似した味のものを摂取させる条件を加え、またコントロールとして全く飲料を摂らない場合の条件を設定した。以下、2種のスポーツ飲料摂取実験をF1並びにF2とし、プラセボ条件をW、コントロールをNFと表わす。飲料の温度は、いずれもおおよそ10℃とした。飲料の摂取量では、走行前に200ml摂取し、走行途中の休息時に300ml摂取し、1実験につき合計500ml摂取した(図1)。

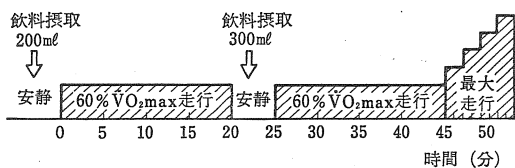


図1 実験手順

運動負荷にはトレッドミル走を用い、60%  $\dot{V}O_{2max}$  相当の走行と、走行スピードを漸増し被験者が疲労困ぱいに至るまで走らせる最大走行の2種類を負荷した。各被験者の60%  $\dot{V}O_{2max}$  相当の走行スピードと漸増負荷条件を表1に示した。

## 3. 測定項目

測定項目は、走行前後の体重、心拍数、酸素摂取量、直腸温、血清電解質である。

体重は最小目盛5gの人体用精密台秤(神戸衡機株式会社製)を用いて、走行前と後に全裸で測定した。心拍数は胸部双極誘導による心電図を実験中連続記録して求めた。酸素摂取量は、ダグラスバック法により走行18~19分、43~44分の各1分間ずつと最大走行時に採気し、ショランダー微量ガス分析器によって呼気ガスを分析して求めた。直腸温及び皮膚温はサーミスタ温度計(宝工業、サーミステータ集録装置K700)によって連続記録した。皮膚温は胸部、上腕部、下腿部の3点を測定し、平均皮膚温を算出した。血清電解質では、Na及びKは炎光光度法により、Clは電量滴定法によって測定した。採血は、運動前の安静時、60%  $\dot{V}O_{2max}$  走行の20分終了後の安静時及び最大走行後の安静時の3回にわたって正肘静脈より行った。

## III 結果

### 1. 体重減少

表2は各実験における体重減少量、走行前の体重に対する体重減少率及び発汗量を示したものである。飲料摂取条件での体重減少では、走行前と後の体重差に摂取した飲料の重量を加えて算出した。また、ここでの発汗量とは、呼吸器からの水分損失量を無視し、体重減少を発汗量とみなして算出したものである。

各実験条件ごとの4被験者の平均値では、体重減少量が1.022~1.075gの範囲であり、体重減少率が1.47~1.55%であり、発汗量にすると651

表2 各実験条件における体重減少

被験者	体重減少量 (g)				体重減少率 (%)				発汗量 (ml/m <sup>2</sup> ,hr)			
	F1	F2	W	NF	F1	F2	W	NF	F1	F2	W	NF
KT	1185	1085	1035	1022	1.46	1.34	1.28	1.26	699	640	610	591
KK	1181	1183	1217	1184	1.61	1.59	1.66	1.59	695	684	703	696
TA	985	1045	1065	1010	1.43	1.51	1.55	1.47	669	696	709	673
SI	950	960	955	870	1.66	1.75	1.67	1.54	689	697	693	645
$\bar{X}$	1075	1068	1068	1022	1.54	1.55	1.54	1.47	688	679	679	651
SD	125	93	110	128	0.11	0.17	0.18	0.15	13	27	46	45

表3 60% $\dot{V}O_2$ max 走行時における心拍数・酸素摂取量及び直腸温

実験条件	被験者	心拍数 (beats/min)		酸素摂取量(ml/kg·min)		直腸温 (°C)	
		0~20分	25~45分	13~14分	43~44分	20分	45分
F1	KT	128	138	21.1	26.0	37.7	38.1
	KK	134	145	25.0	25.7	37.9	38.1
	TA	126	136	27.1	30.3	37.7	38.2
	SI	117	125	33.2	33.3	37.3	37.5
	$\bar{X}$	126	136	26.6	28.8	37.7	38.0
	SD	7	8	4.4	3.2	0.3	00.3
F2	KT	120	135	21.0	25.0	37.8	38.1
	KK	143	150	25.1	26.1	37.6	37.9
	TA	126	138	27.2	27.8	37.9	38.5
	SI	122	127	33.7	33.4	37.3	37.6
	$\bar{X}$	128	137	26.8	28.1	37.7	38.0
	SD	10	10	4.6	3.2	0.3	0.4
W	KT	119	126	20.9	24.0	37.8	38.2
	KK	133	148	22.9	27.1	37.7	38.0
	TA	125	136	28.0	29.9	37.9	38.2
	SI	120	124	32.1	32.6	37.3	37.6
	$\bar{X}$	125	133	26.0	28.4	37.7	38.0
	SD	6	11	4.4	3.2	0.3	0.2
NF	KT	123	128	22.4	22.7	37.8	38.2
	KK	131	144	24.3	28.1	37.7	37.9
	TA	125	131	28.3	27.3	37.9	38.4
	SI	119	126	34.5	34.3	37.3	37.7
	$\bar{X}$	124	132	27.4	28.1	37.7	38.1
	SD	5	8	4.6	4.1	0.3	0.3

~688 ml/m<sup>2</sup>·hr であった。

体重減少量, 体重減少率, 発汗量には, 各実験条件間においていずれも著明な差はみられず, 飲料摂取の効果は認められなかった。

## 2. 60% $\dot{V}O_2$ max 走行

表3は 60%  $\dot{V}O_2$ max 走行時における心拍数, 酸素摂取量, 直腸温を示したものである。

心拍数では, 各実験条件における4被験者の平均値が走行前半で 124~128 beats/min の範囲にあり, 走行後半では 5~10 beats/min 増加し 132~137 beats/min の範囲であった。走行前半・後半ともに実験条件による差はみられなかった。

図2は, 4実験条件下における心拍数の変動を被験者ごとに表わしたものである。被験者ごとにも, 実験条件による心拍数への影響は認められなかった。

体重当りの酸素摂取量では, 4被験者の平均値が走行前半で 26~27 ml/kg·min の範囲であり, 走行後半には心拍数と同様やや増加して 28~29 ml/kg·min の範囲となった。これを最大酸素摂取量に対する%で表わすと, 走行前半で58~60%  $\dot{V}O_2$ max であり, 走行後半では62~64%  $\dot{V}O_2$ max であった。酸素摂取量においても, 実験条件による差は認められず, また各実験条件下ではほぼ同一の運動負荷であったものと判断される。

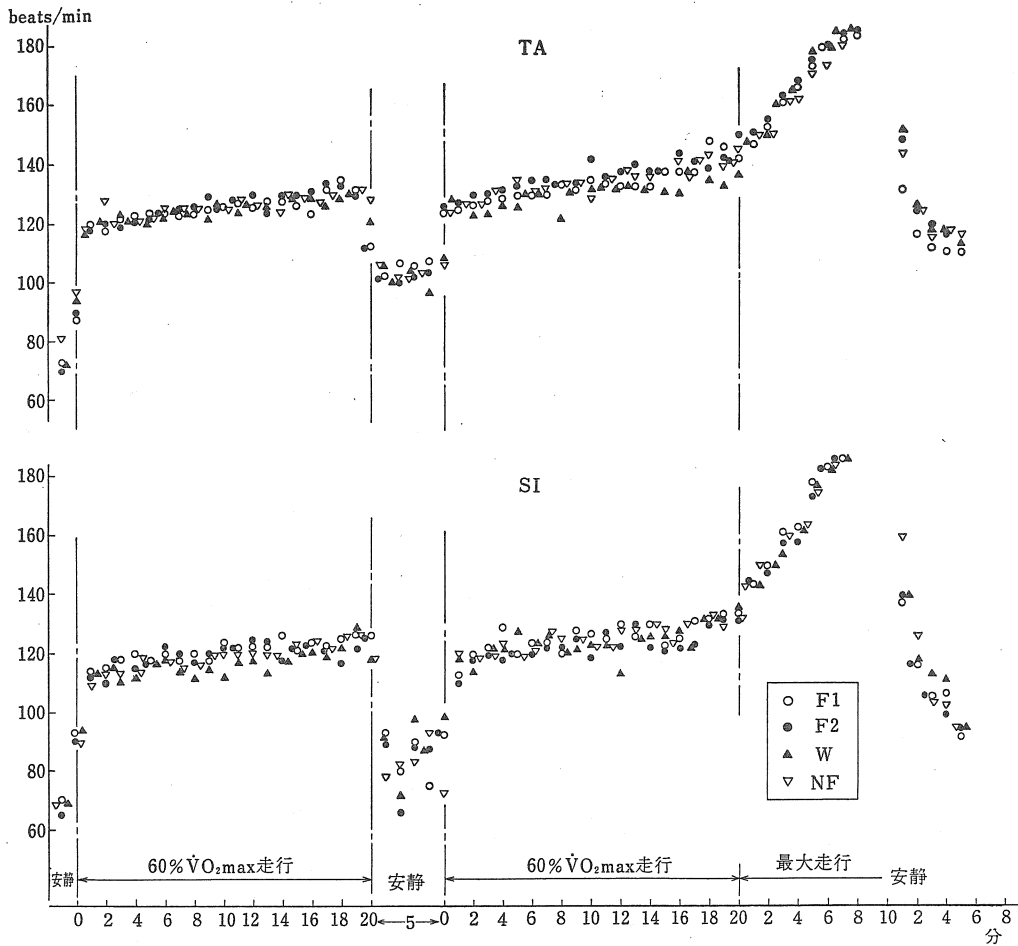


図 2-1 心拍数の変化

走行前半20分時における直腸温の4被験者の平均値は、いずれの実験条件でも $37.7^{\circ}\text{C}$ であり、安静時の値から $1.5\sim 1.8^{\circ}\text{C}$ 上昇した。走行後半20分時では、さらに直腸温は上昇し、4被験者の平均値で $38.0\sim 38.1^{\circ}\text{C}$ の範囲となった。直腸温についても、各実験条件間で差がみられなかった。

図3は、直腸温並びに平均皮膚温の変動を被験者ごとに表わしたものである。

直腸温は、被験者別にみても、4実験条件下においてほぼ同様の変動を示しており、直腸温に対する飲料摂取の効果は認められなかった。

平均皮膚温は、走行開始2~4分で上昇し、前半20分間の走行で $34\sim 35^{\circ}\text{C}$ に上昇し、後半の走行開始時には一過性に下降した後漸次上昇し、後半20分以後の漸増負荷による最大走行時には再びわ

ずかに下降をするといった変動パターンを示している。この傾向は、4実験条件下においていずれも各被験者でほぼ同様にみられる。被験者によっては、皮膚温の絶対値に実験条件による差がみられるものもあるが、4被験者に共通してみられる飲料摂取の影響は皮膚温の変動にも表われていない。

### 3. 最大走行

表4は、表行スピードを漸増し被験者を疲労困ぱいに至るまで走らせたときの走行時間、心拍数、酸素摂取量、直腸温の値を示したものである。

走行時間において、他の被験者に比べKKが5分ほど長い、これは走行スピードの漸増条件が

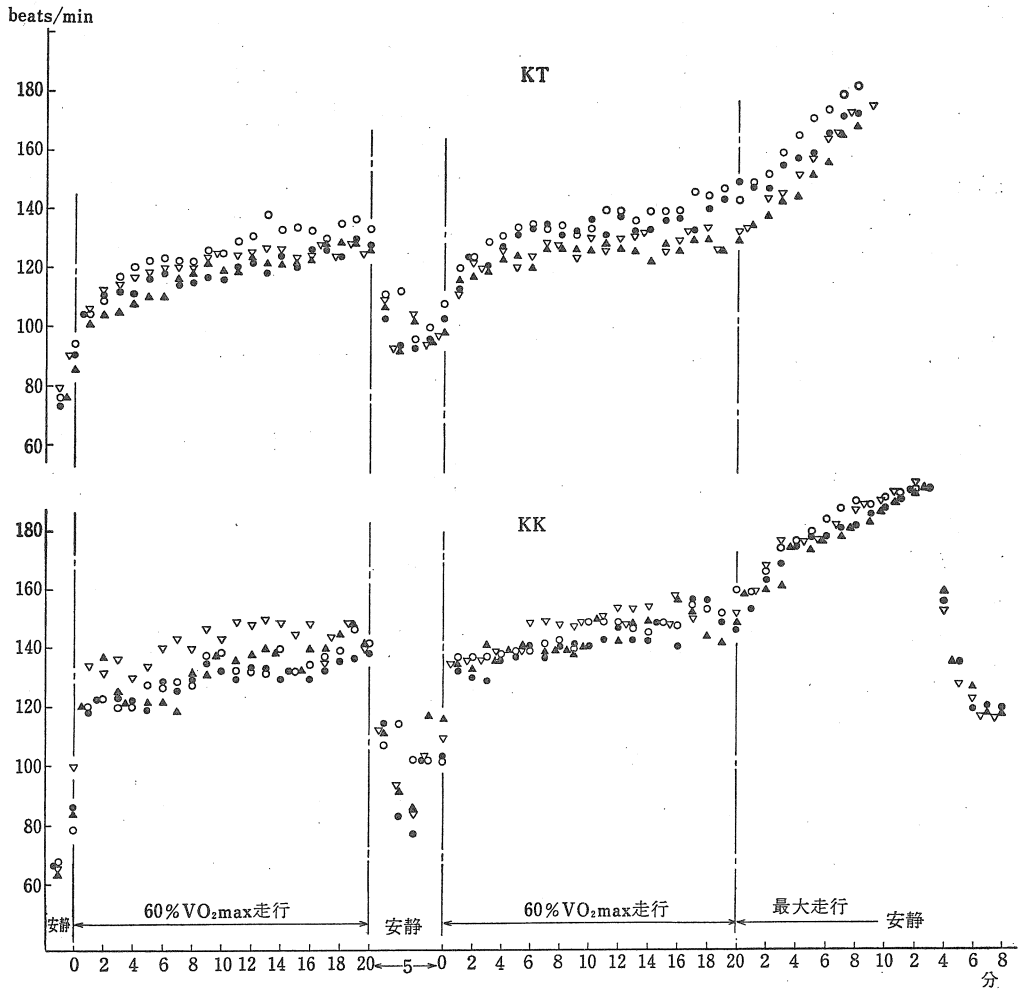


図 2-2 心拍数の変化

低かったためである(表 1)。4 実験条件の違いによる走行時間の差はみられず、飲料摂取による performance への効果も認められなかった。各被験者で、実験条件によって走行時間に30~60秒の差を生ずるが、これは実験条件の違いによる差ではなく、その日の被験者の身体的コンディションによる差であると思われる。

最高心拍数、最大酸素摂取量、最高直腸温について、4 実験条件における 4 被験者の平均値はそれぞれ 184~187 beats/min, 44~46ml/kg·min, 38.6~38.8℃の範囲にあったが、いずれも実験条件間で差はみられなかった。

#### 4. 血清電解質

表 5 は、運動前、運動途中及び運動直後の血清 Na, Cl, K を示したものである。いずれも運動によって上昇しているが、飲料摂取による差は認められなかった。

### IV 考 察

脱水が体重の 2%以上に及ぶと、循環系への負担が増大し、身体作業能が減退する<sup>2),9)</sup>。このような状態では、血漿量は減少しており、運動時の一回拍出量は減少し、分時拍出量を維持するため心拍数が増大する。また、筋温・直腸温が上昇するとともに皮膚温は低下する<sup>2)</sup>。脱水状態にあっ

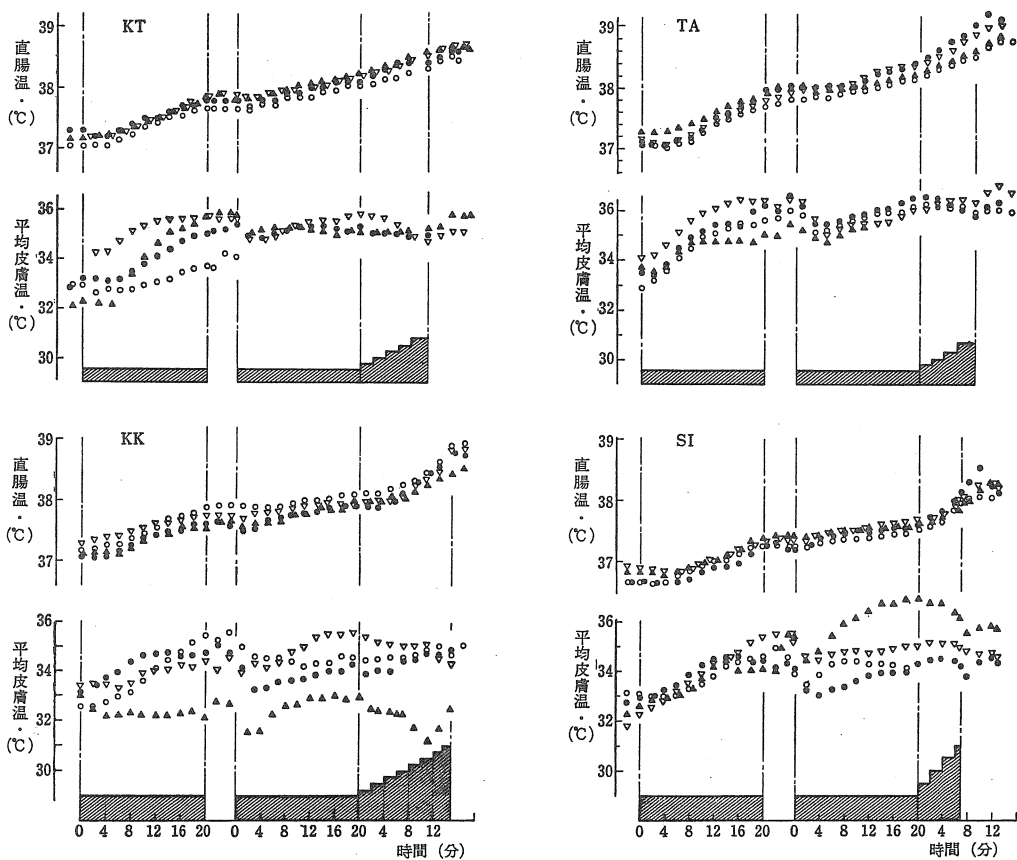


図3 直腸温及び平均皮膚温の変化  
(プロットの印は図2と同様)

ては、皮膚及び筋への交感神経刺激が亢進し、皮膚・筋血流が減少していることが示唆される。高温環境下での長時間運動の遂行にとって、心拍出量をいかに多く皮膚と作業筋へ配分できるかという能力に依存すると言える。従って、脱水は運動時の体温調節能並びに作業能を著しく減退させることになる。

強い脱水を伴う状態での運動継続時に、液体を摂取することで直腸温の上昇が抑制され、作業能が向上するという実験結果が報告されている<sup>1),3),4),6)</sup>。

本実験結果では、60%  $\dot{V}O_2\max$  走行時及び最大走行時における直腸温、平均皮膚温について飲料摂取条件とコントロールで顕著な差が認められなかった。また、最大走行時における走行時間及び最大酸素摂取量についても実験条件による差はみられなかった。この他、心拍数、発汗量、血清

電解質のいずれにも差異が認められない。

本実験では通常多くみられるスポーツ活動でのスポーツ飲料の利用を想定し、およそ1.5%の脱水で500mlの飲料摂取という条件を設定した。従来の報告では、1,000~2,000mlあるいは体重減少に相当する量といった多量の液体摂取でその効果を見ており、液体の摂取量において本実験と著しく異なる、また、運動による脱水の程度が本実験では1.5%であり、従来の報告に比べ軽度なものであった。この他、従来の報告では直腸温に液体補給の著明な効果を認めているが、直腸温の応答は比較的緩慢であり、運動開始40~60分で運動強度に見合った水準に達する<sup>8)</sup>。本実験条件では、運動時の直腸温の過渡的状态で飲料摂取の影響をみたことになり、運動時間がさらに延長されれば直腸温に飲料摂取による何んらかの影響が表われたことも考えられる。



表4 最大走行時の走行時間, 心拍数, 酸素摂取量及び直腸温

実験条件	被験者	走行時間	心拍数	酸素摂取量	直腸温
		min	beats/min	ml/kg・min	°C
F1	TK	8.00	183	35.76	38.55
	KK	12.00	197	46.03	38.95
	TA	7.00	183	45.61	38.74
	SI	7.00	186	56.87	38.06
	$\bar{X}$	8.30	187.3	46.07	38.58
	SD	2.04	5.8	7.46	0.38
F2	TK	8.00	174	33.67	38.58
	KK	13.00	198	43.64	38.84
	TA	8.00	186	45.55	39.18
	SI	7.00	186	54.54	38.50
	$\bar{X}$	9.00	186.0	44.35	38.78
	SD	2.21	8.5	7.41	0.38
W	TK	8.00	169	34.52	38.65
	KK	13.00	197	45.15	38.55
	TA	8.00	183	43.97	38.80
	SI	7.00	186	54.31	38.22
	$\bar{X}$	9.00	183.8	44.49	38.56
	SD	2.21	10.0	7.01	0.25
NF	TK	9.00	176	35.26	38.68
	KK	12.00	197	44.85	38.93
	TA	8.00	186	46.22	39.05
	SI	6.55	184	55.52	38.21
	$\bar{X}$	8.53	185.8	45.46	38.72
	SD	2.00	7.5	7.18	0.37

結局, 運動継続時における液体補給の効果は, 液体摂取量, 脱水の程度, 運動の強度と時間などの要因に影響されると考えられる。本実験条件では, これらの要因がいずれもが比較的低い水準にあったため, その効果が明瞭に表われなかったものと推察される。

## V ま と め

健康な成人男子4名を対象に, 室温30°C, 湿度60%の環境下で, 40分間の60%  $\dot{V}O_2$ max 走行と漸増負荷による最大走行を負荷し, 市販のスポーツ飲料2種と水を摂取しその影響を検討した。飲料の摂取量は走行前に200ml, 走行後に300mlとし, 温度を10°Cとした。

心拍数, 酸素摂取量, 直腸温, 平均皮膚温, 血清電解質, 発汗量, 最大走行時の走行時間のいずれにおいても実験条件による差はみられなかった。本実験条件の範囲(-1.5%の体重減少)において500mlの飲料摂取では, 循環系, 体温調節系及び performance に著明な効果は認められないものと判断された。

## 文 献

- 1) Cade, R., G. Spooner, E. Schlein, and M. Pickering, R. Dean. Effect of Fluid, electrolyte, and glucose placement during exercise on performance, body temperature, rate of sweat loss, and compositional changes of tracellular fluid. J. Sports Med. 12: 150-156, 1972.

表5 各実験条件における血清電解質

実験条件	被験者	Na (mEq/l)			Cl (mEq/l)			K (mEq/l)		
		前	中	後	前	中	後	前	中	後
F1	TK	145	149	149	109	112	111	3.8	4.4	4.2
	KK	148	150	157	105	108	112	3.9	4.0	3.8
	TA	146	146	148	107	109	110	3.7	4.1	3.9
	SI	139	147	143	106	107	106	3.9	3.8	4.3
	$\bar{X}$	144.5	148.0	149.3	106.8	109.0	106.8	3.83	4.08	4.05
	SD	3.4	1.6	5.0	1.5	1.9	2.3	0.08	0.22	0.21
F2	TK	147	147	149	107	111	108	3.6	4.2	3.8
	KK	147	148	151	107	109	111	4.0	4.1	3.8
	TA	143	146	150	106	109	109	3.5	4.3	3.9
	SI	140	146	144	106	107	108	3.9	3.7	4.3
	$\bar{X}$	144.3	146.8	148.5	106.5	109.0	109.0	3.75	4.08	3.95
	SD	3.0	0.8	2.7	0.5	1.4	1.2	0.21	0.23	0.21
W	TK	146	146	149	108	112	111	3.6	4.4	4.1
	KK	149	149	149	107	106	106	4.1	4.2	3.6
	TA	145	150	149	108	112	111	3.4	4.2	3.9
	SI	140	144	144	106	106	105	4.0	4.2	3.4
	$\bar{X}$	145.0	147.3	147.8	107.3	109.0	108.3	3.78	4.25	3.75
	SD	3.2	2.4	2.2	0.8	3.0	2.8	0.29	0.09	0.27
NF	TK	146	145	147	105	109	107	3.5	4.0	3.7
	KK	146	150	154	108	108	107	3.8	4.1	3.6
	TA	145	146	148	105	108	108	3.4	4.3	4.1
	SI	142	146	146	104	110	106	4.0	4.4	3.7
	$\bar{X}$	144.8	146.8	148.8	105.5	108.8	107.0	3.68	4.20	3.78
	SD	1.6	1.9	3.1	1.5	0.8	0.7	0.24	0.16	0.19

2) Claremont, A. D., D. L. Costill, W. Fink, and P. Van Handel. Heat tolerance following diuretic induced dehydration. *Med. Sci. Sports.* 8 : 239-243, 1976.

3) Costill, D. L., W. F. Kammer and A. Fisher. Fluid ingestion during distance running. *Arch. Environ. Health.* 21 : 520-525, 1970.

4) Gisolfi, C. V., and J. R. Copping. Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat. *Med. Sci. Sports.* 6 : 108-113, 1974.

5) Maron, M. B. and S. M. Horvath. The marathon : a history and review of the literature. *Med. Sci. Sports.* 10 : 137-150, 1978.

6) 石河利寛, 運動中の水分摂取の是非について, 新体育, 50 : 520-524, 1980.

7) 久野寧, 汗の話, 光生館, 1969.

8) 黒田善雄, 伊藤静夫, 塚越克己, 雨宮輝也, 北嶋久雄, 松井美智子, 運動時における体温の動的様相—運動開始時の深部体温の変化について—. 昭和51年度日本体育協会スポーツ科学研究報告 No. IX, 1976.

9) Saltin, B. Circulatory responses to submaximal and maximal exercise after thermal dehydration. *J. Appl. Physiol.* 19 : 1125-1132, 1964.

10) Wyndham, C. H. and N. B. Strydom. The danger of an inadequate water intake during marathon running. *S. Afr. Med. J.* 43 : 893-896, 1969.



