

昭和57年度 日本体育協会スポーツ科学研究報告

No. V スポーツ活動に即効的効果を期待する
食品に関する研究

財団法人 日本体育協会

スポーツ科学委員会

血液成分の変動ならびに尿中排泄物の観察から、特に、塩類代謝の関係ならびに、その調節機構を考察した（井川班）。

第3班は、運動性高尿酸現象の解明、ならびにこの現象を解消する方途を知るための観察実験をおこなった。12分間全力走をおこなった場合の回復過程における血液成分値ならびに尿中排泄の観察から、尿酸代謝について考察し、また、高尿酸現象を解消する各種水溶液の効果についても考察した（伊藤班）。

高温環境下に、30分走、10分休息、30分走という経過について、前半の30分走終了後に水溶液を投与すると、後半の30分走における心拍数の上昇、直腸温の上昇が抑えられ、また、酸素摂取量（% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ）も小さく、血液の濃縮が抑制される傾向も観察された。発汗量は多少多くなるが、主観的な運動強度も軽い傾向が観察された。一方、水溶液摂取後の運動中ならびに回復期の血液成分の変動は比較的少なかった。このように、運動時にに対するスポーツドリンク摂取の即効的な効果は、成分として含まれている水分ならびに糖類による一過性のものであると考えられる。このことは、エネルギー供給ならびにそれと関連したインシュリン分泌の動態からも推察することができる。

夏期の直射日光下に、5 km走、30分休息、5 km走という経過について、前半の5 km走終了後に水溶液を投与すると、後半の5 km走における走成績の低下は観察されなかった。また、白血球数の増大も比較的少なく、全血量、血漿容量、血清コーチゾール、血漿アルドステロン、アンギオテンシンIIは、運動終了3時間後には安静時レベルに回復し、血清Na、N値、血清浸透圧は1時間後に安静時レベルに回復していた。このように、運動間にスポーツドリンクを摂取すること

は、運動成績だけでなく、水分代謝、塩類代謝に対しても効果的に作用していることが推察される。

運動性高尿酸現象については、まず、その頻度について観察してみた。大学生の運動部員について高尿酸血漿値を示す者は、男性16.6%，女性0%であり、12分間全力走後の高尿酸現象の発現率は、運動終了2時間後において、男性58.3%，女性18.8%であった。非鍛練者の exhaustive test

（オールアウト走）後の血清尿酸値の低下にもっとも効果的であったのは、スポーツドリンク、次いで、0.5%重曹水、水摂取の順であった。尿中への尿酸排泄量は、0.5%重曹水がもっとも多く、次いで、スポーツドリンク、水摂取の順であった。大学生の運動部員に12分間全力走をさせた場合の、運動後の尿酸クリアランスにもっとも効果的であったのは、0.5%重曹水であり、次いで、スポーツドリンク、ビール、水の順であった。

以上、高温、高湿度の環境下において、持久的な運動を実施した場合に、即効的な効果を期待することができると言われているスポーツドリンク溶液について、その影響を観察した。即効的な効果の期待される等張含塩水溶液は、含有されている栄養素（糖類、無機質、水溶性ビタミンなど）と、これらを溶解している水である。それゆえ、場合によっては、腸管における吸収もよいものと思われる。その結果として、運動時に、発汗によって喪失した水分の補給、運動によって消失したエネルギーならびに栄養素の補給、体温の直接あるいは間接的な調節、精神的なストレスの解消、パフォーマンス低下の防止、さらに、疲労の回復などに、それなりの効果を示すものと思われる。

終わりに、この稿を借りて、このプロジェクトにご協力頂いた研究者ならびに被験者の皆様方に深く謝意を呈します。

I. 高温環境下での運動中のスポーツドリンク摂取が糖、脂質代謝並びにホルモン分泌に及ぼす影響

執筆者 堤 達也

研究協力者 後藤芳雄¹⁾ 喜多尚武¹⁾

青木和江¹⁾

I. はしがき

前の報告書¹⁷⁾において、持久的運動後の10°Cのスポーツドリンク摂取は、水の摂取と同じように、運動中に濃縮され、内部体温を高めた血液の稀釈と冷却を速めるのに役立つことを認めた。更に回復期のスポーツドリンク摂取は、運動中に増高した血糖、血中アラニンの回復期の低下を著しく遅くし、血漿遊離脂肪酸、血漿グリセロールの回復期の低下を速めて、生体組織での脂質代謝を抑制し、糖質代謝を促進することによって運動中の疲労感やアンモニヤの除去、心臓機能の回復等を速めるだろうと示唆する反面、糖質代謝の促進によって、血中乳酸、血中ピルビン酸の回復期の低下を著るしく遅くして、生体組織での酸性化による運動機能の回復を遅くするだろうと示唆している。そして、これ等の変動にはインシュリン分泌の促進が大きく関与し、糖の摂取でもおこるだろうと示唆している。

しかし、運動中には運動筋への血流量の増大、それに伴う内臓諸臓器への血流量の減少が知られ¹⁴⁾、またインシュリンの分泌が抑制されることも知られている¹⁵⁾ので、運動前、運動中のスポーツドリンクの摂取では運動後の摂取と較べて、その吸収機能やインシュリン分泌など大きく異なり、したがって血中基質の変動にも前報の変動と違うことが推測される。そして、糖を摂取した後の運動中の血中基質の変動、例えば血糖の変動は、偽薬摂取後の運動中の変動と有意な違いがない¹¹⁾とか、糖の摂取後240分間の運動では運動初期の

40分まで、血糖は糖を摂取しない運動と較べて有意に増加を示すが、その後の運動中には有意な違いがない⁸⁾とか、或は糖を投与して30分の安静後の約20分でのall out運動では、運動後半の血糖が糖を摂取しない運動と較べて有意に減少する¹⁶⁾とか報告され、一致した知見でないばかりか、前報の回復期のスポーツドリンク摂取後の血糖の変動とも異なる。

また、実際問題として、スポーツドリンクの摂取は運動中或は運動中の休息時に行われ、その摂取が運動能力の向上に有効であるか否か、或は生体にどのような影響を与えるだろうかが重要な課題だと思われる。

そこで、本研究では前報と全く同様の運動負荷、即ち温度32°C、湿度60%の環境下で、60~70% VO₂maxの運動強度での30分運動、10分休憩、30分運動を負荷し、今回は前半の30分運動後にスポーツドリンクを摂取させ、運動中の糖、脂質代謝に関連する血中基質及び血中インシュリンの変動について検討を試みた。

II 実験方法

被検者は4名の健康な男子を用いた(表I-1)。彼等の平均年齢は25.5歳(20~39歳)、身長は167.1cm、体重は58.0kgで、被検者Y.G.を除き、他はいずれも大学生である。各被検者は比較的身体活動の活発な人達で、被検者K.T.は空手部に、H.K.は陸上競技部に所属し、又被検者Y.G.は5回/週×20分のランニングを10年近く行っている。したがって、被検者の最大酸素摂取量は平均55.1±2.3ml/kg/minであり、体力的に可成り優れた被検者である。

被検者は朝食を摂らないで、朝9時に実験室

1) 明治生命厚生事業団体力医学研究所

表 I - 1 被検者の身体特性

被 検 者	年 齢 (歳)	身 長 (cm)	体 重 (kg)	最大酸素摂取量 (ml/kg/min)	呼 吸 商	実験時の走スピード (m/min)
K.T.	22	166.0	57.1	55.2	1.10	160
H.K.	21	170.0	59.7	61.5	1.10	180
Y.G.	39	163.0	59.4	52.4	0.97	160
S.T.	20	169.3	55.8	51.2	1.11	130
平均 値	25.5	167.1	58.0	55.1	1.070	157.5
土標準誤差	±4.5	±1.6	±0.9	±2.3	±0.033	±10.3

表 I - 2 高温環境下における運動負荷時の各群の酸素摂取量、呼吸商及び体重の変動

被 検 者	無 負 荷 (N群)						水 負 荷 (W群)						ス ポーツドリン ク負荷(S群)						体 重の低下 (kg)			
	酸素摂取量			呼 吸 商			酸素摂取量			呼 吸 商			酸素摂取量			呼 吸 商			体 重の低下 (kg)			
	前 半	後 半	前 半	後 半	前 半	後 半	前 半	後 半	前 半	後 半	前 半	後 半	前 半	後 半	前 半	後 半	前 半	後 半				
K.T.	(ml/kg/min) (%VO _{2max})	34.8 63	36.2 66	0.89 0.88	0.88 0.88	-1.470	35.5 64	37.7 68	0.88 0.87	0.87 0.87	-1.233	36.7 66	37.3 68	0.88 0.91	0.91 -1.145	36.7 66	37.3 68	0.88 0.91	0.91 -1.145			
H.K.	(ml/kg/min) (%VO _{2max})	33.6 55	34.3 56	0.91 0.91	0.91 0.91	-1.550	35.3 57	36.0 59	0.84 0.87	0.87 0.87	-1.335	34.5 56	34.9 57	0.87 0.88	0.88 -1.200	34.5 56	34.9 57	0.87 0.88	0.88 -1.200			
Y.G.	(ml/kg/min) (%VO _{2max})	30.1 62	30.9 64	0.83 0.81	0.81 0.81	-1.600	29.2 60	28.9 60	0.86 0.83	0.83 0.83	-1.335	29.6 61	29.7 61	0.83 0.86	0.86 -1.225	29.6 61	29.7 61	0.83 0.86	0.86 -1.225			
S.T.	(ml/kg/min) (%VO _{2max})	31.8 62	33.0 64	0.89 0.89	0.89 0.89	-1.550	31.4 61	33.5 65	0.87 0.83	0.83 0.83	-1.125	30.6 60	30.1 59	0.86 0.85	0.85 -1.070	30.6 60	30.1 59	0.86 0.85	0.85 -1.070			
平均 値	(ml/kg/min) (%VO _{2max})	32.5±1.0 60.5±1.8	33.6±1.1 62.5±2.2	0.88±0.01 0.87±0.02	0.87±0.02 0.87±0.02	-1.5425 ±0.0268	32.8±1.5 60.5±1.4	34.0±1.9 63.0±2.1	0.86±0.008 0.85±0.01	0.85±0.01 0.85±0.01	-1.2575 ±0.0500	32.8±1.6 60.7±2.1	33.0±1.8 61.2±2.4	0.86±0.01 0.87±0.01	0.87±0.01 0.87±0.01	33.0±1.8 61.2±2.4	0.86±0.01 0.87±0.01	0.87±0.01 0.87±0.01	0.87±0.01 0.87±0.01	-1.1500 ±0.0343		

(日本協スポーツ科学研究所)に来所し、約30分間の室温安静後、9時30分に温度32°C、湿度60%に設定した恒温室に入室し、更に50分間の安静椅子後に運動を開始した。

運動はトレッドミルを用い(角度水平)、負荷時間は30分間運動後、10分間の休息をはさんで再び30分間の合計60分間の長時間運動を実施した。運動の負荷強度はトレッドミルのスピードで平均157.5±10.3 m/min (130~180 m/min)であり、被検者にとっては約61.0% VO_{2max} (60.5~63.0% VO_{2max})に相当した(表 I - 1, 2)。

運動中の飲料摂取実験には、前回と同様に、スポーツドリンクとして“ゲータレード”粉末30gを水500 mlに溶かしたものを使い、①スポーツドリンクを摂取した時(S群)、②水だけを摂取した時(W群)、及び③無摂取時(N群)の3つの実験を同一被検者にそれぞれ行った。水及びスポーツドリンクの摂取は、今回は前半30分運動終了直後の第3回目の採血を済ませた後、直ちに10°Cに冷却した500 mlの水及び“ゲータレード”を

それぞれ出来るだけ早く飲むように指示した。

採血は32°Cの恒温室に約30分の椅子安静後、上腕静脈にカテーテルを挿入して固定し、更に15分の安静後、運動前の安静時の採血を行った。その後の運動中の採血は運動開始から10分後、前半の30分運動終了直後、10分休息後の後半運動開始前、後半運動開始から10分後、20分後、運動終了直後の計6回とした。そして回復期の採血は、回復期の10分時、30分時の2回で、安静時も含めて総計9回の採血を行い、1回の採血量は約6 mlとした(図 I - 1)。

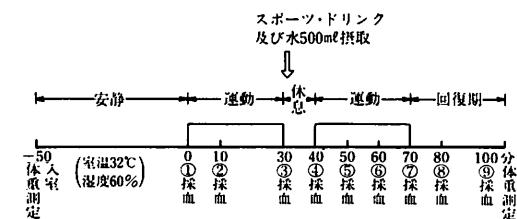


図 I - 1 実験手順

血液はヘパリン試験管に採り、ヘマトクリット値を測定した後、血中乳酸測定の為、直ちに、冷却した6%過塩素酸1.0ml中に0.5mlの全血を入れ除蛋白を行い、その上澄を凍結し分析まで保存した。血中アラニン、血中ピルビン酸の測定には、直ちに0.5mlの全血を冷却した3M過塩素酸0.5mlと混和し、除蛋白後、上澄液を分析まで-80°Cに凍結保存した。残りの血液は直ちに遠沈分離し、血漿は血糖、遊離脂肪酸、グリセロール、インシュリンの分析に供した。

血糖の定量はワシントンバイオケミカル社の酵素法のキットを、血漿遊離脂肪酸は和光のNEFA-C-Test wakoキットを、血漿グリセロール、血中乳酸はベーリングガーマンハイム社のキットのいずれも酵素法で、実験日の当日に分析を行った。血中アラニン及び血中ピルビン酸の定量にはKarl等⁵⁾の酵素法による微量螢光法を用いた。血漿インシュリンはダイナポット社のキットを用いRIAにより測定した。いずれの試料も少くとも2~3回の測定を実施した。

酸素摂取量を測定するために各運動終了期の2分間、呼気をダグラスバッグに採取し、呼気ガス分析器(三栄測器)でCO₂及びO₂を測定した。又心拍数を胸部双極誘導によるECGのR波から、又直腸温をそれぞれ安静時、運動時、及び回復時を通して記録した。

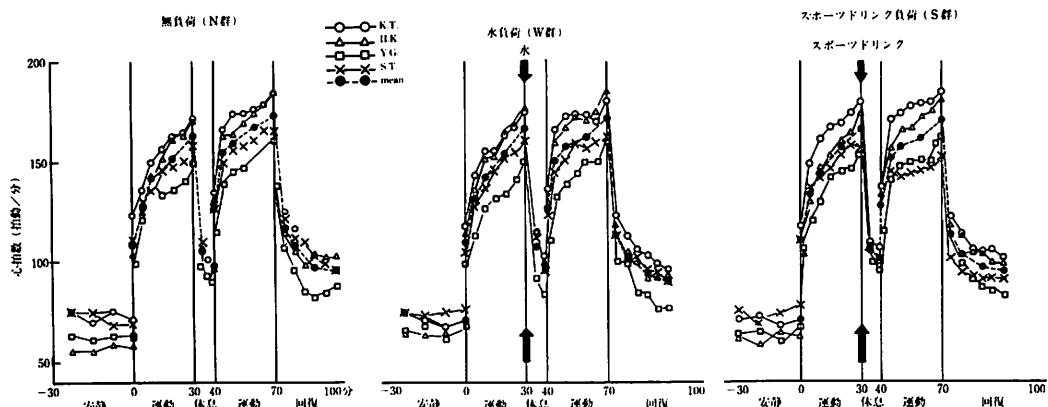
III 結 果

酸素摂取量(前、後半の30分運動終了前の2分

間値)、(運動強度)は、前半の30分運動時でN群、W群、S群夫々32.5±1.0ml/kg/min(60.5%VO₂max), 32.8±1.5ml/kg/min(60.5%VO₂max), 32.8±1.6ml/kg/min(60.7%VO₂max)と略々同じである。後半の30分運動時ではN群で33.6±1.1ml/kg/min(62.5%VO₂max), 10分の休息の初めに水を摂ったW群で34.0±1.9ml/kg/min(63.0%VO₂max)と略々同じく前半より3~4%大きいが、スポーツドリンクを摂ったS群では33.0±1.8ml/kg/min(61.2%VO₂max)と前半と殆んど変りなく、1%に達しない大きさである。ただし、このS群の後半の酸素摂取量とN群、W群との間に統計的な有意差はない(表I-2)。

呼吸商も前半の運動時でN群、W群、S群夫々0.88±0.01, 0.86±0.008, 0.86±0.01と略々同じであり、また後半の運動時でもN群、W群、S群夫々0.87±0.02, 0.85±0.01, 0.87±0.01と略々同じである。しかし、統計的に有意でないが、N群の呼吸商はW群、S群に較べて高い傾向を示し、また、前半の運動と後半とを較べると、N群、W群での後半の呼吸商は低下の傾向を示すのに反して、S群では増高の傾向を示す(表I-2)。

図I-2にN群、W群、S群の前、後半の運動時心拍数の変動を示す。前半の30分運動終了時的心拍数はN群で163.5±4.4拍動/分、W群で166.5±5.7拍動/分、S群で166.0±6.7拍動/分を示すが、N群の運動前値が他のW群、S群よ



図I-2 高温環境下における運動負荷時の各群の心拍数の変動

り 5 拍動程低いことを考えると、運動時心拍数の増加は 3 群で略々同じである。後半の 30 分運動終了時の心拍数も N 群、W 群、S 群夫々 173.3 ± 6.0 拍動/分、 171.3 ± 6.0 拍動/分、 170.8 ± 7.6 拍動/分を示し、略々同じである。しかし、前半の運動と後半とを較べると、N 群では後半で前半より約 10 拍動(約 6 %) 程増高し、前報^[17]での値と一致するが、W 群、S 群では後半僅かに高いが前半と略々同じである。したがって、前に述べた N 群の運動前値が低いことを考慮すると、N 群より W 群、S 群での後半で運動時心拍数の增高が抑制されたことを示す。そして主観的な運動の強度は N 群の後半 30 分の運動で一番強く、W 群、S 群の順に弱くなり、全被検者共に S 群が一番疲労が少なかったと述べている。

高温と運動を含めての約 150 分間の体重の減少は、N 群で 1.5425 ± 0.0260 kg、W 群で 1.2775 ± 0.0500 kg、S 群で 1.1500 ± 0.0343 kg を示し、N 群の体重の減少は W 群、S 群より有意に大きく、また W 群の体重の減少は S 群より大きい傾向を示す。体重の減少からみた発汗量は W 群、S 群で 500ml の水分の摂取があるので、500g を加えて

W 群、S 群で夫々 1.7575 kg、 1.6500 kg となり、発汗量は W 群、S 群で N 群より有意に大きく、W 群で S 群より大きい傾向を示す。しかし、その大きさは、N 群に較べて夫々 215 g、 107.5 g の増加に過ぎないので、摂取した 500ml の水分の体内貯留量は S 群で W 群より大きい(表 I - 2)。

図 I - 3 に前半 30 分運動の直腸温の変動(上図)とその運動終了時の直腸温からの後半 30 分運動、回復期の直腸温の変動(下図)を示す。前半 30 分運動終了時の直腸温は N 群で 38.170 ± 0.075 °C、W 群で 38.260 ± 0.160 °C、S 群で 38.263 ± 0.072 °C に達し、3 群の間で有意な違いはない。後半 30 分運動時の前半終了時に対する増加は N 群で W 群、S 群より急であり、運動終了時で 0.728 ± 0.087 °C、W 群で 0.473 ± 0.113 °C、S 群で 0.413 ± 0.088 °C の増加を示し、N 群に較べて W 群、S 群の直腸温の増加は有意に小さい。W 群と S 群との増加には有意な違いを示さないが、後半の運動前(水分摂取後 10 分時)では S 群の直腸温は W 群より低い傾向を示し、したがって後半の運動の初期で S 群が W 群より低く推移した。回復期の低下では、N 群より W 群、S 群の低下が

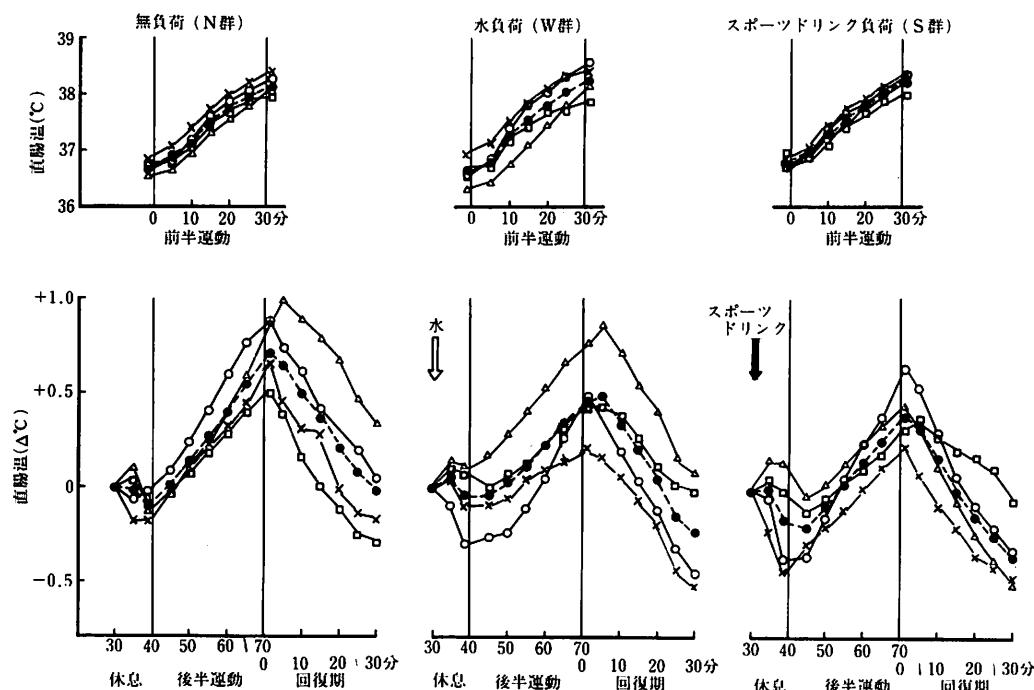


図 I - 3 高温環境下における運動時及び回復期の各群の直腸温の変動

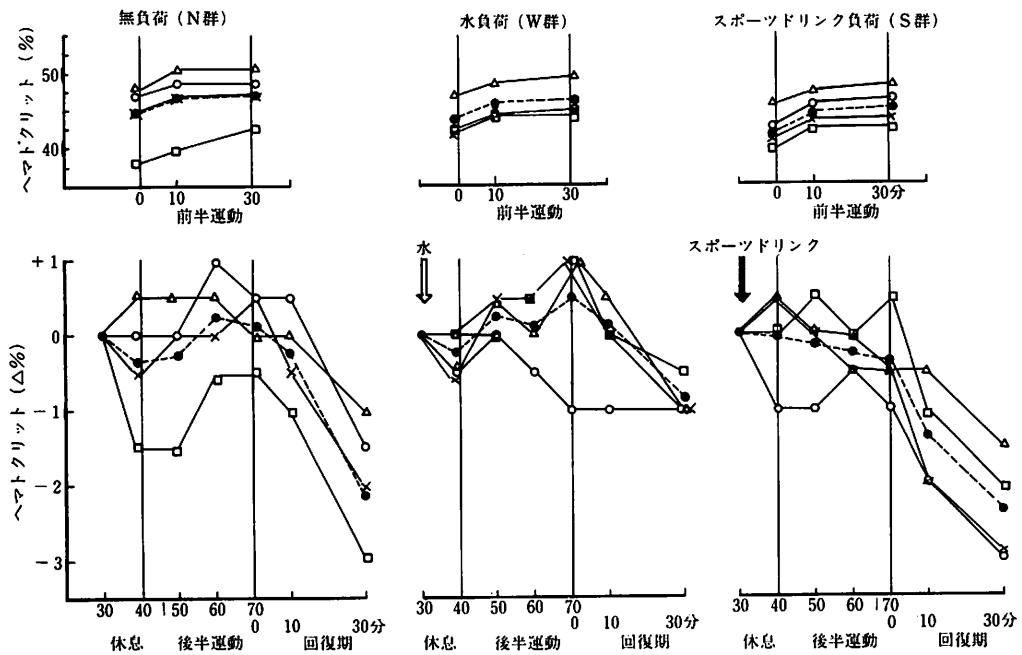


図 I - 4 高温環境下における運動時及び回復期の各群のヘマトクリット値の変動

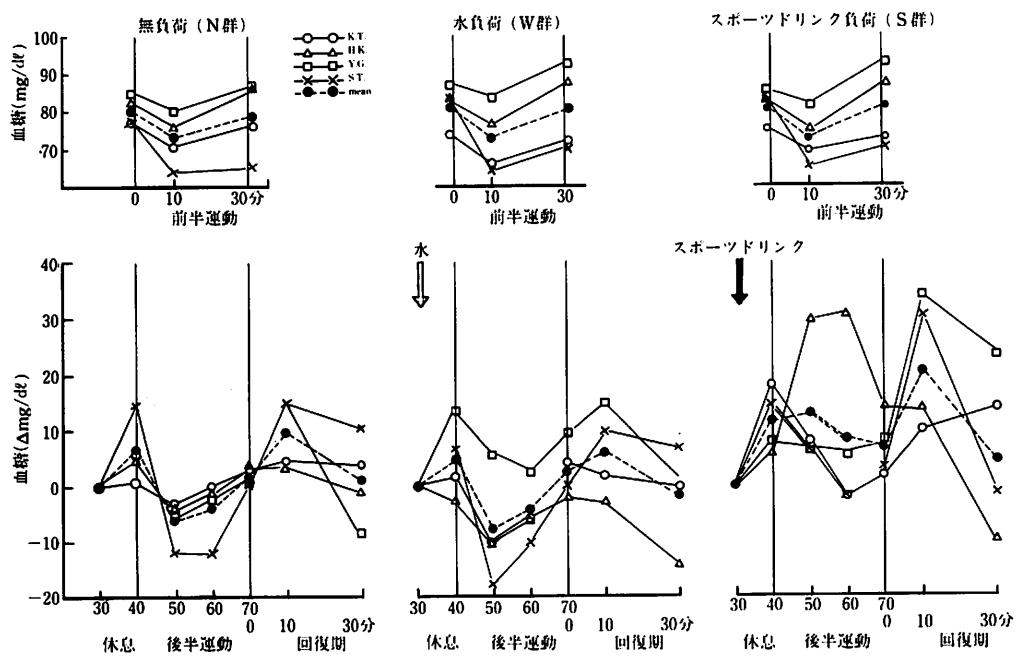


図 I - 5 高温環境下における運動時及び回復期の各群の血糖の変動

有意に大きく、また W 群と S 群との低下では S 群の低下が大きい傾向を示す。

図 I-4 に血液濃縮の指標と考えられるヘマトクリット値の変動を、前半 30 分運動（上図）と後半 30 分運動（下図）とに分けて示す。前半 30 分運動終了時では増加し、N 群で 47.9%，W 群で 46.8%，S 群で 46.1% を示し、N 群で一番高く、S 群で低いが、安静値よりの増加は 3 群共約 2 % の増加で略々同じである。前半 30 分運動終了時にに対する後半 30 分運動及び回復期の変動は、運動終了時の N 群で 0.13%，W 群で 0.50% と増高を示すのに、S 群では 0.38% 低下を示し、回復期の低下も W 群に較べて著るしい。

図 I-5 に血糖の変動を前半 30 分運動（上図）とその運動終了時に対する後半 30 分運動、回復期の変動（下図）として示す。前半 30 分運動では運動初期に低下して、その後上昇し、運動終了時の N 群で $88.8 \pm 5.1 \text{ mg/dl}$ ，W 群で $90.8 \pm 5.7 \text{ mg/dl}$ ，S 群で $91.3 \pm 5.8 \text{ mg/dl}$ を示し、略々同じである。後半の 30 分運動前（W 群、S 群での水分摂取 10 分後）の血糖は前半 30 分運動終了時より更に増加を示し、その増加は N 群で $6.8 \pm 3.0 \text{ mg/dl}$ 、

W 群で $4.8 \pm 3.4 \text{ mg/dl}$ と略々同じであるが、S 群では $11.8 \pm 2.8 \text{ mg/dl}$ の増加で、N 群、W 群より有意な増高を示す。その後の運動で N 群、W 群では前半の変動と同じように、運動初期に低下して、その後上昇し、回復期 10 分時で更に上昇した後、低下を示し、その変動パターンは略々同じであるが、S 群では運動初期に低下することなく、その後僅かに低下し、回復期 10 分時で急上昇した後、低下を示し、N 群、W 群と異なる変動パターンを示す。そして、この変動パターンには 1 例（△）だけ運動初期に急上昇して、影響があるので、この 1 例を除いてみても、S 群の運動初期の低下は僅かで N 群、W 群より有意に高い値を維持している。しかし、運動終了時では N 群で $2.5 \pm 0.6 \text{ mg/dl}$ ，W 群で $3.0 \pm 2.6 \text{ mg/dl}$ ，S 群で $6.8 \pm 2.8 \text{ mg/dl}$ (4 例) と増加し、3 群間に有意な違いはなかった。また回復期 10 分時の増高は N 群で $9.8 \pm 3.0 \text{ mg/dl}$ ，W 群で $6.0 \pm 4.0 \text{ mg/dl}$ と略々同じであるが、S 群では $20.3 \pm 8.2 \text{ mg/dl}$ と増高し、N 群、W 群より有意に高い。

図 I-6 に血漿インシュリンの変動を血糖と同じようにして示す。インシュリンの変動パターン

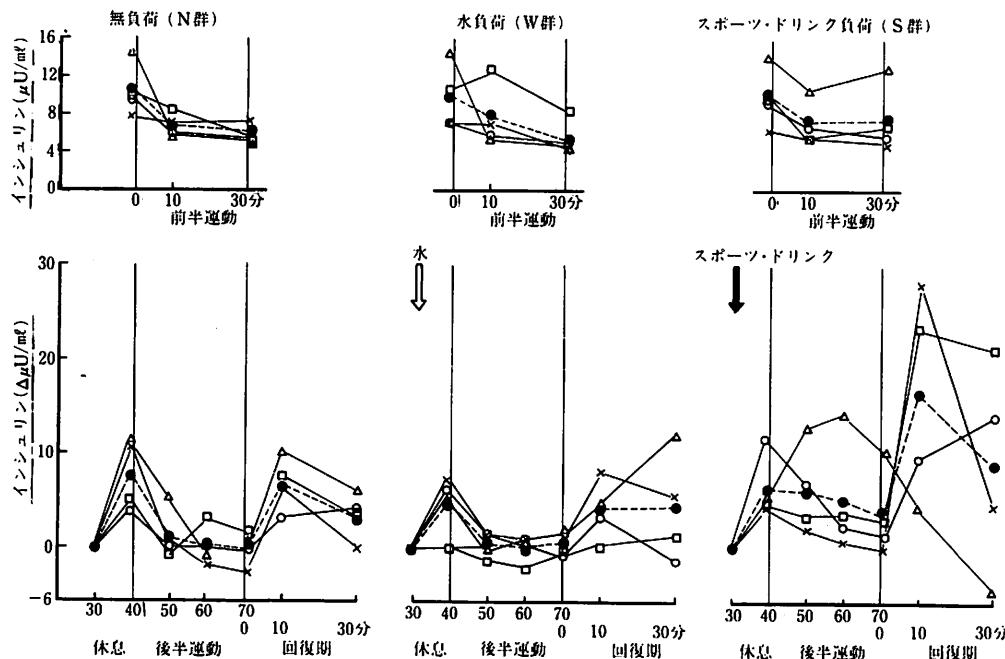


図 I-6 高温環境下における運動時及び回復期の各群の血漿インシュリンの変動

は被検者個々においても血糖の変動パターンに近似する。前半 30 分運動では運動初期に低下し、その後終了まで低下したまま、終了時の N 群で $6.08 \pm 0.43 \mu\text{U}/\text{ml}$, W 群で $5.65 \pm 0.82 \mu\text{U}/\text{ml}$, S 群で $7.68 \pm 1.80 \mu\text{U}/\text{ml}$ を示すが、3 群間に有意な違いはない。後半 30 分運動前では血糖と同じように明らかな増加を示し、その増加は N 群で $7.6 \pm 1.9 \mu\text{U}/\text{ml}$, W 群で $4.6 \pm 1.6 \mu\text{U}/\text{ml}$, S 群で $6.4 \pm 1.7 \mu\text{U}/\text{ml}$ を示すが、これ等もまた 3 群間に有意な違いはない。その後の運動で、N 群、W 群では前半の変動と同じように、運動初期に低下し、運動終了まで低下したまま推移し、回復期 10 分時で明らかな増加をした後、低下を示し、N 群と W 群との間には各時点での有意な違いを認めなかった。しかし、S 群では血糖と同じように、運動初期で低下することなく、その後僅かに低下し、回復期 10 分時で急上昇した後低下を示し、運動初期、回復 10 分時では N 群、W 群より有意に高い値を示す。そして、血糖が後半の運動初期に急上昇した 1 例（△）はインシュリンでも同じように運動初期に急上昇するので、この 1 例を除いても、S 群の初期の低下は僅かで、N 群、W 群

より有意に高い。しかし、運動終了時では 3 群間に有意な違いはない。

図 I-7 に血中乳酸の変動を同じようにして示す。前半 30 分運動終了時では N 群で $2.46 \pm 0.51 \text{ mmol/l}$, S 群で $2.35 \pm 0.36 \text{ mmol/l}$, W 群で $2.32 \pm 0.43 \text{ mmol/l}$ を示し略々同じ増高である。後半 30 分の運動前では低下するが、その低下もまた 3 群で同じである。その後の運動では N 群、W 群で順次上昇し、運動終了時で前半より夫々 $0.30 \pm 0.15 \text{ mmol/l}$, $0.21 \pm 0.18 \text{ mmol/l}$ の増高を示し、略々同じであり、回復期でも同じように低下する。しかし、S 群では運動の中止から終了時までの上昇は N 群、W 群より小さく、運動終了時で前半より $-0.18 \pm 0.18 \text{ mmol/l}$ の低下を示し、また回復期での低下は N 群、W 群に較べて遅い。

図 I-8 に血中ピルビン酸の変動を血中乳酸と同じようにして示す。前半 30 分の運動では血中乳酸と同じように順次増加し、終了時の N 群で $93.3 \pm 16.8 \mu\text{mol/l}$, W 群で $98.0 \pm 14.2 \mu\text{mol/l}$, S 群で $96.3 \pm 13.8 \mu\text{mol/l}$ を示し、3 群間で有意な違いはない。後半 30 分の運動前では血中乳酸のように低下することはないが、N 群、W 群ではその後の運動

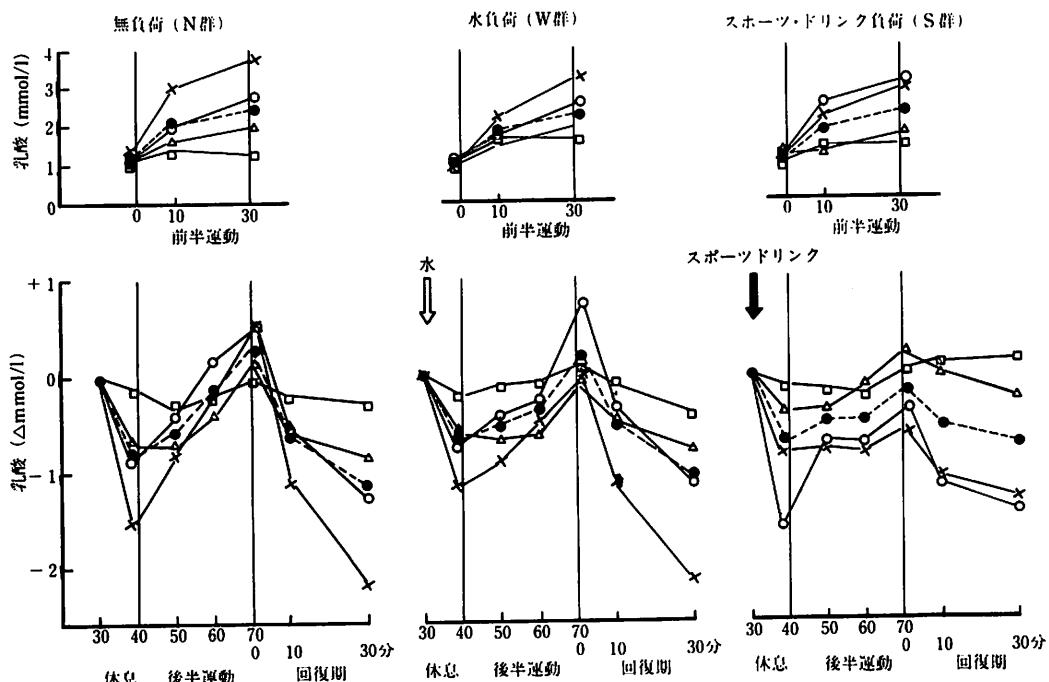


図 I-7 高温環境下における運動時及び回復期の各群の血中乳酸の変化

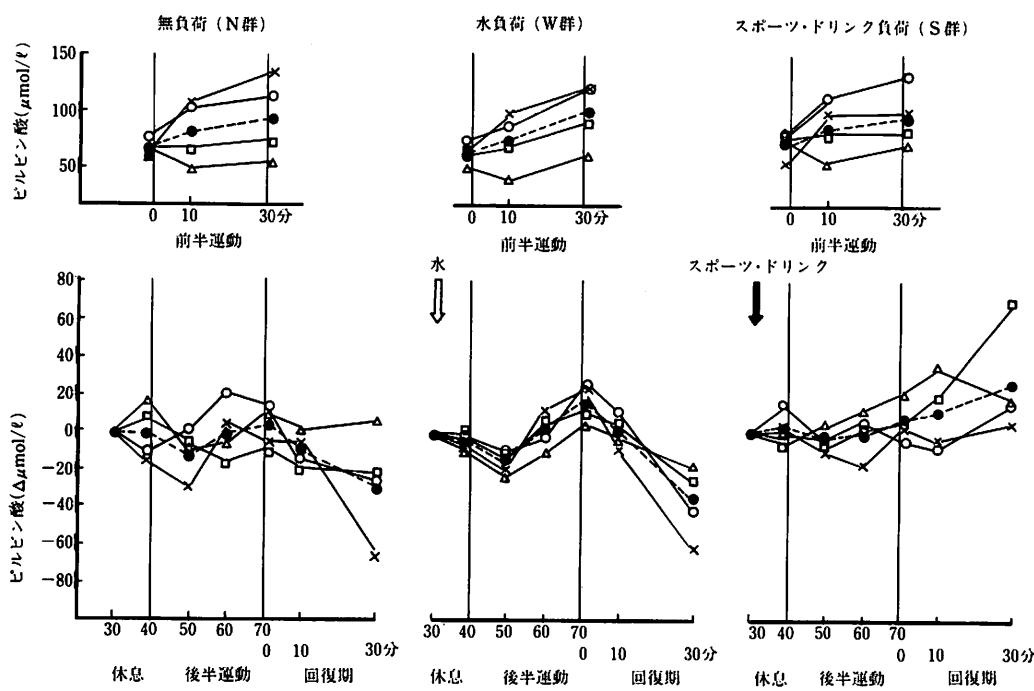


図 I - 8 高温環境下における運動時及び回復期の各群のピルビン酸の変動

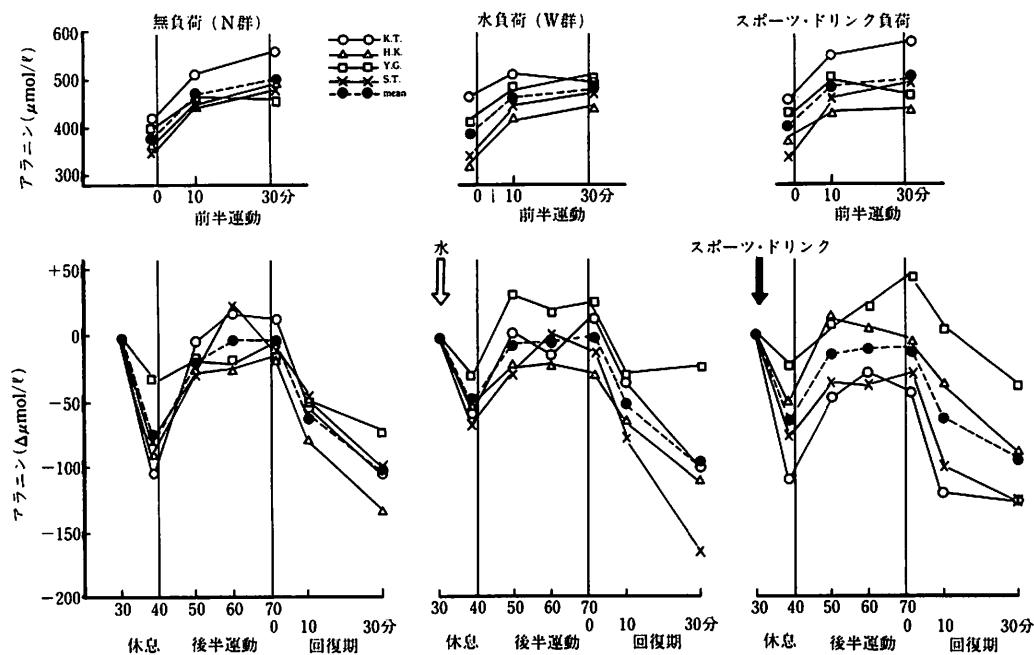


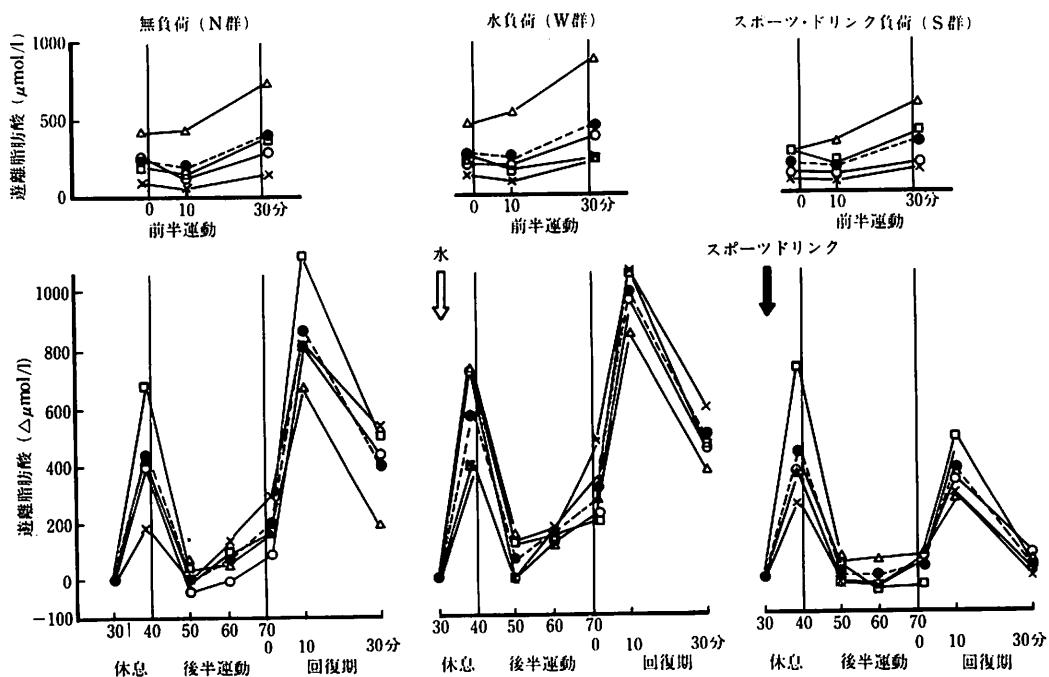
図 I - 9 高温環境下における運動時及び回復期の各群の血中アラニンの変動

初期に低下を示した後、順次上昇し、運動終了時で前半より夫々 $3.0 \pm 5.3 \mu\text{mol/l}$, $17.0 \pm 4.8 \mu\text{mol/l}$ の増高を示し、W群が大きい傾向を示すが、回復期では順次低下して略々同じである。しかしS群ではW群に較べて運動初期の低下も小さく、またその後の上昇も僅かで、終了時で $6.8 \pm 5.5 \mu\text{mol/l}$ の増高にすぎず、その増高はW群より小さい。また回復期では増高を示し、N群、W群の変動とは大きな違いを示す。

図I-9に血中アラニンの変動を血中乳酸と同じようにして示す。前半30分の運動では運動初期に急上昇し、その後終了時まで僅かに増加し、運動終了時のN群で $498.3 \pm 22.9 \mu\text{mol/l}$, W群で $484.8 \pm 13.4 \mu\text{mol/l}$, S群で $499.0 \pm 31.9 \mu\text{mol/l}$ を示し、3群の間に有意な違いはない。後半30分の運動前では血中乳酸と同じように低下し、その後の運動では前半と同じように運動初期に急上昇し、その後終了まで僅かに増加し、N群、W群、S群共に前半より夫々 $-4.8 \pm 6.4 \mu\text{mol/l}$, $-0.3 \pm 12.1 \mu\text{mol/l}$, $-7.5 \pm 20.0 \mu\text{mol/l}$ を示し、3群共前半と略々同じである。回復期には順次低下し、その低下も3群の間に違いはない。

図I-10に血漿遊離脂肪酸の変動を同じようにして示す。前半30分の運動では運動初期僅かに低下し、その後上昇し、終了時のN群で $382.5 \pm 130.8 \mu\text{mol/l}$, W群で $440.9 \pm 152.6 \mu\text{mol/l}$, S群で $329.6 \pm 100.7 \mu\text{mol/l}$ を示し、3群の間で有意な違いはないが、W群で幾分高い傾向を示す。後半30分運動前では更に急上昇するが、前半運動終了時と同じようにW群で幾分高い傾向を示すけれども、3群間に有意な違いを認めない。その後の運動では3群共に運動の初期急速に低下し、その後N群、W群では順次増加し、運動終了時で夫々 $167.6 \pm 44.0 \mu\text{mol/l}$, $264.2 \pm 36.7 \mu\text{mol/l}$ 増高し、回復後10分時で更に急上昇して夫々 $865.0 \pm 100.9 \mu\text{mol/l}$, $987.7 \pm 53.0 \mu\text{mol/l}$ と増高し、何れの増高もN群よりW群で大きい傾向を示す。しかしS群では運動初期の急低下後で殆んど増高することがなく推移し、運動終了時で $35.5 \pm 23.5 \mu\text{mol/l}$ の増高、回復期10分時で更に上昇して $371.6 \pm 49.1 \mu\text{mol/l}$ の増高を示すが、何れの増高もN群、W群より有意に小さい。

図I-11に血漿グリセロールの変動を同じようにして示す。前半30分の運動では運動初期僅かに



図I-10 高温環境下における運動時及び回復期の各群の血漿遊離脂肪酸の変動

に上昇し、その後、大きく上昇し、N群で $129.8 \pm 26.6 \mu\text{mol/l}$ 、W群で $167.7 \pm 14.1 \mu\text{mol/l}$ 、S群で $134.1 \pm 23.9 \mu\text{mol/l}$ を示し、血漿遊離脂肪酸と同じようにW群で幾分大きい増高を示すが、3群間で有意な違いはない。後半30分の運動前では前半終了時のままか、幾分低下を示し、その後のN群、W群の運動初期では運動前のままか、幾分上昇し、その後急上昇して、運動終了時では夫々

$79.9 \pm 15.0 \mu\text{mol/l}$ 、 $113.3 \pm 21.9 \mu\text{mol/l}$ の増高を示し、前半の運動時と同じようにN群よりW群で大きい増高を示す。回復期では順次低下し、N群、W群に違いはない。しかし、S群では運動初期僅かな低下を示した後、順次上昇し、終了時で $10.0 \pm 2.7 \mu\text{mol/l}$ の増加に過ぎず、その増高はN群、W群より有意に小さい。回復期では順次低下し、N群、W群より低い。

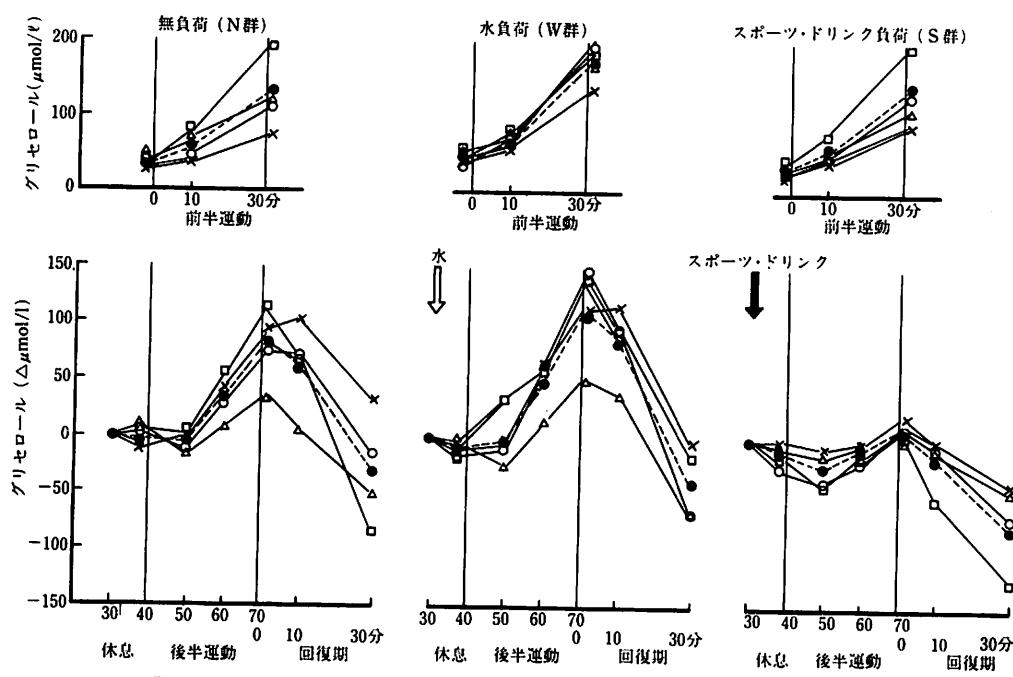


図 I-11 高温環境下における運動時及び回復期の各群の血漿グリセロールの変動

IV. 考 察

スポーツドリンク摂取(S群)後の運動での酸素摂取量は、水の摂取(W群)後や水を摂取しない時(N群)の運動より少い傾向を示し、また後半30分の運動時心拍数はS群、W群でN群よりその増加が抑制される傾向を認めると共に、主観的な運動強度でもN群が一番強く、W群、S群と順次弱くなっている。本研究では運動負荷としてトレッドミル走行であり、そのスピードの微調整は手動で行ったので、N群、W群、S群の間で精确には運動強度が全く同じであるとは云い難く、また3群の運動負荷はN群、W群、S群の順に日々連続か或は一日おきに行ったので、N群より

W群、S群では練習効果も考えられ、更に被検者個々の日々の体調も異なることも考えられる。したがって、このような僅かな実験条件の違いが、3群の間の運動時心拍数や主観的な運動強度の僅かな違いをもたらすことが考えられる。しかし、前報¹⁷⁾での後半30分の運動時心拍数はW群、S群(何れも運動後摂取)でN群と同じように増加の抑制が認められない。そして、Moroff等¹⁰⁾、石河⁴⁾は水分摂取後の運動時心拍数の増加は本研究と同じく抑制されることを示し、堀田等³⁾は45分間の2回走行時の休息中に水分を摂取した9名が完走し、水分を摂取しない場合には、9名中3

名が完走出来なかつたと報告している。したがつて、本研究で、W群、S群での運動時心拍数の増加が抑制され、主観的運動強度が弱められたのも10°Cの水、或はスポーツドリンクの摂取によることが考えられる。

体重の減少から推定される発汗量はW群で一番大きく、S群、N群と順次小さくなり、N群と較べてW群、S群で有意に大きいが、その違いは僅かである。前報¹⁷⁾、或は石河⁴⁾は水分を摂ると発汗量は水分を摂らない時と較べて僅かに大きいが有意の差は認められないと報告し、本研究の知見といしさか異なるが、僅かに大きいことに違いはない。そして、本研究でも、W群、S群の発汗量はN群より夫々215g, 107.5gの増加に過ぎないので、投与された500mlの水分の285g, 392.5gは体内に貯留されると考えられる。そして、本研究での血液濃縮の指標としてのヘマトクリット値はS群の後半の運動で、他の2群が増加するのに反して低下の傾向を示し、また直腸温の後半の運動時での増加はW群、S群で抑制されることを示している。したがつて、摂取された10°C, 500mlの水分の大部分は体内に貯留され、血液を稀釈すると同時に冷却し、冷却された血液が体内を循環することによって、運動時のヘマトクリット値の低下をもたらすと同時に直腸温の増加を抑制していると考えられる。そしてこれ等の知見は石河⁴⁾、Gisolfi等²⁾、Moroff等¹⁰⁾、Londeree等⁷⁾が運動前、運動中に水分を摂ることによって、運動中の直腸温の上昇を抑制すると云う知見と同じであり、水、またはスポーツドリンクの摂取の間には違いはないと思われる。また、このような水、またはスポーツドリンク摂取による血液の稀釈効果、体温の冷却効果が前に述べた運動時心拍数の増加の抑制、主観的運動強度の低下に幾分かは寄与しているのかもしれない。

本研究での血中の生化学的諸成分の変動は前報¹⁷⁾と同じように、水を摂らなかつた時(N群)と摂った時(W群)とでは何れの成分にも有意の違いを示さない。しかし、スポーツドリンクを摂った際(S群)の後半の運動中では2, 3の成分を除いて、他の2群に較べ有意な違いを示す。前報¹⁷⁾での回復期のスポーツドリンク摂取では、何れの

成分でも有意な違いを示したのといしさか異なるが、本研究でも回復期の変動は、前報¹⁷⁾と同じように何れの成分でも同様な違いを示した。

N群、W群の血糖、インシュリンの変動は運動の初期に低下し、統いて上昇するか、そのまま推移し、回復期で更に上昇した。しかし、スポーツドリンクを摂取した際(S群)には摂取後10分時の運動前で血糖はN群、W群より高く、運動初期では血糖、インシュリン共に低下がみられず、高い値(△)を示した1例を除いても、その低下はN群、W群より抑えられて高い値を示し、統いて更に低下し、運動の終期ではN群、W群と略々同じである。また、回復期では血糖、インシュリン共に上昇してN群、W群より有意な増高を示し、前報¹⁷⁾及びその際のインシュリンの研究の結果¹⁸⁾と同じである。そして、糖を投与しての運動中の血糖、インシュリンは運動の初期に一過性の増高を示したLuyckx等⁸⁾の知見や喜多等⁶⁾、堤等¹⁶⁾が糖投与20~30分後の運動前の血糖の高値からの運動初期の低下は、なお高い値を示した知見と類似している。したがつて、スポーツドリンク摂取後の運動中、回復期の血糖の変動はスポーツドリンク中の糖によるものであり、その変動がまたインシュリンの変動をもたらしたものと考えられる。

一方、カテコールアミンやグルカゴンは肝臓からの糖の動員を促進し、血糖を高める作用が知られている⁹⁾。本研究でのカテコールアミンやグルカゴンの分泌の指標としての血漿グリセロールの変動は、N群、W群で運動中期から終期まで急上昇し、それに対応して血糖も増高を示している。しかし、スポーツドリンク摂取後(S群)では運動初期に明らかに低下し、その後も僅かの増加に過ぎず、血糖も増高を示さなかった。したがつて、S群での運動初期での血糖がN群、W群より高いのは、これらのホルモン分泌の増高によるのではなく、前述したスポーツドリンク中の糖によるものであり、それによって、これらのホルモンの分泌が抑制されたものと考えられる。

したがつて、摂取されたスポーツドリンクは運動初期の血糖の低下を抑えることによって、インシュリン分泌の減少を抑えると共にグルカゴン分

泌の減少を促し、優先的にスポーツドリンク中の糖の運動筋での取り込み、酸化を促進すると考えられる。それ故、S群での運動初期のエネルギー供給源としての糖は主としてスポーツドリンクであり、肝臓及び筋のグリコーゲンの利用は抑えられると考えられ、スポーツドリンクの摂取は運動初期の肝及び筋でのグリコーゲンの消耗を防ぐのに役立っていると思われる。

しかし、スポーツドリンクを摂取した際(S群)の運動の中期から終期にかけては、グルカゴン等の分泌の増加が抑えられ、肝臓からの糖の動員が少いこと、また運動初期のインシュリンの分泌の減少が抑えられるので、運動筋での糖の取り込みが促進されることなどによって、血糖は順次低下するが、この低下はインシュリンの減少を伴い、血中から運動筋への糖の取り込みを抑えて、運動終了時にはN群、W群での血糖と同じ水準になるのであろう。一方、カテコールアミンやグルカゴンは前述の糖動員作用のほかに、肝臓、脂肪組織からの遊離脂肪酸の動員を促進し、血中の遊離脂肪酸を高める作用が知られている¹¹と共に、その血中濃度は筋組織などへの遊離脂肪酸の取り込み、酸化に比例することが知られている¹²。本研究でのN群、W群での血漿遊離脂肪酸の変動は運動中期から終期にかけて、グルカゴンなどの分泌の指標としての血漿グリセロールの急上昇に伴って順次增高を示すが、S群では僅かの増加に過ぎず、血漿遊離脂肪酸も殆んど增高を示さない。したがって、スポーツドリンク摂取後の運動の中期から終期にかけては、肝及び脂肪組織からの脂肪酸の動員は少く、運動筋での脂肪酸の取り込み、酸化はN群、W群より少いものと考えられる。しかし、血中から運動筋への糖の取り込みは、前に述べたように運動の終期で血糖、インシュリンのレベルがN群、W群と変わらないので、略々同じ程度だと考えられる。したがって、運動のエネルギーとして脂肪酸の取り込み、酸化が少なくなったのをカバーするのに、スポーツドリンクや血中からの糖の利用が少く、運動筋中のグリコーゲンが利用され、その消耗が促進されると考えられる。

本研究でのスポーツドリンク摂取後の運動時の血中ピルビン酸、血中乳酸の増加はN群、W群よ

り幾らか少しい傾向を示している。S群での運動初期では、運動筋での糖の取り込みの増加によって、解糖系、酸化系酵素の活性化を促して糖の代謝を盛んにし、また運動中期から終期でも脂肪酸代謝の減少をカバーして糖の代謝を盛んにし、何れもピルビン酸からTCA回路への移行を容易にしていると考えられ、その結果として運動筋でのピルビン酸、乳酸の形成が幾らか少いのであろう。そして堤等¹⁶⁾の糖投与後の運動時の血中乳酸の変動でも投与前と較べて、その増加は幾らか小さい傾向を示している。したがって、運動中を通して、糖の代謝が増進していると考えられるが、N群、W群と有意な違いがないのは、乳酸、ピルビン酸が運動のエネルギー代謝の中間代謝産物に過ぎないためであろう。

また、本研究でのスポーツドリンク摂取後の後半の運動後の回復期ではN群、W群と較べて、血糖、インシュリンの增高は大きく、それに伴って血中乳酸、血中ピルビン酸の低下は少なく、何れも回復期の低下に遅れをもたらし、血漿遊離脂肪酸、血漿グリセロールの回復期の低下を速めて、大きな低下をもたらし、前報¹⁷⁾の回復期でのスポーツドリンク摂取時の血中変動と全く同じである。したがって、本研究の回復期でもスポーツドリンク中の糖の吸収が引き継がれ、その影響によると考えられる。そして、スポーツドリンク中の糖の吸収は投与後10分時(後半30分の運動前)から始まり、運動の期間(30分間)、回復期を通して糖の吸収は行われ、運動初期では前に述べたように運動筋での糖の取り込みの増加をもたらすが、運動の終期では、運動時の肝臓からの動員の増加が吸収された糖によって抑えられ、動員される糖の少い分を吸収した糖が補うのに過ぎないのであろう。したがって、運動の終期で吸収された糖は筋での糖の取り込みの増加をもたらさず、その際の脂肪の動員が少ないことから、運動筋のグリコーゲンの消耗を促進すると思われる。

それ故、運動中のエネルギー供給の面からのスポーツドリンク摂取は、運動初期で、摂取された糖の運動筋での取り込み増加によって、運動能力と関連深い肝、筋のグリコーゲンの消耗を節約するのに役立つが、運動の終期で運動筋のグリコ-

ゲンの消耗を促進し、運動能力に関与しないと考えられる貯蔵脂肪の消耗を節約するのに役立つに過ぎず、功罪相半ばすると思われる。

V 要 約

高温環境下の30分運動、10分休息、30分運動時の前半30分運動終了後(10分休息時)の水またはスポーツドリンクの摂取では、後半30分の運動時心拍数や直腸温の上昇が抑えられ、スポーツドリンクの摂取では更に酸素摂取量($\% \dot{V}O_2 \text{ max}$)が小さく、血液の濃縮が抑えられる傾向さえ認められ、主観的運動強度でも水、スポーツドリンク摂取で軽かった。発汗量は水またはスポーツドリンクの摂取で幾分多くなるが、摂取された10°Cの水分の大部分は体内に貯留されるので、直腸温の上昇や血液の濃縮が抑えられるのは、この10°Cの水分の稀釀と冷却の効果によるのであろう。そして、これらの効果は運動時心拍数の上昇を抑え、運動強度を弱めるのに、幾らか寄与しているのかも知れない。

スポーツドリンク摂取後の運動中、回復期の血中成分の変動は、水を摂らない際、或は水摂取後の変動と較べて可成りの違いを示すが、その違いは回復期では前報と全く同じく、スポーツドリンクの摂取は血糖、血漿インシュリン、血中乳酸、血中ピルビン酸の回復期の低下に遅れをもたらし、血漿遊離脂肪酸、血漿グリセロールの回復期の低下を速めて、大きな低下をもたらした。このような結果はスポーツドリンク中に含まれる糖分によると考えられ、その吸収がなお行われているためであろう。

水を摂らない際、或は水摂取後の運動中の血糖、血漿遊離脂肪酸は共に運動10分時明らかな低下後、順次増高し、グルカゴン等の分泌の指標としての血漿グリセロールは運動10分時以降著明な増高を示し、血漿インシュリンは血糖と同じように運動10分時で低下するが、順次の増加を示さない。したがって、血糖、血漿遊離脂肪酸の順次の増加は、グルカゴン分泌の増高によるものであり、運動筋での脂肪酸の燃焼の増大が考えられる。しかし、スポーツドリンク摂取後の運動中の血糖、血漿インシュリンは共に運動10分時では低下することな

く、その後、順次低下の傾向を示し、血漿遊離脂肪酸は運動初期での低下後、殆んど増高を示すことなく、血漿グリセロールも運動10分時以降極めて僅かの増高に過ぎない。血糖、血漿インシュリンが運動初期で低下することがないのは、スポーツドリンク中の糖の吸収によるもので、それはグルカゴン分泌の増高を抑え、それによって血漿遊離脂肪酸は増高を示さず、血糖は低下の傾向を示したのであろう。しかし、グルカゴン分泌の増高が抑えられ、肝臓からの糖の動員が少いに拘らず、運動終期での血糖の低下が、N群、W群と略々同じに留まるのは吸収された糖の補給によるのであろう。したがって、スポーツドリンク摂取は、運動初期でインシュリン分泌が低下しないので、運動筋での血中からの糖の取り込みや酸化が大きく、肝、運動筋のグリコーゲンの消耗を防ぐのに役立つと思われるが、運動終期では血糖の低下を防ぐのに役立つだけで、逆にグルカゴン分泌は抑えられ、血漿遊離脂肪酸は増高せず、運動筋での脂肪酸の燃焼の増高が考えられないで、それを補うのに運動筋のグリコーゲンの消耗を促進することになるであろう。

このように、運動時のエネルギー供給源としてのスポーツドリンク摂取の即効的な効果は運動初期の一過性であるので、運動パフォーマンスを高めるためのスポーツドリンクの摂取には今後、その摂取量、摂取時間、運動中の摂取間隔など、更に検討する必要があろう。

本研究を実施するにあたり、日本協スポーツ科学研究所の利用を心よく許して戴くと共に、御教示、御助力を戴いた日本協スポーツ科学研究所、塙越克巳、雨宮輝也、伊藤静夫、金子敬二、松井美智子のみなさまに深い感謝の意を表します。

文 献

- 1) Acheson, G. H. Edit. (1966) : Second symposium on catecholamines. The Williams & Wilkins Company.
- 2) Gisolfi, C. V. and J. R. Coping (1974) : Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat. Med. Sci. Sports, 6, 108.
- 3) 堀田 昇、村岡 功(1980) : 高温下の長時間運動

- に及ぼす液体摂取の影響に関する文献紹介, 新体育, 50, 543.
- 4) 石河利寛 (1980) : 運動中の水分摂取の是非について, 新体育, 50, 522
 - 5) Karl, I. E., A. S. Pagliara and D. M. Kipnis (1972) : A microfluorometric enzymatic assay for the determination of alanine and pyruvate in plasma and tissues. J. dab. clin. Med., 80, 434.
 - 6) 喜多尚武, 後藤芳雄, 高橋登久子, 堤 達也 (1974) : 運動時の血糖, 血中乳酸, 血清FFA 変動に及ぼす Glucose 投与の影響, 体力研究, 28, 26
 - 7) Londeree, B. R., W. F. Updyke and J. J. Burt (1969) : Water replacement schedules in heat stress. Res. Quart., 40, 725
 - 8) Luyckx, A. S., F. Pirnay and P. J. Lefebure (1978) : Effect of glucose on plasma glucagon and free fatty acids during prolonged exercise. Eur. J. Appl. Physiol. 39, 53.
 - 9) 三宅 儀, 山本 滉編集 (1964) : 内分泌学 I, II. 朝倉書店.
 - 10) Moroff, S. V. and D. E. Buss (1965) : Effects of overhydration on man's physical responses to work in the heat. J. Appl. Physiol. 20, 267.
 - 11) Orava, S., H. Vapaatalo, J. Saarela and M. Reinila (1974) : Blood glucose, serum FFA and serum insulin levels after the intake of the carbohydrate rich solution before exercise in man. J. Sports med. 14, 93
 - 12) Paul, P. (1970) : FFA metabolism of normal dogs during steady-state exercise at different work loads J. Appl. Physiol., 28, 127
 - 13) Pruett, E. D. R. (1970) : Plasma insulin concentrations during prolonged work at near maximal oxygen uptake. J. Appl. Physiol. 29, 155
 - 14) Rowell, L. B., J. R. Blackmon and R. A. Bruce (1964) : Indocyanine green clearance and estimated hepatic blood flow during mild to maximal exercise in upright man. J. Clin. Invest. 43, 1677
 - 15) 堤 達也, 後藤芳雄, 喜多尚武 (1978) : 運動能力及び代謝的変動に及ぼす筋 glycogen 消耗の影響, 体力研究, 38, 13
 - 16) 堤 達也, 青木和江, 後藤芳雄, 喜多尚武 (1979) : 筋 glycogen 消耗時における glucose 投与の運動能力, 代謝的変動に及ぼす影響, 体力研究, 42, 1
 - 17) 堤 達也, 後藤芳雄, 喜多尚武, 青木和江 (1981) : 高温, 高湿度環境下における持久的運動実施後のスポーツドリンク摂取が生体の回復過程に及ぼす影響, 昭和56年度, 日本体育協会スポーツ科学研究報告 No VI スポーツ活動に即効的効果を期待する食品に関する研究
 - 18) 堤 達也, 後藤芳雄, 喜多尚武, 青木和江 (1982) : 未発表資料

II. 高温環境下での持久運動および運動後の回復過程に及ぼす液体摂取の影響

執筆者 井川幸雄

Iはじめに

高温環境下における持久運動時液体摂取の効果については、①体温の上昇防止^{1) 2) 3) 4)}、②発汗により喪失した水分の補給^{1) 5)}、および電解質の補給⁶⁾、③血糖値の低下防止^{2) 3) 4) 7)}、などに効果的であるといわれているが、血糖値の低下防止効果を除けば水摂取と大差なかったとする報告が多い。また、糖分の補給効果に関しては、投与後の血中乳酸、ピルビン酸などの増高は生体を酸性化し、運動機能の回復を遅らせる、との示唆⁵⁾もなされており、このような条件下での摂取液体は必ずしもスポーツドリンクでなくともよいのかもしれない。

著者らの研究⁸⁾においても、このような条件下での持久運動時には水分摂取が効果的であることが示唆されたが、水とスポーツドリンク摂取効果について著明な差異はみいだしえなかつた。

いづれにせよ、このような高温環境下での持久運動時スポーツドリンク摂取の効果については、まだ明らかでない部分が多い。

本研究では、とくに環境条件に注意をはらい、昨年とは異なる直射日光の下10km走を行い、途中の休息時に昨年同様500m lの水およびスポー

ツドリンクを摂取させ、持久運動および運動後の回復過程に及ぼす影響を検討した。

II 実験方法

(1) 被検者

被検者は19~20才の健康な女子学生5名であり、日常特別な運動はしていなかった。各被検者の身体的特徴を表II-1に示した。

(2) 運動負荷法

運動は間に約30分間の休息を入れ、前後5kmづつ合計10km走を行った。運動強度は主観強度で約50~60%になるよう指示したが、常に一定のペースになるように配慮した。

(3) 摂取液体成分

前回の報告⁸⁾と同様であった。

(4) 実験手順

被検者は前報⁸⁾と同様の実験手順で安静時の諸検査を行い、その後5km走を行った。中間の休息時に諸検査終了後、水およびスポーツドリンク500m lを摂取し、再度5km走を行った。その後1時間ごとに回復3時間にわたり諸検査を行った。

実験は午前10時~午後2時の間に行われ、その時の環境条件は、走行時は気温28°C~32°C、湿度60~70%であり、中間の休息時および回復期は気

表II-1 被検者の身体的特徴および走成績

被検者	年齢 (歳)	身長 (cm)	体重 (kg)	走成績 (対照実験)		走成績 (水摂取実験)		走成績 (スポーツドリンク摂取実験)	
				1回目	2回目	1回目	2回目	1回目	2回目
A.K.	20	162	52.10	34' 40"	39' 21"	32' 22"	37' 25"	38' 10"	40' 07"
K.K.	19	153	48.85	33' 08"	32' 57"	33' 18"	35' 33"	32' 20"	31' 52"
K.T.	19	158	45.60	32' 25"	34' 10"	33' 08"	32' 57"	36' 21"	38' 10"
E.A.	19	156	46.50	34' 01"	42' 31"	34' 15"	33' 50"	38' 34"	40' 10"
H.H.	20	154	47.35	36' 30"	42' 31"	37' 37"	39' 26"	34' 46"	37' 42"
平均	19.4	156.6	48.08	34' 09"	38' 18"	34' 08"	35' 50"	36' 02"	37' 36"
標準偏差	0.5	3.6	2.55	1' 34"	4' 32"	2' 04"	2' 38"	2' 34"	3' 24"

温約28°C、湿度約60%の室内であった。

(5) 検査項目および検査方法

血圧は聴診法により、心拍数は触診法により行い、体温は腋窩温を測定した。

血中生化学成分および尿中成分の測定項目と測定法は、ほぼ前報⁸⁾と同様であった（コルチゾールはRIA法）。

尚、全血量、血漿容量、血球容量をDill,D.B.とD.L.Costill⁹⁾の方法により、Hb値およびHct値より算出した。

表II-2 高温環境下での走前および走後の体重の変化

体 重 (kg)	安 静 時	5 km走後	10km走後
C	48.03	47.45	46.99
	2.27	2.22	2.31
W	47.76	47.38	47.40
	2.83	2.73	2.66
S	47.85	47.30	47.22
	2.38	2.38	2.37

C:対照実験 W:水摂取実験 S:スポーツドリンク摂取実験

III 結 果

(1) 走成績

対照群（以下C群と略す）の5km走の成績は、1回目34.2±1.6分、2回目39.1±3.7分で4.9±2.5分の有意（P<0.05）な低下が認められた。また、水摂取群（以下W群と略す）では1回目34.1±2.1分、2回目35.8±2.6分、スポーツドリンク摂取群（以下S群と略す）では1回目36.0±2.6分、2回目37.4±4.0分へ、それぞれ低下したが有意な差は認められなかった（表II-1）。

(2) 体重、体温の変化

10km走前後の体重および腋窩温の変化を表II-2,3に示した。

10km走後の体重は安静時に比べC群1.04±0.08kg（P<0.001）、W群0.35±0.35kg、S群0.63±0.17(P<0.01)の減少であった。C群の減少量とW,S群の減少量の間には有意差(P<0.01)が認められた。また、10km走後の体重は5km走後の体重に比べC,S群で有意に減少したが、W群ではほぼ同様であった。

5km走後の腋窩温は、C群0.94±0.60°C(P<0.05)、W群0.60±0.48°C(P<0.05)、S群0.88±0.55°C(P<0.05)と有意に上昇した。10km走後にも安静値に比べ、C群0.72±0.52°C(P<0.05)、S群1.08±0.56°C(P<0.01)の有意な上昇が認められたが、W群では0.52±0.55°Cの上昇であった。また、回復3時間後には、3群ともほぼ安静値まで回復した。

(3) 心拍数、血圧の変化

10km走前後の心拍数および血圧の変化を表II-4,5に示した。

3群の心拍数は5km走後および10km走後に有意に増加し、回復1,2時間後でも安静値より有意に増加していた。

5km走後から回復3時間までの収縮期および拡張期血圧値には有意な変化は認められず、また、3群間の比較でも著明な差異は認められなかった。

(4) 血清浸透圧、血清電解質および血中ホルモンの変化

血清浸透圧、血清電解質および血漿アルドステロン、アンギオテンシンII、血清コルチゾールの変化を表II-6に示した。

血清浸透圧は運動に伴い上昇し、C群では回復3時間にも高値を示す傾向にあった。しかし、W,S群では回復1時間後にはほぼ安静値まで低下した（図II-1）。

血清電解質Na,K,Cl値は運動に伴い上昇したが、とくにC群のNa値は5km走後より回復3時間まで有意（P<0.01）な高値を示した。しかし、W,S群のNa値は回復1時間後にはほぼ安静値まで低下した。

同様にC群のK値は運動後上昇し、回復3時間後には安静値より有意（P<0.01）に高値であった。また、W群のK値は、水摂取後も回復1,3時間後に安静値より有意（P<0.01）に高値を示し、血清Na濃度の変化とは異なる動態を示した。しかし、S群のK値は回復1時間後にはほぼ安静値まで低下した（図II-1）。

W群およびS群の血漿アルドステロン、アンギオテンシンII、血清コルチゾールは運動に伴い上昇し、回復期にかけて安静値へ戻る動態を示した。しかし、C群の血漿アルドステロンと血清コルチ

表II-3 高温環境下での走前、走後および回復時の体温の変化

腋窓温 (°C)	安静時	5km走後	10km走後	回復1時間	回復2時間	回復3時間
C	36.52	37.46	37.24	36.80	36.86	36.75
	0.16	0.45	0.38	0.37	0.19	0.06
W	36.44	37.04	36.96	36.48	36.48	36.55
	0.15	0.36	0.46	0.08	0.16	0.13
S	36.40	37.28	37.42	36.72	36.68	36.63
	0.37	0.37	0.51	0.18	0.23	0.29

C: 対照実験 W: 水摂取実験 S: スポーツドリンク摂取実験

表II-4 高温環境下での走前、走後および回復時の心拍数の変化

心拍数 (拍/分)	安静時	5km走後	10km走後	回復1時間	回復2時間	回復3時間
C	74.0	139.2	142.8	113.2	99.2	98.5
	9.8	20.1	24.9	23.0	20.3	23.9
W	75.2	148.2	148.4	106.8	91.2	90.0
	9.1	32.9	33.4	22.2	10.7	11.0
S	70.4	134.4	149.0	98.4	92.8	84.0
	8.6	16.2	13.9	13.1	16.5	21.6

C: 対照実験 W: 水摂取実験 S: スポーツドリンク摂取実験

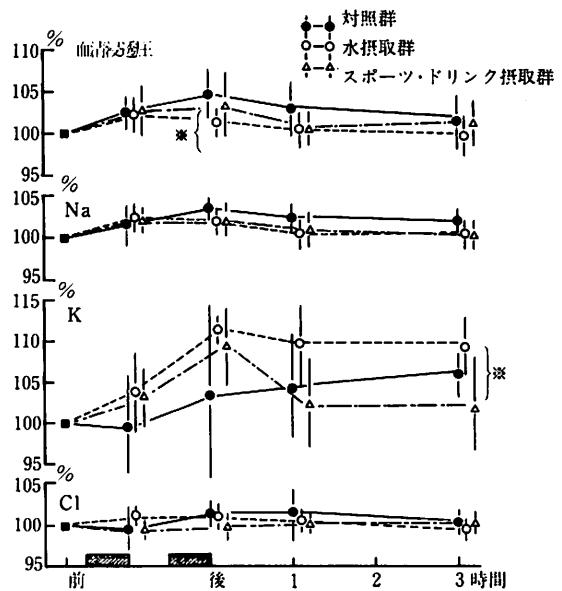
ゾールは、W,S群の動態と若干異なり、回復3時間後に再び上昇する傾向を示した(図II-2)。

(5) 尿量、尿中電解質濃度の変化

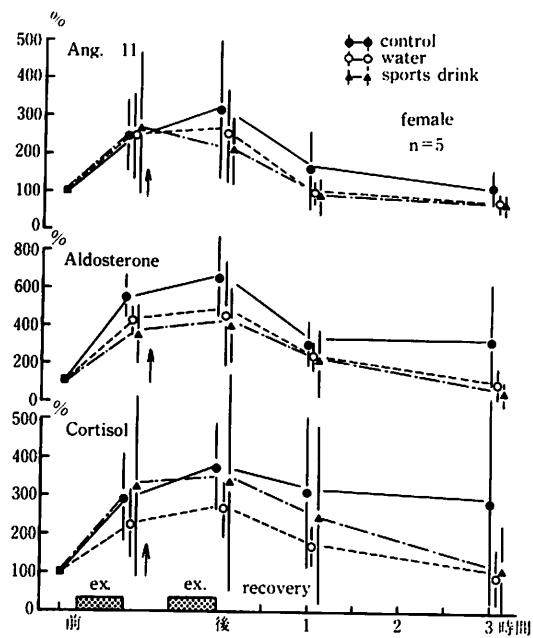
表II-7に尿量および尿中電解質濃度などの変化について示した。また、図II-3,4に運動前値を100%とした尿量および尿中電解質(Na,K,Cl)排泄量の変化について示した。

3群の尿量は5km走後に安静値の約40%,10km走後に約30%まで低下したが、その後回復期にかけて上昇し、回復3時間後には、C群121.6±59.0%,W群67.9±28.8%,S群82.9±34.3%まで回復し、C群が最もよい回復率であった。

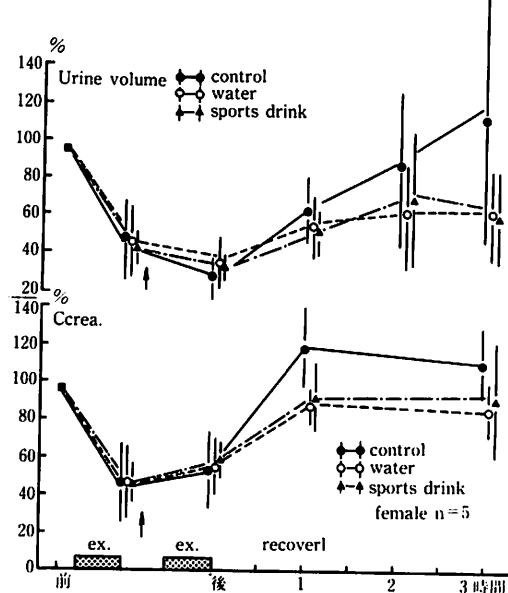
尿中電解質排泄量は、尿量とほぼ同様の動態を示し、C群の回復3時間後のNa排泄量がほぼ安静値まで回復(100.2±24.6%)したのに対し、W群では62.7±21.5%,S群74.7±45.6%の回復であった。また、C群の尿中K排泄量は、回復1時間後に安静値の133.4±94.6%,3時間後には158.5±77.3%に上昇した。しかし、W,S群では回復3時間後でも、それぞれ92.2±54.5%,79.5±



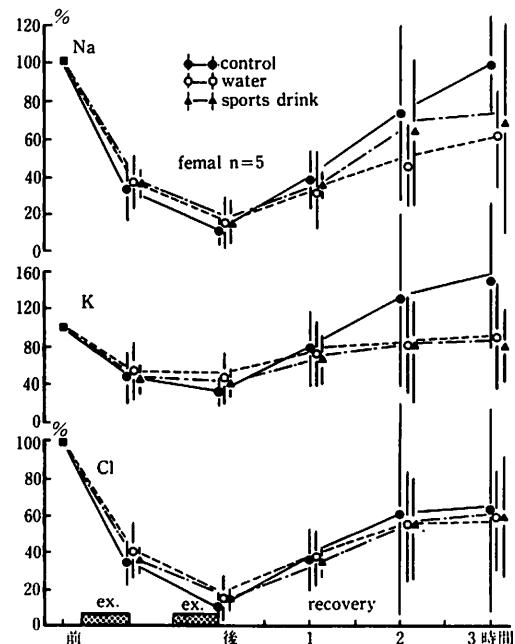
図II-1 高温環境下での運動中および運動後の血清浸透圧、血清Na、K、Cl濃度の変化



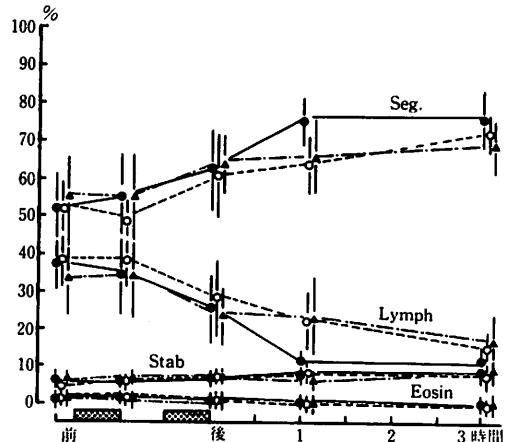
図II-2 高温環境下での運動中および運動後の血中アンギオテンシンII, アルドステロン, コルチゾールの変化



図II-3 高温環境下での運動中および運動後の尿量, クレアチニクリアランスの変化



図II-4 高温環境下での運動中および運動後の尿中Na, K, Cl排泄量の変化

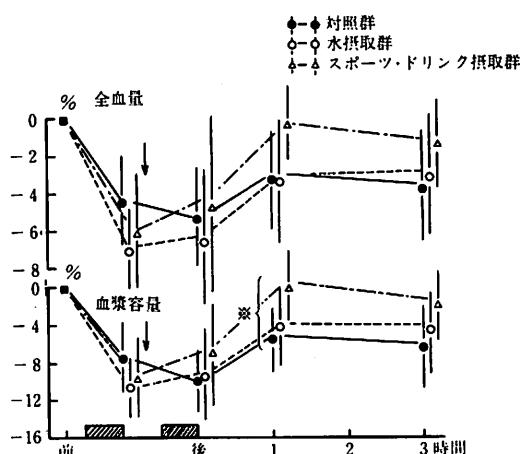


図II-5 高温環境下での運動中および運動後の白血球分画の変化

表II-5 高温環境下での走前、走後および回復時の血圧の変化

血圧 (mmHg)	安静時	5km走後	10km走後	回復1時間	回復2時間	回復3時間
収縮期血圧 C	92.0	93.2	96.0	88.4	86.0	94.4
	15.2	10.6	15.9	10.8	15.4	9.5
W	88.4	92.0	93.6	85.6	87.2	85.2
	18.0	19.8	9.6	4.3	17.6	18.2
S	90.0	97.6	92.4	87.6	91.2	82.4
	20.9	14.4	9.5	12.3	18.8	15.6
拡張期血圧 C	58.0	51.6	59.6	53.2	47.2	57.2
	11.1	9.1	8.3	9.0	13.7	9.4
W	52.8	51.6	50.8	55.6	53.2	56.8
	16.6	19.0	8.9	10.8	4.1	11.1
S	52.0	52.4	46.0	54.4	49.2	50.4
	13.9	11.1	6.2	4.6	6.6	12.5

C：対照実験 W：水摂取実験 S：スポーツドリンク摂取実験



図II-6 高温環境下での運動中および運動後の全血量、血漿容量の変化 (DillとCostilによる)

28.5% の回復であった。

尿中 Cl⁻排泄量は 3 群ともほぼ同様の動態を示し、回復 3 時間後でも安静値のほぼ 60% の回復であった。

(6) 血中代謝産物の変化

表II-8 に血糖、乳酸などの血中代謝産物の変化について示した。

C,W 群の血糖値は 5 km 走後に平均で約 30mg/dl ほど上昇したが、10km 走後にはほぼ安静値まで低

下し、回復 1 時間および 3 時間後には安静値より低下したが、いずれも有意差は認められなかった。S 群の血糖値は 5 km 走後に平均で約 30mg/dl、10 km 走後にも約 22mg/dl の上昇を示したが有意差は認められず、回復 1 時間後にはほぼ安静値へ、3 時間後では安静値よりも低下した。

血中乳酸は走後に 3 群で有意な上昇が認められたが、回復 1 時間および 3 時間後には有意な変動は認められなかった。

中性脂肪は運動に伴い低下傾向を示し、C,S 群では回復 1 時間後にそれぞれ安静値より $-11.6 \pm 4.7 \text{ mg/dl}$ ($P < 0.05$), $-11.8 \pm 7.2 \text{ mg/dl}$ ($P < 0.01$) W 群では回復 3 時間後に $-19.6 \pm 15.7 \text{ mg/dl}$ ($P < 0.05$) の有意な低値を示した

血清遊離脂肪酸は各群 5 km 走後、10 km 走後に安静値より有意に上昇し、C,W 群では回復 1, 3 時間後にも有意な高値を示した。しかし、S 群では回復 1 時間後にはほぼ安静値まで低下し、回復 3 時間後には再び上昇し、安静値より $0.58 \pm 0.29 \text{ mEq/l}$ ($P < 0.05$) の有意な高値を示した。

血清クレアチニン、血清尿酸値は 3 群で 5 km 走後に安静値より有意に上昇し、その後も有意な高値を持続した。また、血清尿素窒素値も運動に伴い上昇し、回復 3 時間後には C 群で安静値より

表II-6 高温環境下での安静時、休息時および回復期の血清電解質、浸透圧およびホルモンの変化

C	安静時	5km走後	10km走後	回復1時間	回復3時間
血清電解質 Na mEq/l	142.6±1.4	144.7±1.4	147.1±2.2	146.3±1.8	145.9±1.8
" K "	4.11±0.9	4.04±0.40	4.21±0.45	4.34±0.49	4.43±0.36
" Cl "	106.5±0.2	106.4±2.0	108.2±1.7	108.4±2.4	109.3±5.0
血清浸透圧 mOsm/kg·H ₂ O	287.8±6.5	294.0±2.6	298.3±8.1	295.3±2.6	292.3±6.0
アルドステロン ng/dl	10.9±6.1	59.5±38.0	70.3±46.6	35.0±16.7	46.1±57.8
アンギオテンシンII pg/ml	35.4±13.5	80.4±31.9	105.4±33.2	60.8±30.4	42.8±15.5
コルチゾール μg/dl	7.9±2.2	23.4±9.1	31.3±4.5	24.2±8.7	22.7±19.3
W					
血清電解質 Na mEq/l	141.2±2.1	144.5±2.5	143.9±2.1	142.1±2.2	142.1±1.5
" K "	3.95±0.19	4.09±0.17	4.40±0.21	4.34±0.31	4.34±0.31
" Cl "	106.6±1.2	107.9±1.8	107.8±2.0	107.3±1.2	106.2±1.6
血清浸透圧 mOsm/kgH ₂ O	291.5±5.4	295.6±6.3	294.0±5.8	290.6±5.9	295.4±9.8
アルドステロン ng/dl	8.3±6.1	34.8±26.4	37.2±24.1	19.3±11.4	8.5±2.3
アンギオテンシンII pg/ml	34.0±25.9	79.6±44.0	80.2±37.1	37.0±26.3	28.8±16.6
コルチゾール μg/dl	10.0±2.2	22.6±8.5	27.3±6.5	18.1±4.6	10.5±5.2
S					
血清電解質 Na mEq/l	142.4±2.3	145.1±2.2	144.9±1.3	143.5±1.4	143.2±1.6
" K "	3.97±0.24	4.10±0.30	4.43±0.32	4.08±0.38	4.08±0.39
" Cl "	106.3±2.0	105.8±2.7	105.9±3.2	106.6±2.6	106.8±3.0
血清浸透圧 mOsm/kg·H ₂ O	286.5±5.9	295.4±3.2	297.8±5.7	288.8±3.8	291.2±3.0
アルドステロン ng/dl	8.0±7.0	30.0±24.5	28.6±12.2	13.9±6.7	6.8±4.7
アンギオテンシンII pg/ml	33.0±13.7	75.2±41.0	65.8±18.4	31.2±8.4	29.6±10.0
コルチゾール μg/dl	8.6±3.6	24.3±8.4	25.1±7.7	17.0±7.7	9.2±4.6

4.6±3.3mg/dl (P<0.05), W群3.1±1.3mg/dl (P<0.01), S群2.7±1.5mg/dl (P<0.05) の有意な上昇が認められたが、いづれの項目も3群間で有意な差は認められなかった。

血清蛋白濃度は走後に各群で有意に上昇し、C群では回復1,3時間後にも安静値よりそれぞれ0.44±0.21g/dl (P<0.01), 0.46±0.26g/dl (P<0.05) の有意な上昇であった。しかし、W,S群では回復1時間後に一時低下し、回復3時間後に、W群0.20±0.16g/dl (P<0.05), S群0.32±0.22g/dl (P<0.05) と再び上昇した。

(7) 血球数、血液像の変化

血球数および血液像の結果を表II-9に示した。

5km走後の白血球数は各群で安静値より有意に上昇し、回復3時間後にはC群9.32±4.37×10³/

mm³ (P<0.01), W群6.08±1.89×10³/mm³ (P<0.01), S群3.94±1.38×10³/mm³ (P<0.01) 上昇した。この時のC群とS群の上昇量には5%水準で有意な差が認められた。

白血球のうち好中球(Seg. Stab), 単球(Mono)は運動に伴い増加したが、リンパ球(Lymph)は逆に低下傾向を示した(図II-5)。

赤血球数(RBC)は5km走後および10km走後に各群で安静値より有意に増加し、C群では回復1,3時間後でも有意な高値であった。また、W群では回復1時間後9.6±7.3×10⁴/mm³ (P<0.05), 回復3時間後8.4±12.5×10⁴/mm³ の増加であった。しかし、S群では回復1時間後にはほぼ安静値まで低下した。

C群のHbおよびHct値はRBC同様、走後に

表II-7 高温環境下での安静時、休息時および回復期の尿量、尿中成分の変化

C	安静時	5km走後	10km走後	回復1時間	回復2時間	回復3時間
尿量 ml/min	0.35±0.09	0.16±0.07	0.11±0.04	0.23±0.06	0.32±0.17	0.41±0.17
Na mEq/l	230.6±38.3	180.2±14.5	98.0±35.8	143.3±32.1	181.0±47.3	204.2±37.3
K "	52.6±7.7	58.4±6.2	60.4±8.8	62.3±12.5	68.5±15.2	68.4±17.4
Cl "	272.3±51.6	227.9±24.8	103.4±42.5	169.2±77.2	151.2±88.1	152.1±95.7
浸透圧 mOsm/kgH ₂ O	1030±123	874±125	652±83	906±133	1014±125	1080±123
クレアチニン mg/dl	208±62	245±68	474±176	455±161	348±176	251±107
尿素窒素 "	874±178	684±195	339±123	605±190	843±217	911±259
尿蛋白 "	10.1±3.9	64.8±81.9	101.8±77.4	63.1±57.0	28.7±26.8	17.6±9.5
Ccr ml/min	84.9±11.0	37.6±13.4	44.2±12.5	100.6±12.6	—	93.9±9.3
Cun "	64.7±15.9	52.6±20.4	22.2±1.3	38.2±8.8	—	47.7±8.0
W						
尿量 ml/min	0.47±0.26	0.19±0.06	0.17±0.06	0.25±0.07	0.27±0.05	0.28±0.07
Na mEq/l	233.6±33.0	202.4±51.6	101.9±50.3	141.8±64.8	207.0±51.3	226.5±30.0
K "	54.1±18.0	60.7±11.3	67.9±16.8	68.7±21.2	67.9±19.7	70.4±19.9
Cl "	274.5±41.8	248.8±57.7	131.5±54.2	185.9±44.9	235.0±48.0	235.4±44.7
浸透圧 mOsm/kgH ₂ O	1035±248	929±147	771±200	972±180	1123±125	1099±110
クレアチニン mg/dl	185±67	236±83	361±128	338±69	285±75	314±49
尿素窒素 "	957±454	712±335	500±329	874±387	947±248	1033±268
尿蛋白 "	8.8±3.3	47.1±43.7	61.0±17.2	27.4±7.9	18.1±4.8	17.0±12.5
Ccr ml/min	101.3±10.3	44.3±14.5	57.3±14.7	90.1±10.1	—	89.5±15.4
Cun "	67.9±17.3	49.1±8.5	31.9±10.8	55.5±15.9	—	57.1±20.3
S						
尿量 ml/min	0.47±0.13	0.19±0.04	0.16±0.03	0.25±0.06	0.33±0.16	0.33±0.21
Na mEq/l	242.6±50.1	190.2±37.0	127.4±28.7	167.3±42.0	225.2±46.3	241.3±34.6
K "	61.4±10.9	65.4±12.1	76.4±13.5	81.0±19.6	69.2±12.6	74.5±21.7
Cl "	300.0±46.5	231.6±32.7	148.8±36.8	194.9±44.0	233.8±41.4	261.2±16.4
浸透圧 mOsm/kgH ₂ O	1029±213	846±143	776±74	959±99	1049±129	1084±148
クレアチニン mg/dl	178±63	254±67	396±46	339±65	287±101	240±92
尿素窒素 "	848±423	606±400	390±217	697±324	948±480	897±377
尿蛋白 "	9.2±6.2	47.1±49.0	59.1±33.1	30.7±9.5	18.2±11.7	10.2±4.4
Ccr ml/min	96.5±15.0	47.6±4.9	60.3±6.2	89.6±11.3	—	90.6±19.8
Cun "	60.9±10.1	45.7±9.7	25.0±13.4	45.2±16.8	—	57.6±11.7

有意に上昇し、回復期でも有意な高値が認められた。

W群のHbおよびHct値は走後に有意に上昇し、回復期にも高値を示す傾向にあった。しかし、S群のHbおよびHct値は、回復1時間後にはほぼ安静値へ戻った。

(8) 全血量、血漿容量、血球容量の変化

Dill, D. BとD. L. Costillの方法により、走前後の全血量および血漿容量の変化を示した(図II-6)。

各群の血球容量には著明な変化は認められなかったが、C群の全血量は5km走後-4.26±

表II-8 高温環境下での安静時、休息時および回復期の血中代謝産物の変化

C	安静時	5km走後	10km走後	回復1時間	回復3時間
血糖 mg/dl	81.0±8.5	115.8±39.2	85.8±27.8	77.4±15.3	73.8±11.6
乳酸 "	8.6±2.6	32.6±16.1	22.5±12.5	12.9±6.1	11.1±3.0
中性脂肪 "	69.0±7.6	63.6±10.9	60.6±12.3	57.4±11.4	58.0±16.7
遊離脂肪酸 mEq/l	0.63±0.37	1.78±0.84	2.16±0.67	2.02±0.92	1.97±0.62
総コレステロール mg/dl	164.2±21.0	177.0±25.4	184.0±29.7	173.2±24.4	178.4±27.0
血清クレアチニン "	0.84±0.05	0.98±0.08	1.06±0.09	0.98±0.04	0.98±0.11
尿素窒素 "	14.5±4.7	14.4±5.4	15.9±6.1	17.1±6.9	19.1±7.3
尿酸 "	4.6±0.4	5.7±0.5	6.3±0.5	6.4±0.5	6.1±0.4
血清蛋白 g/dl	7.3±0.4	7.9±0.4	8.1±0.4	7.7±0.5	7.7±0.5
W					
血糖 mg/dl	87.6±8.8	115.6±29.6	92.0±12.1	77.2±3.4	75.8±2.9
乳酸 "	9.2±1.7	35.9±13.6	27.5±8.2	10.6±2.9	7.9±1.3
中性脂肪 "	71.0±17.9	77.8±32.8	61.4±11.6	55.4±6.9	51.4±5.4
遊離脂肪酸 mEq/l	0.36±0.16	1.36±0.44	1.88±0.57	1.47±0.18	1.16±0.15
総コレステロール mg/dl	165.6±29.2	177.8±37.3	180.6±34.5	168.4±32.2	167.0±29.1
血清クレアチニン "	0.76±0.09	1.04±0.05	1.04±0.05	0.94±0.05	0.90±0.08
尿素窒素 "	14.5±6.7	15.2±7.2	16.3±7.3	16.7±7.0	19.2±7.3
尿酸 "	4.6±1.0	5.6±0.8	5.8±0.6	5.9±0.6	6.1±0.6
血清蛋白 g/dl	7.3±0.3	7.8±0.4	7.9±0.4	7.6±0.3	7.5±0.3
S					
血糖 mg/dl	86.4±3.0	116.8±44.3	108.2±20.1	89.8±12.0	78.4±6.6
乳酸 "	8.0±2.4	26.8±8.7	20.9±6.7	18.3±17.9	7.3±1.6
中性脂肪 "	75.2±21.3	75.8±35.6	73.0±31.9	62.8±17.4	68.2±21.2
遊離脂肪酸 mEq/l	0.43±0.32	1.67±0.73	1.65±0.71	0.60±0.28	1.01±0.38
総コレステロール mg/dl	166.6±31.2	180.6±40.4	175.5±46.1	166.4±35.0	169.2±35.7
血清クレアチニン "	0.78±0.08	1.00±0.10	1.03±0.10	0.94±0.11	0.90±0.12
尿素窒素 "	14.3±6.1	14.6±6.4	14.0±6.4	16.4±7.4	16.9±7.1
尿酸 "	4.4±0.2	5.1±0.3	5.4±0.6	5.6±0.5	5.4±0.6
血清蛋白 g/dl	7.1±0.4	7.9±0.3	7.9±0.4	7.4±0.3	7.5±0.2

2.32%(P<0.05), 10km走後-5.34±2.65%(P<0.05), 回復1時間後-2.88±2.21%(P<0.05)の有意な減少を示し, 回復3時間後でも-3.52±2.85%の減少であった。W群の全血量は5km走後-6.84±2.16%(P<0.01), 10km走後-6.22±3.42%(P<0.05)の有意な減少を示し, 回復3時間後にも-2.78±3.01%の減少であった。S群では5km走後に-5.88±3.10%(P<0.05)の有意な減少を示したが回復1時間後にはほぼ安静値に回復

した。また, 血漿容量も全血量とほぼ同様の動態を示した。

IV 考 察

本研究では5名の被検者が無摂取実験(対照), 水摂取実験およびスポーツドリンク摂取実験と3回の走行を行ったが, これらの実験は被検者により無作為に行われ, 各実験とも, それぞれの実験条件が均等になるよう配慮された。

表II-9 高温環境下での安静時、休息時および回復期の血球数、血液像の変化

C	安静時	5km走後	10km走後	回復1時間	回復3時間
赤血球数 $\times 10^4/\text{mm}^3$	439±25	462±25	468±27	452±27	454±19
白血球数 $\times 10^3/\text{mm}^3$	6.5±1.6	7.8±1.5	10.2±2.4	14.8±5.4	15.8±5.7
ヘモグロビン値 g/dl	12.6±0.6	13.1±0.6	13.3±0.8	12.9±0.7	13.0±0.6
ヘマトクリット値 %	37.1±1.3	39.1±1.4	39.8±1.7	38.5±1.7	38.8±1.3
MCHC	"	34.0±0.5	33.8±0.3	33.5±0.4	33.7±0.6
MCV	μ^3	82.8±3.3	83.2±2.9	83.6±2.9	83.8±3.3
MCH	pg	28.7±0.8	28.6±1.2	28.5±1.1	28.7±2.0
Stab	%	5.8±1.5	5.4±1.5	7.0±2.0	8.8±3.3
Seg	"	52.2±7.6	55.4±12.3	63.6±9.5	77.0±4.3
Eosino	"	1.4±1.3	1.8±1.5	1.2±1.6	0.4±0.6
Baso	"	0.6±0.6	0.6±0.6	0.2±0.5	0.4±0.6
Mono	"	1.6±0.9	1.6±0.6	1.6±0.6	1.8±0.5
Lymph	"	38.4±8.4	35.6±14.2	26.2±8.7	11.8±4.0
W					
赤血球数 $\times 10^4/\text{mm}^3$	422±23	451±21	447±21	432±20	431±19
白血球数 $\times 10^3/\text{mm}^3$	5.0±0.7	7.1±1.4	8.6±2.1	10.1±3.2	11.1±2.4
ヘモグロビン値 g/dl	12.0±0.5	12.9±0.4	12.8±0.2	12.4±0.4	12.4±0.2
ヘマトクリット値 %	35.7±1.3	38.2±1.0	37.8±1.3	35.3±1.4	36.4±1.2
MCHC	"	33.8±1.6	33.9±0.8	34.2±1.0	34.4±1.0
MCV	μ^3	82.6±3.9	82.8±4.0	82.8±4.1	82.4±3.8
MCH	pg	28.6±0.9	28.7±0.8	28.8±0.9	28.9±0.7
Stab	%	4.4±0.9	6.6±1.1	6.8±1.3	8.4±1.5
Seg	"	53.0±6.5	50.0±4.6	60.8±11.9	64.4±7.5
Eosino	"	1.4±0.9	2.2±2.8	1.2±1.3	0.2±0.5
Baso	"	0.4±0.6	1.0±1.2	0.2±0.5	1.0±1.0
Mono	"	1.8±0.8	1.4±0.9	1.6±0.9	2.4±0.6
Lymph	"	39.0±6.1	38.8±6.7	29.4±9.7	23.6±7.1
S					
赤血球数 $\times 10^4/\text{mm}^3$	422±23	448±24	443±25	421±29	426±26
白血球数 $\times 10^3/\text{mm}^3$	5.4±1.3	7.3±1.8	8.2±1.8	8.0±1.3	9.3±1.7
ヘモグロビン値 g/dl	12.0±0.6	12.8±0.7	12.7±0.9	12.0±0.7	12.2±0.7
ヘマトクリット値 %	35.7±0.8	38.1±1.9	37.5±1.9	35.5±1.5	35.9±1.6
MCHC	"	33.9±0.8	33.7±0.3	33.9±0.7	33.9±0.6
MCV	μ^3	83.0±4.1	82.6±4.6	82.6±4.6	82.4±4.3
MCH	pg	28.6±1.3	28.6±1.4	28.6±1.4	28.6±1.3
Stab	%	6.2±1.6	7.0±1.7	7.2±2.5	6.2±2.6
Seg	"	56.0±10.1	55.4±11.5	65.4±6.5	66.8±10.1
Eosino	"	1.8±1.6	0.8±0.8	0.6±0.6	0.8±1.1
Baso	"	0.6±0.9	0.8±1.3	0.8±1.3	0±0
Mono	"	1.8±0.5	1.2±1.3	1.6±0.6	2.2±0.5
Lymph	"	33.6±8.0	34.8±9.6	24.4±7.5	24.0±10.9

このような条件での走成績は、対照群の2回目が1回目に比べ有意に悪くなった。しかし、水およびスポーツドリンク摂取群では、ほぼ同様の成績であった。堀田ら¹¹も同様の実験において、何も摂取しなかった時には2回目の成績が悪くなつたことを報告しており、このような高温環境下での持久運動時に水あるいはスポーツドリンクを摂取することは、運動のパフォーマンス低下防止に効果的であることが示唆される。

さて、このような条件下で運動を行うということは、環境負荷と運動負荷という2種類の異なる負荷が生体にかけられたことになるが、環境(高温)負荷時には、体温調節に伴う発汗のため末梢血管の拡張、循環血液量の減少、血液の濃縮などが生じ、さらに運動負荷時には、エネルギー調節のため糖の動員、脂肪分解、蛋白分解なども亢進しているものと思われる。

本研究のC群でも、全血量の減少、血清浸透圧の上昇が認められ、また、血清遊離脂肪酸、コルチゾールの増加などが認められた。

このC群の全血量の減少、血清浸透圧の上昇は、腎のJG細胞あるいは視床下部に作用し、水の体内貯留のためアルドステロン、ADHなどの分泌を亢進させる。図II-2に示したように、C群のアルドステロン分泌は回復3時間後でも高い傾向にあった。したがって、Naおよび水の再吸収が促進され、尿量あるいは尿中Na排泄量は低下したままと思われたが、図II-3、4に示したように、それらの回復率は他の2群よりよい傾向にあった。

この原因については明らかではないが、一つには、C群の回復3時間後のアンギオテンシンIIが、すでに安静値まで低下しているところから、他の原因によりアルドステロンが上昇したと考えられる。

いずれにせよこのような状況下で水分を摂取すれば、循環血液量の補給あるいは血液濃縮の緩和に役立つはずである。しかし、単なる水分摂取では、全血量および血漿容量でみる限りスポーツドリンク摂取ほど循環血液量の補給に効果的でなかった。

Kozlowski, S.とB.Saltin¹⁰は、体液成分に及

ばす発汗の影響に関する研究で、高温暴露時には全体的に脱水されるのに対し、運動時には細胞内液が主に脱水され、血漿量の減少は、間接的ではあるが、各群の血漿容量が9.3~10.7%減少しており、環境(高温)の影響を強く受けているものと考えられる。このため、細胞間質液、細胞内液も脱水され、その浸透圧は上昇しているものと考えられるが、このとき、水分だけを摂取すれば、10km走後の血清浸透圧がC群より有意($P<0.05$)に低下していたことから、血管内に入った水分は、浸透圧の高い細胞間質あるいは細胞内へと移動してしまうものと考えられる。これに対し、スポーツドリンク摂取では、等張液のため10km走後の血清浸透圧に急激な変化は認められず、水よりは血管内に貯留しやすい状態にあったものと考えられる。

また、この時の液体摂取は血液の濃縮緩和に役立っていると思われるが、水およびスポーツドリンク摂取後の血清Na電解質濃度は両群低下したが、血清K濃度は両群で異なった動態を示した。すなわち、水摂取群では回復1、3時間後でも安静値より高値を示したのに対し、スポーツドリンク摂取群では回復1時間後にはほぼ安静値に回復した。この回復3時間後の両群の変化率には有意($P<0.05$)差が認められた(図II-1)。したがって、血清K濃度は、Na濃度の動態と異なり、液体摂取に伴う希釈効果だけでは解釈できない動態を示したことになる。

運動に伴い血清K濃度が上昇する^{10) 11) 12)}ことは良く知られているが、Ahlborgら¹²⁾は、運動後の細胞内の電解質濃度を測定し、NaとCl濃度は上昇したが、K濃度は減少した、と報告している。このことは血清K濃度の上昇は、脱水によるものだけではなく、細胞内からの逸脱を示唆するものと思われる。これに関して、後藤と堤¹¹⁾は、運動後の血清K濃度の上昇は、運動中の細胞膜透過性亢進により細胞内から細胞外へ流出したため、あるいは運動中の細胞の損傷によるためと考察している。また、Laurell, H.とB.Pernow¹³⁾は、運動後の血清K濃度と静脈血PHあるいは乳酸などと相関が認められた、と報告しており、このことは運動により代謝のアシドーシスが生じ、この

アシドーシスを緩衝するための組織(細胞)でH⁺とK⁺との交換が生じている¹⁴⁾ことも考えられ、このため血清K濃度と静脈血PHあるいは乳酸と相関が認められたのかもしれない。

しかし、いずれにせよ血清K濃度の改善には水分摂取だけでは効果が少ないようである。

一般に臨床的には、血清K濃度上昇時にはインスリン投与などが用いられるが、このインスリン投与により、血清Kは細胞内に取り込まれ、同時にブドウ糖も取り込まれるといわれている¹⁵⁾。

著者らの先の研究¹⁶⁾で、運動中に庶糖を摂取させたところ、血糖値の上昇とともに、インシュリンの上昇を認めた。このことは、糖分の含まれているスポーツドリンク摂取後にもインシュリンが上昇しているものと考えられ、このためスポーツドリンク摂取後に、細胞内に血清中のKが取り込まれ、血清K濃度が減少したものと思われる。また、この時同時に細胞内へグルコースの取り込みも行われているものと思われ、先の研究のRQの上昇などとも考え合わせると、糖質がエネルギー源として効果的に使われていたと考えられる。

V まとめ

運動中および運動後の回復過程に及ぼすスポーツドリンク摂取の効果を血中・尿中生化学成分の動態から検討した。

被検者は19~20才の女子学生であった。

運動は、屋外において途中30分間の休息をはさみ5km走を2回、合計10km走を行った。

その時の環境条件は気温28~32°C、気湿60~70%であった。

その結果

- ① 無摂取群(対照)の走成績は、1回目34.2±1.6分、2回目39.1±3.7分で有意(P<0.05)に低下した。しかし、水およびスポーツドリンク摂取群の1回目と2回目の走成績には有意な低下は認められなかった。
- ② 血清浸透圧は、対照群では回復3時間後でも高値を示す傾向にあったが、水およびスポーツドリンク摂取群では回復1時間後にはほぼ安静値まで回復した。
- ③ 対照群の血清Na、K濃度は運動に伴い上昇

し、Na値は5km走後より回復3時間後まで有意(P<0.01)に高値を持続した。

水摂取群では、回復1時間後にNa値はほぼ安静時まで低下したが、K値は水摂取後も有意に高値を持続した。スポーツドリンク摂取後には血清Na、K値は回復1時間後にはほぼ安静値まで低下した。

- ④ 血清コルチゾール、血漿アルドステロン、アンギオチシンIIは運動後に上昇したが、水およびスポーツドリンク摂取群では、その後徐々に低下し、回復3時間後には、ほぼ安静値まで低下した。しかし、対照群のアルドステロンとコルチゾールは回復時間後に一時低下したが、回復3時間後には再び上昇した。
- ⑤ 対照群の尿量および尿中Na、K排泄量は、水およびスポーツドリンク摂取後のそれよりも、すみやかに安静値まで回復する傾向にあった。
- ⑥ DillとCastillの方法により求めた全血量および血漿容量は走後に有意に低下したが、スポーツドリンク摂取の場合が最もよく安静値まで回復していた。
- ⑦ 各群の血糖値は低下傾向を示し、逆にFFA値は有意に増加した。とくに対照群、水摂取群のFFA値は回復3時間後まで有意な高値を示した。
- ⑧ 白血球数は各群5km走後から回復3時間後まで安静値より有意に上昇し、回復3時間後には、各群それぞれ、対照群9.32±4.37×10³/mm³(P<0.01)、水摂取群6.08±1.80×10³/mm³、スポーツドリンク摂取群3.94±1.38×10³/mm³の有意な上昇であった。このときの対照群とスポーツドリンク摂取群の上昇量には有意(P<0.05)差が認められた。

本研究にさいし慈恵医大臨床検査医学教室の鈴木政登氏をはじめ教室員、中検技師の諸氏の協力を得たことを附記して謝辞とします。

VI 文 献

- 1) 堀田 昇その他：トレッドミル持久走に及ぼす液体摂取の影響。東京体育学研究 7 : 89—95, 1980.
- 2) 伊藤 朗：スポーツ活動後にスポーツ飲料を摂取させた場合の血中・尿中化学成分値の変化、昭和56年度、日本体育協会スポーツ科学研究報告。
- 3) Costill, D. L. 他 : Fluid ingestion during distance running. Arch. Envir. Health. 21 : 520—525, 1970.
- 4) Code, R. 他 : Effect of fluid, electrolyte, and glucose replacement during exercise on performance, body temperature, rate of sweat loss, and compositional changes of extracellular fluid. J. Sports. Med. Physiol. Fit. 12 : 150—156, 1972.
- 5) 堀 達也：高温・高温度環境下における持久運動実施後のスポーツドリンク摂取が生体の回復過程に及ぼす影響、昭和56年度、日本体育協会スポーツ科学研究報告。
- 6) 三田 信孝他：スポーツドリンクの身体諸機能・代謝に及ぼす影響、東海大学紀要体育学部, 11 : 127—135, 1981.
- 7) 高橋 徹三他：持久性運動に及ぼすスポーツドリンクXL-1の効果に関する生理・生化学的研究、筑波大学体育学部紀要。
- 8) 井川 幸雄：高温環境下での運動後の回復過程に及ぼす水分摂取の影響。昭和56年度、日本体育協会スポーツ科学研究報告。
- 9) Dill, B. B. 他 : Calculation of percentage changes in volumes of blood, plasma, and red cells in dehydration. J. Appl. Physiol. 37 (2) : 247—248, 1974.
- 10) Kozlowski, S. 他 : Effect of sweat loss on body fluids. J. Appl. physiol. 19 (6) : 1119—1124, 1964.
- 11) 後藤 芳雄他：運動負荷時の血清酵素活性並びに血清電解質の変動、体力研究 21 : 31—41, 1971.
- 12) Ahlborg, B. 他 : Muscle glycogen and Muscle electrolytes during prolonged physical exercise. Acta. physiol. Scand. 70 : 129—142, 1967.
- 13) Laurell, H. 他 : Effect of exercise on plasma potassium in Man. Acta. physiol. Scand. 66 : 241—242, 1966.
- 14) 松田 幸次郎他：医科生理学展望、丸善出版株式会社、東京, 1973.
- 15) 坂本 美一他：インスリンの作用機序、医学のあゆみ. 133 (9) : 582—589, 1980.
- 16) 塩田 正俊他：生化学成分からみた持久運動時庶糖投与の影響、日本体育学会第32回大会号, 303, 1981.

III. 運動性高尿酸現象に及ぼすスポーツ飲料の影響

執筆者 伊藤 朗
研究協力者 三上俊夫¹⁾ 後藤浩史¹⁾
丹信介¹⁾ 栗林徹¹⁾

緒 言

運動後に、血清尿酸（痛風の原因となる）値が一過性に上昇する現象、すなわち「運動性高尿酸現象」に関する研究¹⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾が、最近数多くみられるようになってきた。

一般に、激運動終了時の血中化学成分値の動態は、多くの場合、運動直後（3～5分後）に一過性にピーク値を示し、その後運動前値への回復が早い。しかし、血清尿酸値の場合は、それらと異なり、激運動終了後1～2時間経過してからピーク値を示すという、他に例をみない動態を示す。また約10分間程度の exhaustive test においてさえも、24時間経過後に運動前値に回復せず、約10%の高値を示すという特徴を有する⁵⁾。

このような「運動性高尿酸現象」の発現機序は、運動による腎臓のアノキシアが尿酸排泄を低下させるという説と、筋活動に伴う細胞の崩壊高進による核酸塩基の遊離増加による產生高進説、両者の混合説などがある。著者はこれらのうち、產生高進が大きく関与しているという報告をしてきた⁴⁾。

高尿酸現象が、くりかえされていくうちに、慢性化すると恒久化した「高尿酸血症」への進行が考えられる。さらに痛風の発症を誘発し、合併症を生ぜしめないと限らない。したがって運動性高尿酸現象を速やかに解消し、このような進行を未然に防止する必要がある。

伊藤は¹⁾、スポーツ選手に高温（32°C）環境下で、1時間走（約70% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ）を実施させ、終了後に500mlのイオン交換水を摂取させ、尿酸クリアランスの高進を認めている。また同様にスポーツ飲

料（某種）を摂取させ、前者よりも運動性高尿酸現象の解消に効果的であったことを報告した。

これらの結果は、ある種の飲料を摂取させることにより、スポーツ選手の高尿酸血症を予防することが可能であることを示唆している。これらをふまえて、1982年度は以下に示すような研究を実施した。

- 1) 運動部員には、高尿酸血症者がどの位いるか再調査する。
- 2) 運動部員に、12分間全力走を実施した場合、どの程度の高尿酸現象を示すか追試する。
- 3) Exhaustive test 後の運動性高尿酸現象の解消に、イオン交換水、スポーツ飲料（某種）及び0.5%重曹水がどの程度貢献をするか検討する。
- 4) 12分間全力走後の運動性高尿酸現象の解消に、ピール及び0.5%重曹水がどの程度の貢献をするか検討する。

方 法

実験1：運動部員の血清尿酸値の分布、及び12分間全力走後の変化

対象とした運動部員は、19～21歳の大学生52名（男性36名、スポーツ歴5～10年、陸上・柔道・サッカー・野球・バレー・卓球・ラグビー・水泳・テニス・ハンド。女性16名、スポーツ歴2～12年、陸上・テニス・水泳・ハンド・バスケ・ダンス・体操）であった。

前日の飲食は21時までとし、当日の朝食及び一切の飲食を禁じた。11時45分に実験室に集合させたが、起床後の行動は坐学のみで運動は行わせなかった。実験室では1時間の坐位安静を保持させ

1) 筑波大学

た後、肘正中皮靜脈より採血した。

その後準備運動を15分間行わせた後、12分間全力走を実施させ、終了5分後及び回復2時間後に採血し、血清尿酸値の測定に供した。測定はすべて三重で実施した。

実験2：運動後の水、スポーツ飲料及び重曹水摂取が尿酸代謝に及ぼす影響

被検者は、非鍛練大学生男性6名(18~25歳)である。

前日の夕食は21時に規定食(米飯400g、マーボ豆腐350g、水400ml)を実験室でとらせ、その後翌朝までの飲水量は500mlとした。当日の朝食は規定食(米飯400g、みそ汁、納豆、キュウリ、水400ml)、昼食は玉子丼(米飯400g、たまご1個、水400ml)に全被検者、全実験統一した。

被検者は、実験開始2時間前に実験室に来室させ、完全排尿させた後、朝食をとらせ、その後運動開始直前まで坐位安静を保持させた。運動はトレッドミル速度漸増法によるexhaustive run(以下オールアウト走と略)とした。採血、採尿は運動開始直前、運動終了3分、1、2、3、4、5、7時間後に実施し、坐位安静を保持させた。

水摂取実験は、10°Cに冷却したイオン交換水を500ml 3回、計1500ml摂取させた。第1回目の摂取は、運動終了3分後の採血・採尿後、第2回目は回復1時間後、第3回目は回復2時間後の採血・採尿後に実施した。

スポーツ飲料摂取実験における飲料中の成分は、表III-1に示すとおりであり、重曹水摂取実験の重曹水は重曹をイオン交換水にとかし0.5%とした。水温、摂取方法は水摂取実験の場合と同様である。

実験3：運動後のビール及び重曹水摂取が尿酸代謝に及ぼす影響

被検者は19~21歳大学運動部員11名(男性4名、女性7名)である。

前日の飲食は21時までとし、当日の朝食及び一切の飲食を禁じた。

表III-1 スポーツ飲料成分分析値

	(1ℓ中)	(1.5ℓ中)
水分(g)	941.0	1411.5
灰分(g)	1.0	1.5
Na(mg)	450	675
K(〃)	150	225
P(〃)	110	165
有機酸(g)	3.0	4.5
ビタミンB ₁ (mg)	1.5	2.25
〃 B ₂ (〃)	1.0	1.5
〃 C(〃)	80	120
糖質(g)	55	82.5
浸透圧(mosM/ℓ)	285.6	285.6
pH	3.02	3.02
カロリー(kcal)	440	660

運動は、12分間全力走とし、走前1時間前に完全排尿させ、坐位安静を保持させた後、走前の採血、採尿を実施した。

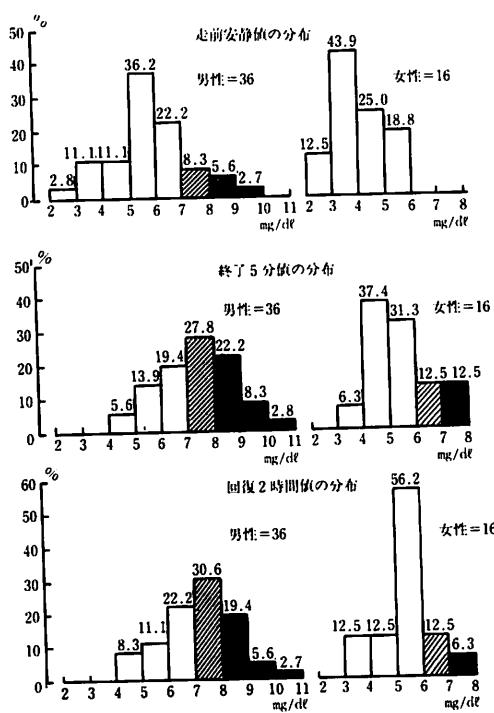
ビール摂取実験は、12分間全力走終了5分後の採血、採尿終了後に10°Cに冷却したビール1ℓを摂取させた。その後坐位安静を保持させ、回復1時間後、2時間後に採血、採尿を実施した。

0.5%重曹水摂取実験は、すべてビール摂取実験と同様に実施した。

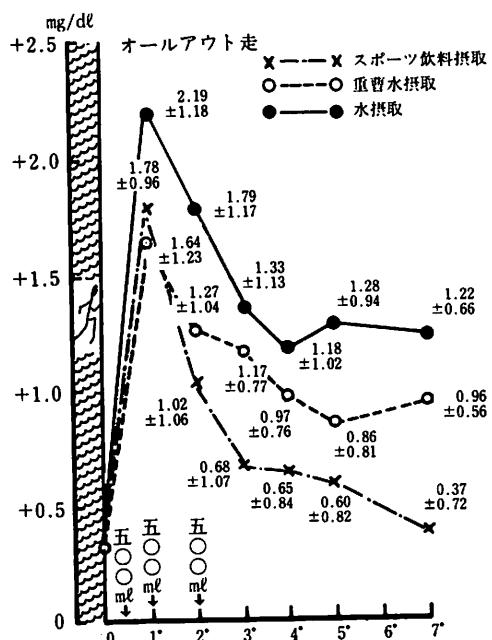
これらの対照として、12分間全力走後に何も摂取せず安静を保持させる実験を行った。これら3実験は1週間以上の間隔をあけて実施した。

実験2、3の測定項目及び方法は、血清及び尿中尿酸(ウリカーゼ・ペルオキシダーゼ法、三重測定)、クレアチニン(フォーリン・ウエーブ法)、浸透圧(氷点降下法)、血中乳酸(UV法)、血清水分量(TP法)、尿中Na、K(炎光法)、Cl(滴定法)、pH(電極法)、比重(屈折法)である。

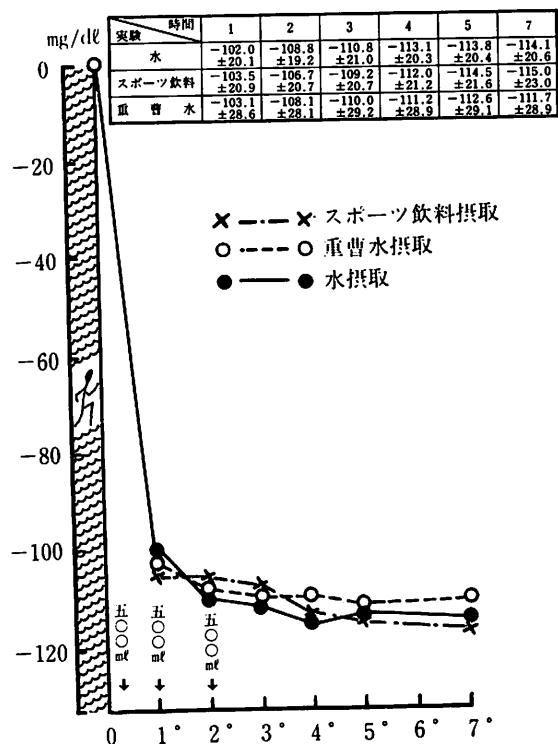
なお実験2では、運動中の心拍数(胸部導出法)、酸素摂取量(ダグラスバック法)を測定した。



図III-1 12分間全力走前、終了5分及び2時間後の血清尿酸値の分布



図III-2 トレッドミルでのオール・アウト走後にスポーツ飲料、重曹水及び水を摂取させた場合の血清尿酸値の変化



図III-3 トレッドミルでのオールアウト走後にスポーツ飲料、重曹水及び水を摂取させた場合の血中乳酸値の変化

結果

実験 I：運動部員の血清尿酸値の分布、及び12分間全力走後の変化

運動部員の血清尿酸値の分布（図III-1）は、男性で正規分布を示したが、女性では例数が少なく判然としなかった。高尿酸血症の分布は男性（7 mg/dl 以上を異常値とする）では16.6%であったが、女性（6 mg/dl 以上を異常値とする）では0%であった。

平均値及び標準偏差は、男性で 5.7 ± 1.4 、女性では 4.0 ± 0.9 mg/dl であった。

12分間全力走後の血清尿酸値の分布（図III-1）は、終了5分後値及び回復2時間後値において、いずれも男性で正規分布を示したが、女性では判然としなかった。高尿酸現象を示した者は、終了5分後で男性61.1%、女性25.0%、回復2時間後で男性58.3%、女性18.8%であった。

平均値及び標準偏差は、終了5分後値が男性で 7.3 ± 1.4 、女性で 5.3 ± 1.1 mg/dl であり、いずれ

も走前安静値より高値 ($P < 0.001$) であった。回復 2 時間後値では、男性で 7.2 ± 1.4 、女性で $5.4 \pm 0.9 \text{ mg/dl}$ で終了 5 分後値と大差なかった。

本実験における 12 分間全力走の走行距離は、男性 $3077 \pm 291 \text{ m}$ 、女性 $2784 \pm 203 \text{ m}$ であった。

実験 2：運動後の水、スポーツ飲料及び重曹水摂取が尿酸代謝に及ぼす影響

オールアウト走後の水摂取実験、スポーツ飲料摂取実験、重曹水摂取実験の HRmax はそれぞれ 196 ± 7 、 200 ± 5 、 205 ± 4 拍/分であり、 $\dot{V}O_{2\text{max}}$ は 46.5 ± 6.8 、 50.6 ± 3.5 、 $54.9 \pm 4.8 \text{ ml/kg/min}$ であった。

血清尿酸値 (図 III-2) は、水、スポーツ飲料及び重曹水摂取の三実験いずれも 500ml 摂取 1 時間後においても上昇し最高値を示したが、なかでも水摂取時が最も著しかった。その後 1 時間おきに 2 回、各 500ml 摂取させたところ、スポーツ飲料摂取実験の低下が最も著しく、次いで重曹水摂取

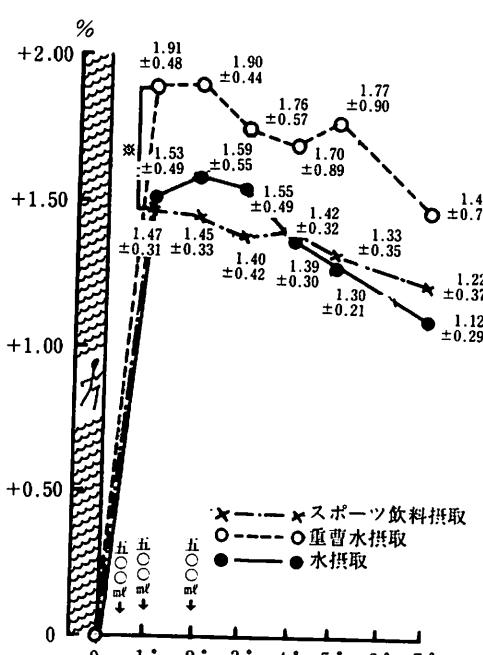


図 III-4 トレッドミルでのオールアウト走後にスポーツ飲料、重曹水及び水を摂取させた場合の血清尿酸値の変化 (* $P < 0.05$)

実験であり、水摂取実験の低下が最も悪かった。

血中乳酸値は (図 III-3)，三実験のいずれにも差がなかった。

血清水分値 (図 III-4) は、重曹水摂取時の増加が著しく ($P < 0.05$)、他の二実験では大差なかった。

血清浸透圧値 (図 III-5) は、水摂取実験が最も低下したが、他の 2 実験では大差なかった。

尿量 (図 III-6) では、各実験とも摂取 3 時間後までは大差なく、その後重曹水摂取実験で低値傾向を示した。

尿 pH (図 III-7) は、第 1 回目の 500ml 摂取 1 時間後において各実験に大差なかったが、第 2 回目の 500ml 摂取の通算 2 時間後から重曹水実験が高値を示し ($P < 0.05$)、以後 7 時間まで高値を持続 ($P < 0.05$) した。スポーツ飲料実験は、水実験よりも高値傾向を示したが、重曹水実験よりも低値 ($P < 0.05$) であった。

尿比重 (図 III-8) は、第 1 回目の 500ml 摂取

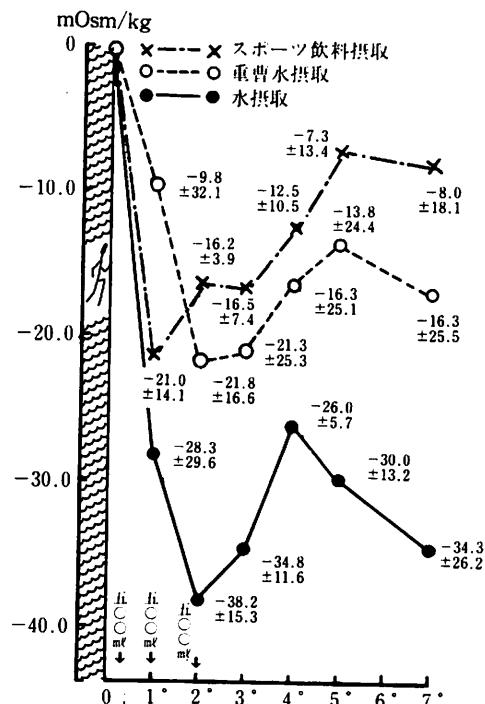
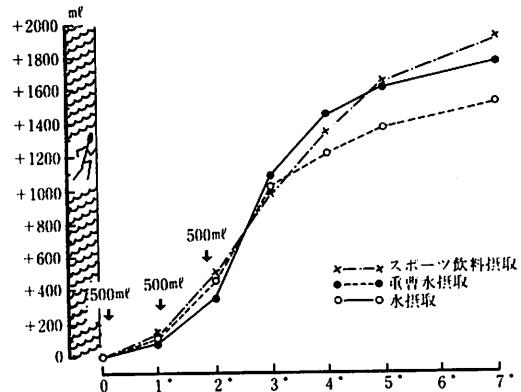
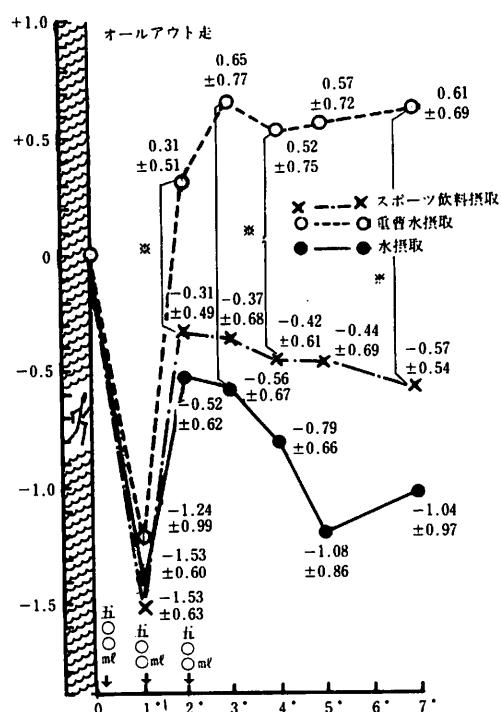


図 III-5 トレッドミルでのオールアウト走後にスポーツ飲料、重曹水及び水を摂取させた場合の血清浸透圧値の変化

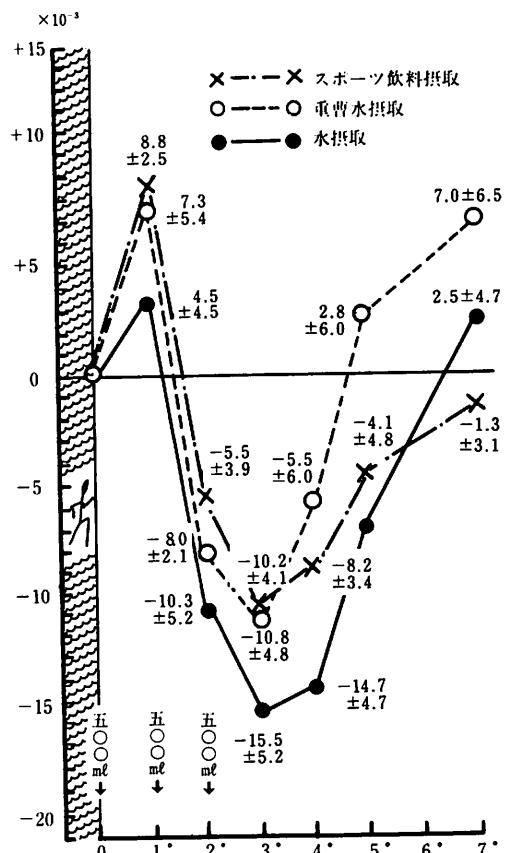
実験	時間	1	2	3	4	5	7
水		98.2 ± 45.2	364.8 ± 196.2	1096.3 ± 192.1	1456.6 ± 285.2	1621.9 ± 363.3	1767.5 ± 429.7
スポーツ飲料		113.4 ± 42.3	507.4 ± 203.2	997.0 ± 337.4	1358.8 ± 490.3	1647.7 ± 512.4	1916.9 ± 592.3
重曹水		107.7 ± 100.7	461.4 ± 225.9	1021.4 ± 290.7	1252.3 ± 369.2	1381.9 ± 381.6	1517.3 ± 419.0



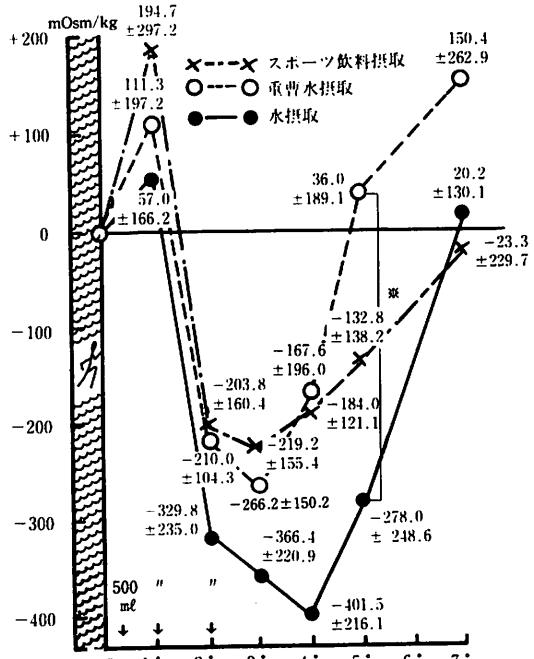
図III-6 トレッドミルでのオールアウト走後にスポーツ飲料、重曹水及び水を摂取させた場合の尿量の変化（運動直後からの累積値）



図III-7 トレッドミルでのオールアウト走後にスポーツ飲料、重曹水及び水を摂取させた場合の尿pHの変化（* P < 0.05）



図III-8 トレッドミルでのオールアウト走後にスポーツ飲料、重曹水及び水を摂取させた場合の尿比重の変化



図III-9 トレッドミルでのオールアウト走後にスポーツ飲料、重曹水及び水を摂取させた場合の尿浸透圧値の変化（* P < 0.05）

1時間後においても各実験が増加したが、その後3時間まで低下し、4時間目から上昇しはじめ、重曹水実験が他の二実験より高値傾向を示した。

尿浸透圧値(図III-9)は、尿比重と類似した傾向を示したが、摂取後2~5時間値で水実験が他の二実験より低値を示し、5~7時間値は重曹水実験が他の二実験よりも高値($P < 0.05$)を示した。

尿中Na排泄量(図III-10)は、重曹水とスポーツ飲料実験に大差なく、水実験が低値傾向を示した。

尿中K排泄量(図III-11)は、摂取2時間後より重曹水が、5時間後よりスポーツ飲料が高値を示し、以後重曹水、スポーツ飲料、水の順となった。

尿中Cl排泄量(図III-12)は、三実験に大差が認められなかった。

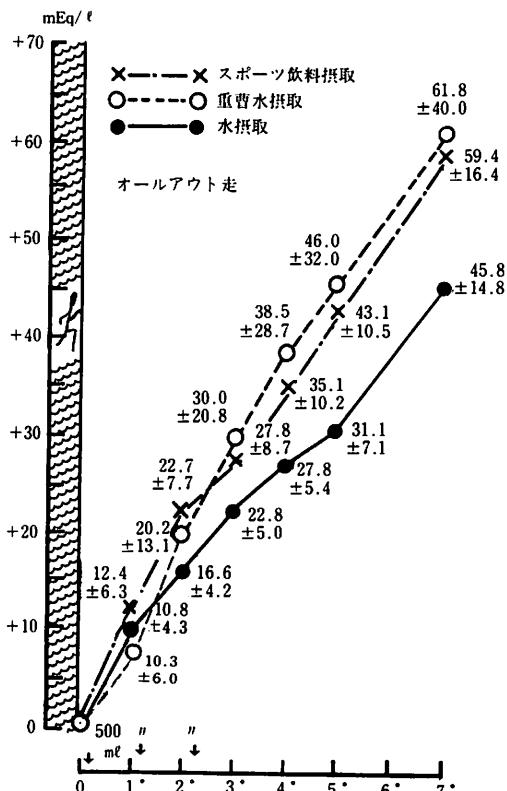
尿中尿酸排泄量(図III-13)は、三実験とも1時間後で大差なく、2時間後より重曹水摂取実験の

排泄高進が認められた。また3時間後からはスポーツ飲料摂取実験の排泄が高進し、4時間後からは、重曹水、スポーツ飲料、水摂取実験の順となつた。

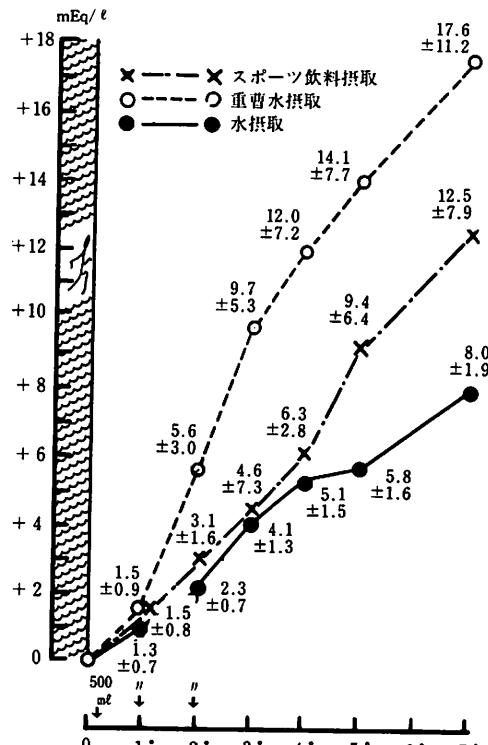
クレアチニン・クリアランス(図III-14)は、重曹水摂取実験において著しく高進し、ついでスポーツ飲料、さらに水摂取実験の順となつた。全体として、摂取1時間後に上昇し、以後3~4時間まで減少し、その後は再び上昇する傾向を示した。

尿酸クリアランス(図III-15)は、全て1時間後に下降し、2時間後には上昇し、以後再び低下する傾向を示した。三実験中、重曹水の高進が著しく、他の実験間に大差なかった。

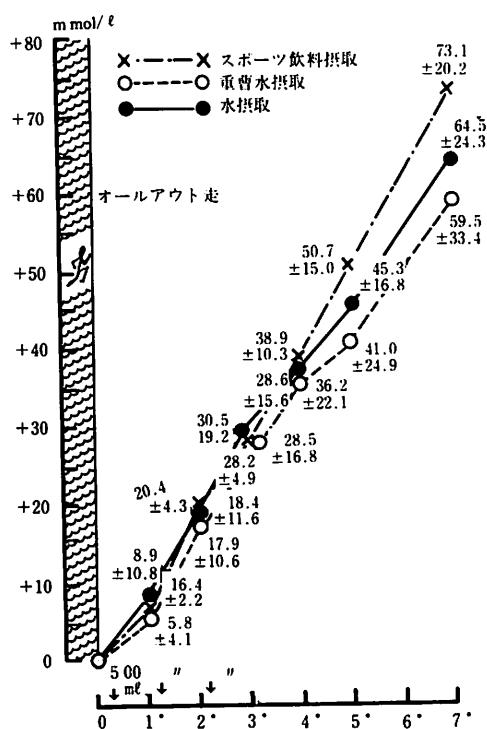
尿酸糸球体済過量(図III-16)は、全体としてクレアチニン・クリアランスと同様の動態を示した。三実験では、重曹水の高進が著しく、ついでスポーツ飲料、水摂取実験の順となつた。



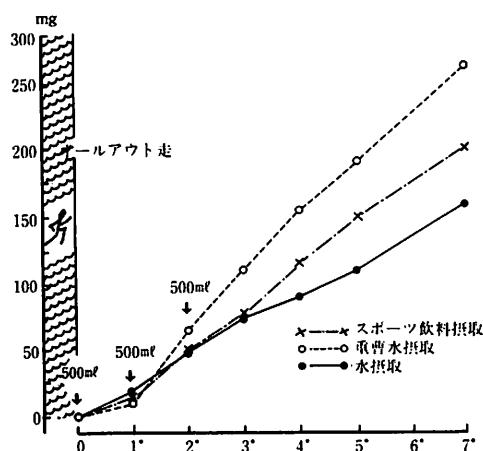
図III-10 トレッドミルでのオールアウト走後にスポーツ飲料、重曹水及び水を摂取させた場合の尿中Na排泄量の変化(運動直後からの累積)



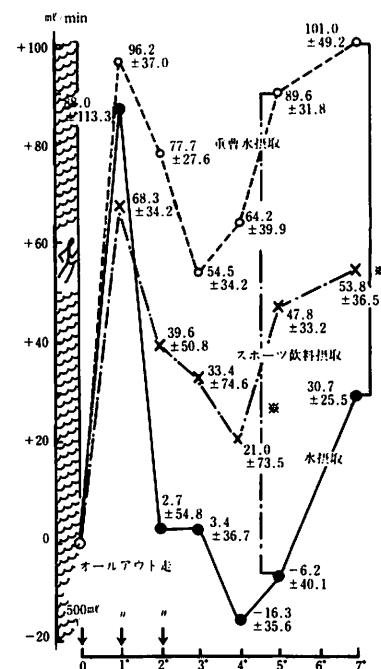
図III-11 トレッドミルでのオールアウト走後にスポーツ飲料、重曹水及び水を摂取させた場合の尿中K排泄量の変化(運動直後からの累積)



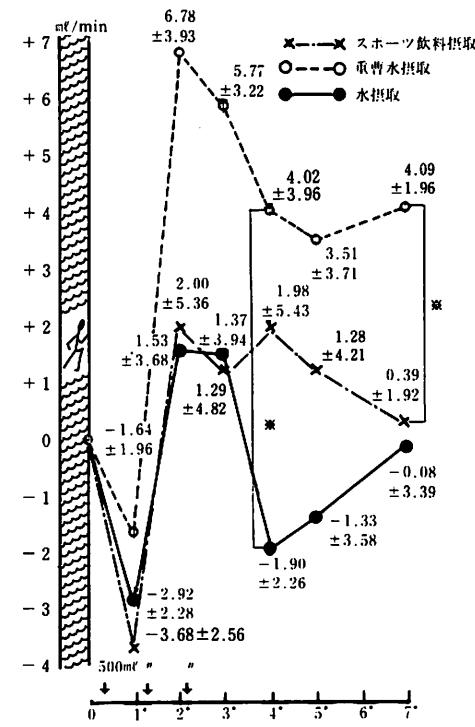
図III-12 トレッドミルでのオールアウト走後にスポーツ飲料、重曹水及び水を摂取させた場合の尿中Cl排泄量の変化（運動直後からの累積）



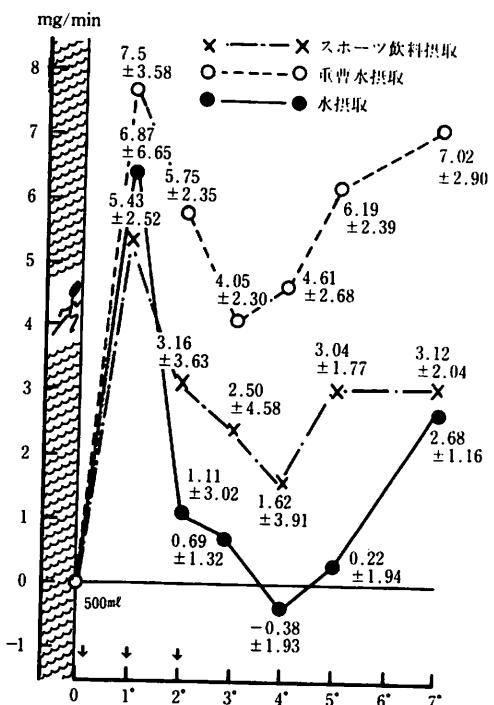
図III-13 トレッドミルでのオールアウト走後にスポーツ飲料、重曹水及び水を摂取させた場合の尿中尿酸排泄量の変化（運動直後からの累積値）



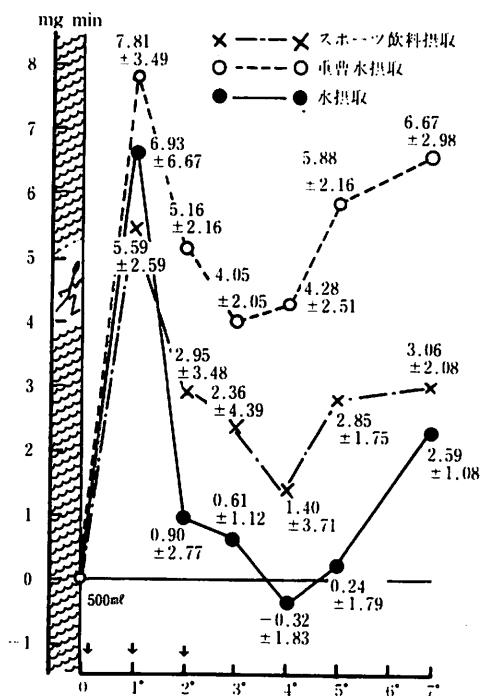
図III-14 トレッドミルでのオールアウト走後に、スポーツ飲料・重曹水・及び水を摂取させた場合のクリアチニンクリアランスの変化
※P<0.05



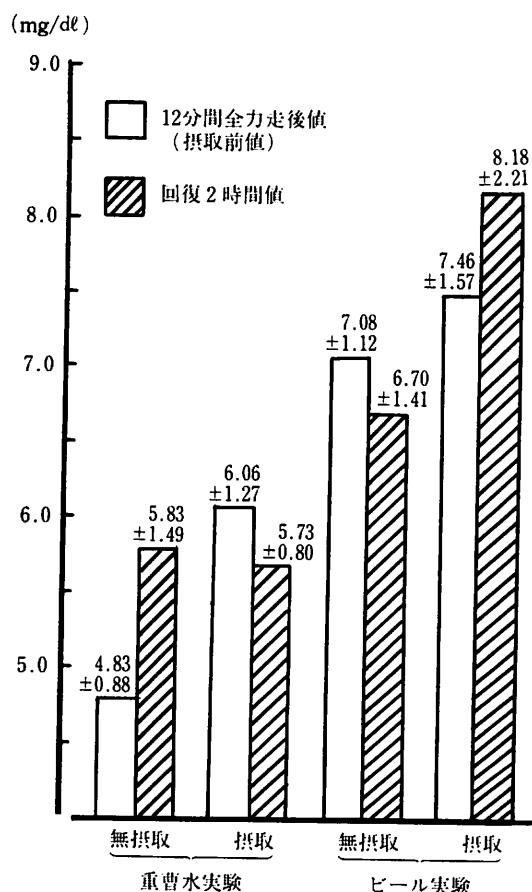
図III-15 トレッドミルでのオールアウト走後のスポーツ飲料、重曹水及び水を摂取させた場合の尿酸クリアランスの変化
※P<0.05



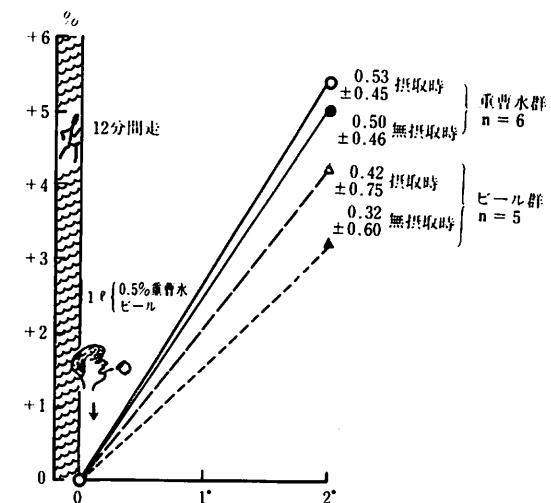
図III-16 トレッドミルでのオールアウト走後にスポーツ飲料・重曹水・及び水を摂取させた場合の尿酸系球体過量の変化



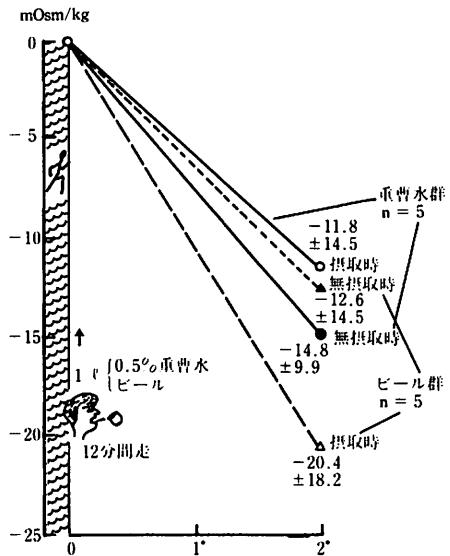
図III-17 トレッドミルでのオールアウト走後にスポーツ飲料・重曹水・及び水を摂取させた場合の尿酸尿細管再吸収量の変化



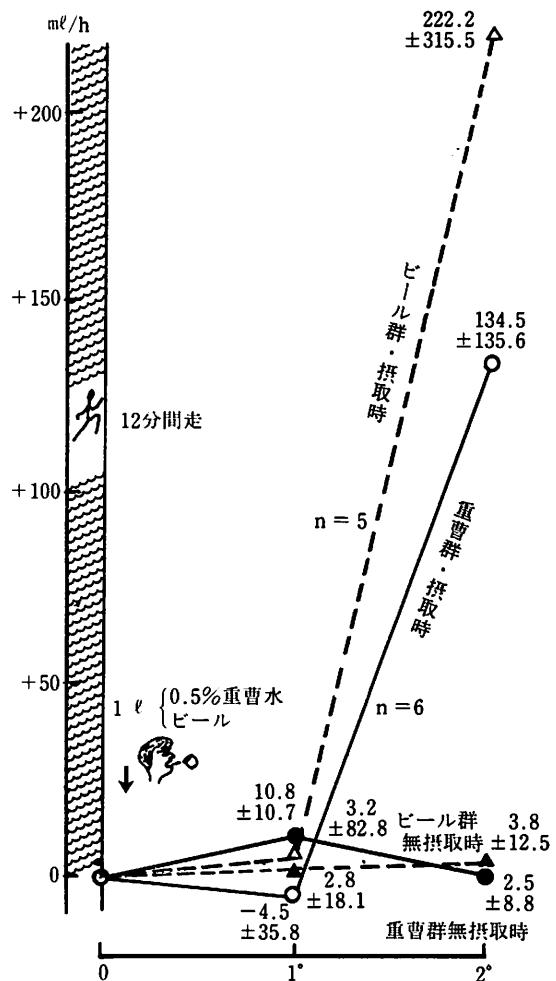
図III-18 12分間全力走後に 1 ℥ の 0.5% 重曹水及びビールを摂取させた場合の血清尿酸値の変化



図III-19 12分間全力走後に 1 ℥ の 0.5% 重曹水及びビールを摂取させた場合の血清水分値の変化



図III-20 12分間全力走後に1ℓの0.5%重曹水及びビールを摂取させた場合の血清浸透圧値の変化



図III-21 12分間全力走後に1ℓの0.5%重曹水及びビールを摂取させた場合の尿量の変化(時間尿)

尿酸尿細管再吸収量(図III-17)は、全体としてクレアチニン・クリアランス及び尿酸糸球体沪過量と同様の動態を示した。三実験についても同様で、重曹水摂取実験の高進がもっとも著しく、ついでスポーツ飲料、水摂取実験の順であった。

実験3：運動後のビール及び重曹水摂取が尿酸代謝に及ぼす影響

12分間全力走終了後に、1ℓの0.5%重曹水及びビールを摂取させた場合の血清尿酸値の変化を図III-18に示した。

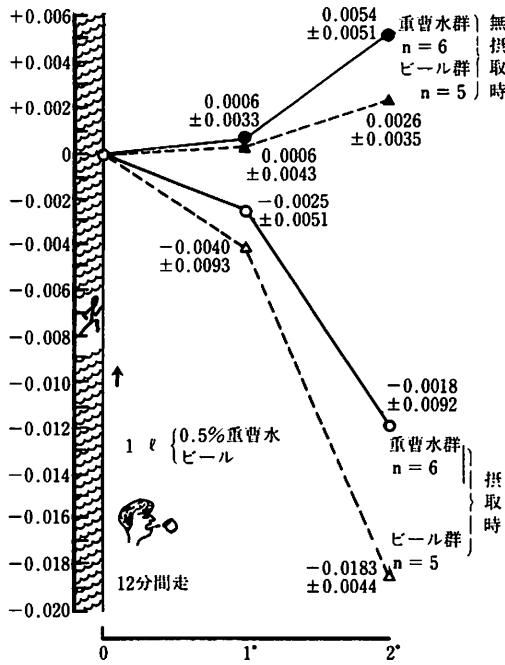
0.5%重曹水1ℓ摂取実験では、対照の無摂取時の回復2時間値が、平均+1.00mg/dlであった

のに比し、摂取時には-0.33mg/dlとなり、その差は1.33mg/dlにも及んだ。

ビール1ℓ摂取実験では、対照の無摂取時の回復2時間値が、平均-0.38mg/dlとなったのに比し、摂取時には+0.72mg/dlとなり、むしろ増加の傾向を示した。

血清水分値(図III-19)は、ビール無摂取時に比し、摂取時の増加が大きい傾向を示した。しかし、0.5%重曹水摂取実験では、無摂取の対照実験と差がなかった。

血清浸透圧値(図III-20)は、血清水分値と逆に低下したが、ビール無摂取時の対照実験に比し、摂取実験の低下が大きい傾向を示した。しかし、



図III-22 12分間全力走後に1ℓの0.5%重曹水及びビールを摂取させた場合の尿比重の変化

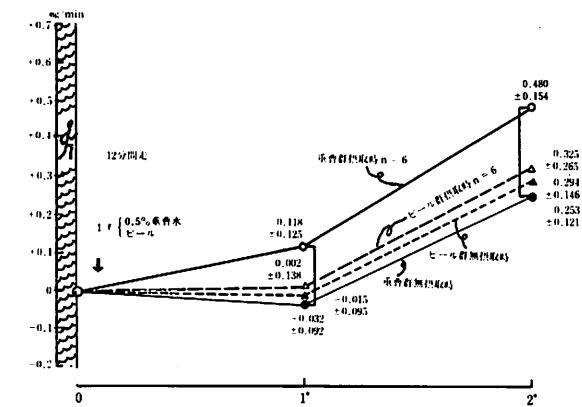
0.5% 重曹水摂取時には、無摂取時との差は認められなかった。

尿量(図III-21)は、摂取1時間後では、いずれも変化が少なく、2時間後ではビール摂取時がもっとも多く、無摂取時の約90倍、0.5% 重曹水摂取時は無摂取時の約35倍であった。

尿比重(図III-22)は、無摂取実験に比し、摂取実験では1時間後で、すでに低下し(0.5% 重曹水 $P < 0.05$)、2時間後では低下が著しく、0.5% 重曹水では対照の -7.4^{-3} ($P < 0.01$)、ビールでは -20.9^{-3} ($P < 0.001$)となった。

尿中尿酸排泄量(図III-23)は、無摂取実験に比しビール摂取実験では差がなかったが、0.5% 重曹水摂取実験では1時間後に $+15^{-2} \text{mg}/\text{min}$ ($P < 0.05$)、2時間後には $+23^{-2} \text{mg}/\text{min}$ ($P < 0.05$)の増加となった。

クレアチニン・クリアランス値(図III-24)は、

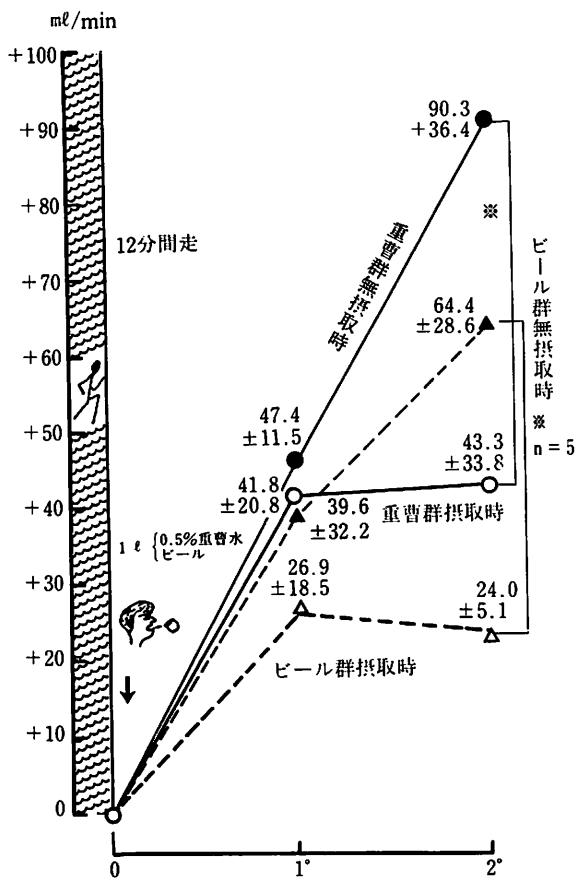


図III-23 12分間全力走後に1ℓの0.5%重曹水及びビールを摂取させた場合の尿中尿酸排泄量の変化(分時)

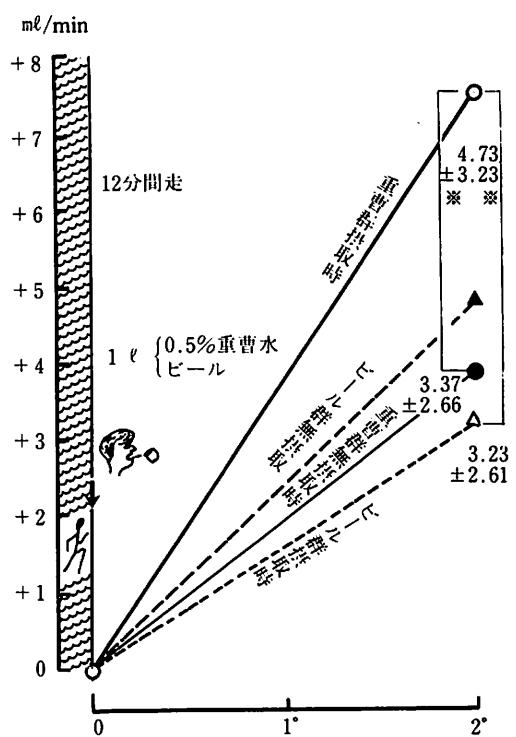
いずれも1時間後値に大差がなく僅かにビール摂取時に低値を示したに過ぎない。しかし、2時間値は無摂取時にいずれも比例的に上昇しているのに対し、摂取時にはいずれもプラトー化し上昇しなかった。したがって2時間値は、0.5% 重曹水摂取時が対照より -48% ($P < 0.05$)、ビール摂取時が対照よりも -37% ($P < 0.05$)の低値を示した。

尿酸・クリアランス値(図III-25)は、無摂取時に比しビール摂取の方が低値傾向を示したが、0.5% 重曹水摂取時には無摂取時に比し2倍($P < 0.05$)、ビール摂取時と比較しても2.3倍($P < 0.05$)の増加となった。

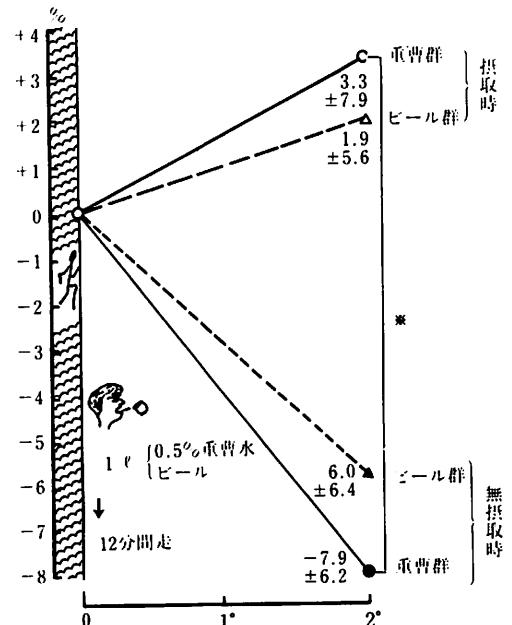
クレアチニン・クリアランスに対する尿酸・クリアランスの比(図III-26)は、無摂取実験では低下したのに比し、摂取実験では増加し、0.5% 重曹水で $+11.2\%$ ($P < 0.05$)、ビールで $+7.9\%$ の増加傾向を示した。



図III-24 12分間全力走後に1ℓの0.5%重曹水及びビールを摂取させた場合のクレアチニクリアランスの変化
※ P < 0.05



図III-25 12分間全力走後に1ℓの0.5%重曹水及びビール摂取させた場合の尿酸クリアランスの変化
※ P < 0.05



図III-26 12分間全力走後に1ℓの0.5%重曹水及びビールを摂取させた場合のクレアチニクリアランスに対する尿酸クリアランスの割合の変化
※ P < 0.05

考 察

運動後に血清尿酸値が一過性に上昇する現象は数多く報告されている¹⁾³⁾⁴⁾⁵⁾⁶⁾⁷⁾⁸⁾⁹⁾¹⁰⁾。運動性高尿酸現象は、一過性とはいいうものの回復が非常に悪く、著者ら⁵⁾は exhaustive test 後、24時間経過しても約10%の高値を示したと報告している。また運動強度と高尿酸現象について、著者は¹³⁾ 60% VO_{2max} 相当強度以上において高尿酸現象が認められることを報告している。これらは、スポーツ活動において高尿酸現象はさけ得ず、累積すると恒久化して高尿酸血症化する恐れがあることを示唆している。

これらをふまえて、運動部員の高尿酸血症者の実態調査を実施した処、異常者は男性で16.6%，女性0%であった。西岡ら⁹⁾はプロ野球選手の高尿酸血症者は34%であったと報告しており、また元東京オリンピック日本選手の第4回健康診断⁶⁾を著者が集計してみると、男性48.6%，女性43.8%が異常者であり、今回の調査と比較すると男性で2～3倍程度であり、女性では大差となった。その原因は定かではないが、今回の対象はスポーツ歴が5～10年で短いこと、プロやオリンピック選手手の練習内容の差なども関係して、未だ恒久化した高尿酸血症への進行がみられないものと考えられる。しかし本調査結果は、運動していない人々と比較すると²⁾¹¹⁾¹²⁾、2.5～3.5倍の高分布になった。

運動部員の12分間全力走後の運動性高尿酸現象の発現率は終了2時間経過時でも、男性で58.3%，女性18.8%であった。この他、20,000m 走行実験で血清尿酸値が6.3から8.4mg/dlへと上昇したという報告⁸⁾、15日間の重量挙げ宿において16名全員が異常値となったという報告もある⁹⁾。このような運動性高尿酸現象の発現機序について、著者ら⁴⁾は尿酸排泄剤 benecid と尿酸生成抑制剤 allopurinol を用いた実験から、腎臓からの尿酸排泄低下に加えて、体内での尿酸生成の増加の及ぼす影響が大きく関与していることを報告している。

運動性高尿酸血症の予防には、運動性高尿酸現象を、その都度解消して血清尿酸が累積加算されないような方法を考えねばならない。御巫¹⁴⁾は水分摂取の重要性を示唆しているが、著者らは水摂

取よりも、某スポーツ飲料の摂取がより効果的であることを報告した。今回は、これをふまえて、ビール及び0.5%の重曹水摂取実験を追加した。その結果、運動性高尿酸現象の解消に効果的であったのはスポーツ飲料及び0.5%重曹水であり、ビールについては、むしろ改悪の傾向が認められた。

尿酸は、生理的範囲内での変動なら尿pHが高い程、尿中への尿酸溶解度が高まるといわれている¹⁴⁾。この点、重曹は尿をアルカリ化し、尿酸排泄を促進するため、痛風及び高尿酸血症の治療に用いられている¹⁴⁾。これが運動性高尿酸現象の解消に対しても効果的であるか否か、非常に興味深かった。運動性高尿酸現象を示している際の尿pHは、H⁺の増加が考えられるが、H⁺は重曹水のHCO₃⁻によって緩衝され、さらにアルカリ化が促進され、それにより尿酸の尿中溶解が促進されて排泄量が増加したものと考えられる。

ビールについては、一般にアルコール摂取が尿酸排泄に悪影響を及ぼすと考えられている。Lieberらは¹⁶⁾、アルコール経口投与により血清尿酸値が上昇するが、これはアルコール摂取に伴い血中乳酸値が上昇して、腎臓の尿酸排泄を阻害しているためであろうと報告している。この考え方は他の研究者も支持している。

本研究でのビール摂取実験では、尿量がもっとも多く、尿比重が大きく低下している。これは、尿中成分が少なく、水分のみを排泄していることを示唆している。ビールには利尿作用があり、尿細管での水分再吸収を抑制しているが、そのため尿量は多いが尿酸排泄の効率は必ずしもよくないものと考える。スポーツ飲料は、重曹水と同様に運動性高尿酸現象の解消に及ぼす影響がみられたが、その原因是、この飲料が水に比し浸透圧が285.6mosM/lと体液に近く水分の吸収に有利であること、また尿のアルカリ化にわずかながら貢献しているためと考えられる。

水摂取実験での血清尿酸の低下が必ずしも最良でなかったのは、クレアチニン・クリアランス(糸球体沪過量の指標)が水摂取において最低値であったにもかかわらず、排泄された尿量はスポーツ飲料と大差なかった。これはイオン交換水という極端に低張な水分の多量摂取に対して、体内浸透

圧バランスを保つため尿酸その他の再吸収を行ないながらも、抗利尿ホルモン(ADH)の分泌が抑制され、遠位尿細管での水分再吸収が抑制され水分の排泄を高進したためと考えられる。

昨年度著者らは、32°C、湿度60%環境下での1時間走後に、同種スポーツ飲料500mlを摂取させたところ、水摂取よりも運動性高尿酸現象の解消に貢献することを認めたため、今回はさらに著しい運動性高尿酸現象を惹起せしめ、摂取量も一度に1ℓ、または500mlを1時間おきに3回(計1.5ℓ)摂取させる実験を試みたが、必ずしも著明な低下とならなかった。多量の水分摂取は、ビール排泄にみられた結果と同様、尿中水分量のみの増加となり、尿酸の排泄量は水分摂取量に必ずしも比例しないものと考えられる。むしろ水分の摂取量よりも、摂取飲料中に何が含まれているかの方が問題であり、特に重曹を至適量添加することがより重要と考える。

前述の如く、60%VO₂max強度以上の運動において、高尿酸現象が発現する以上、スポーツ活動において、これを避けることができない。運動性高尿酸現象を早目に解消して、高尿酸血症への進行をさけるためには、上記の配慮が必要と考える。今後、この方面的詳細な研究が望まれる。

まとめ

運動部員の高尿酸血症者の実態調査、及び運動部員に12分間全力走を実施した場合の運動性高尿酸現象の発現状況調査を実施した(実験-1、19~21歳大学運動部員、男性36名、女性16名)。また、運動性高尿酸血症の予防を目的として、exhaustive test後にイオン交換水、スポーツ飲料(某種)及び0.5%重曹水1.5ℓを摂取させた場合の尿酸代謝に及ぼす影響について検討した(実験-2、18~25歳非鍛練大学生男性6名)。

さらに、同上の目的で12分間全力走実施後に、0.5%重曹水及びビール1ℓを摂取させた場合の尿酸代謝について、無摂取実験を対照に検討した(実験-3、19~21歳大学運動部員、男性4名、女性7名)。

主な結果は次の通りである。

実験-1の結果

1) 大学運動部員の高尿酸血症者は、男性16.6%、女性0%であった。

2) 大学運動部員12分間全力走後の運動性高尿酸現象発現率は、終了後2時間を経過しても男性58.3%、女性18.8%であった。

実験-2の結果

1) 非鍛練者のexhaustive test後の血清尿酸値の低下に、もっとも効果的であったのはスポーツ飲料摂取であり、次いで0.5%重曹水、水摂取の順であった。

2) 尿中尿酸排泄量は、0.5%重曹水摂取実験がもっとも多く、次いでスポーツ飲料、水摂取実験の順であった。

3) 尿酸クリアランスは、0.5%重曹水摂取実験の高進が著しく、他の実験では大差なかった。飲料、水摂取実験の順であったが、尿細管再吸収量も同様であったため、血清尿酸値の低下に大差がつかなかった。

実験-3の結果

1) 大学運動部員12分間全力走後の血清尿酸値の低下に、もっとも効果的であったのは、0.5%重曹水摂取であり、ビール摂取では、むしろ増加した。

2) 尿中尿酸排泄には、重曹水摂取が効果的で、ビール摂取では、無摂取実験と大差がなかった。

3) 尿酸クリアランスは、重曹水摂取が無摂取に比し2倍($P < 0.05$)、ビール摂取時の2.3倍($P < 0.05$)であった。

以上の結果を総括すると、運動後の尿酸クリアランスに、もっとも効果的であったのは0.5%重曹水摂取であり、次いでスポーツ飲料、水、ビールの順序であった。

文 献

- 1) 伊藤 朗 (1982) : スポーツ活動後にスポーツ飲料を摂取させた場合の血中・尿中化学成分値の変化。昭和56年度日本体育協会スポーツ科学研究報告、29~46。
- 2) 伊藤 朗 (1980) : 大穂町住民の血清尿酸値に関する約3年間の縦断的追跡研究。国民体力研究、第5報、23~41。

- 3) 伊藤 朗, 田崎 洋佑, 岩本圭司, 吉野 芳夫 (1982), 高尿酸血症者の運動処方, 運動処方研究, 193~215。
- 4) 三上俊夫, 丹 信介, 栗林 徹, 伊藤 朗 (1983), 運動性高尿酸現象の要因について, 尿酸, 投稿中。
- 5) 伊藤 朗, 井川幸雄(1974), 運動の諸測定値におよぼす影響, 臨床病理, 22, 82~101。
- 6) 昭和55年度, 日本体育協会スポーツ科学研究会報告: (1982), No. VI, 東京オリンピック記念体力測定, 第4回報告。
- 7) 昭和55年度, 日本体育協会スポーツ医科学研究報告(1982): No. 2, 第4報, ウエイトリフティング選手の血清尿酸値と食生活の実態についての調査研究。
- 8) 同上, 柔道
- 9) 西岡久寿樹, 広瀬和彦, 大井淋雄, 御巫清九, 中山年正, 北村元仕(1977), 筋運動に伴うプリンヌクレオチド代謝動態の研究—第一報—スポーツ選手における痛風, 高尿酸血症の頻度について, 尿酸 1 (2), 107~113。
- 10) 広瀬和彦, 西岡久寿樹他(1978): スポーツ選手における尿酸代謝の研究(IV報), 経時的血清尿酸値の推移について, 尿酸, 2 (1), 73~84。
- 11) 西岡久寿樹, 御巫清九: 高尿酸血症の病態と処方計画, 老年医学, 14, 959~966。
- 12) 岡田光男他(1976), 久山町住民の性別, 年令階級別血液化学値について(3)尿酸値, 日本老年医学会雑誌, 13(1), 63~64。
- 13) 伊藤 朗 (1982): 運動によるからだの生化学的变化, 運動の仕組みと応用, 医歯薬出版, 中野昭一編, 166~167。
- 14) 御巫清九(1976): 痛風, 新臨床医学文庫 5 , 金原出版, 56。
- 15) 丸野義和(1975): 体液平衡異常と腎臓, 医学書院, 58。
- 16) Charles S. Lieber, Don P. Jones, Monty S. Losowsky and Charles S. Davidson(1962): Interrelation of uric acid and ethanol metabolism in man. J. Clin. Invest. 41(10), 1863~1870.
- 17) John Nichols, A. T. Miller, Jr. and E. P. Hiatt (1951): Influence of muscular exercise on uric acid excretion in man. J. Appl. Physiol., 3, 501~507。

