

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

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. 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

報告者 財)日本体育協会 研究プロジェクトチーム
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班

班長 細谷 憲政¹⁾

班員 井川 幸雄²⁾ 堤 達也³⁾ 伊藤 朗⁴⁾
奥恒行¹⁾

担当研究員 金子 敬二⁵⁾

研究概要

執筆者 細谷 憲政

運動するにあたって、食事はトレーニング以上に重要な問題でもある。私達の身体の組成は、食べ物の栄養素によって常に置き換えられているし、また、身体活動のためのエネルギーなども食べ物からもたらされている。しかしながら、身体機能の補強・増大、あるいは、運動機能の補強・増大に対しては、食事の影響は、トレーニングの効果に比べて、その効果の発現は遅く、また、その結果は複雑であって、その効果を端的に評価することのできない場合が多い。さらに、このような食物の影響に関して、身体側面から科学的に観察した報告は非常に少ない。

それにもかかわらず、一般的には、食べ物について、長期的な結果として、その効果を期待する蛋白質や脂質などの栄養素を含む食べ物と、即効的な効果を期待する糖質、ビタミン類、無機質などを含む食品とがあるとも考えられている。

一方、運動中に水分を摂取することは、運動を

継続している生体の諸機能に対して何らかの影響を及ぼして、競技成績などに必ずしも好ましい結果はもたらされないと、経験的に言われてきた。しかしながら、最近の傾向としては、高温下の運動においては、適度の水分の補給は効果的であるとも言われている。とくに、腸管からの吸収が速いと見做されている糖質やビタミン類などを含有している等張含塩水溶液の摂取は運動の継続や身体状況に対してより効果的であるとも提唱されている。

運動と水分摂取との関係は、発汗によって喪失する水分の補給、発汗によって喪失する塩分の補給、体温の直接あるいは間接的な調節、栄養素の補給、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、疲労の回復などを目的として、水溶液の摂取が考えられている。しかしながら、水溶液摂取の時間、水溶液の量、ならびに、その溶液に含有されている栄養素などの内容によっては、その摂取による影響は、必ずしも、効果的に作用するとは言い切れない場合があるとも思われる。高温、高湿度の環境下においては、皮膚血

¹⁾東京大学 ²⁾東京慈恵会医科大学 ³⁾明治生命厚生事業団体力医学研究所 ⁴⁾筑波大学 ⁵⁾財)日本体育協会スポーツ科学研究所

流量が増大し、stroke volume が減少するので、その代償として、心拍数の増加することが考えられる。このような環境において運動する場合には、発汗がいちじるしく増大し、皮膚の血流量も増加し、また、体内水分量の不足などとも相俟って、循環血流量の減少、さらに、それに付随した血圧降下の現象なども引き起こされてくることが考えられる。

そこで、高温、高湿度の環境下において、持久的な運動を実施した後の回復過程に対して、即効的な効果が期待できると言われている、いわゆるスポーツドリンクについて、その効果を観察してみることにした。運動の負荷は、室温 32°C、湿度 60% の環境条件下において、トレッドミル 30 分間走を 2 回、10 分間の休息をはさんで実施した（強度：70% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ ）。運動終了 3 分後に、測定ならびに試料採取した後、10°C に冷却した水溶液 500 ml を摂取させた（スポーツドリンク投与群：SD 群）。対照としては、同様に、10°C に冷却した蒸溜水 500 ml を摂取したもの（蒸溜水投与群：W 群）と、何も飲ませないもの（無投与群：N 群）について比較観察をおこなった。

観察実験は、3 班に分かれて施行された。第 1 班は、水溶液投与後の 1 時間の経過が観察され、特に、体内代謝については、ブドウ糖の推移ならびに、これと関連する代謝産物であるピルビン酸、乳酸、アラニン、遊離脂肪酸、グリセロールなどについて、主として観察がおこなわれ、エネルギー代謝との関連が考察された（堤班員報告）。第 2 班は、水溶液投与後の 2 時間の経過が観察され、特に、体内代謝については、血液成分値の変動ならびに尿中排泄化合物の測定から、塩類代謝の関係が観察され、renin-angiotensin-aldosterone 系関与の関係が考察された（井川班員報告）。第 3 班は、水溶液投与後の 5 時間の経過（室温 32°C において安静）ならびにその後の 17 時間（室温、水溶液投与後の 22 時間）の経過が観察された。また血液成分の変動ならびに尿中排泄化合物の測定から、特に尿酸代謝の関係が観察され、その機序についても考察されている（伊藤班員報告）。

高温、高湿度の環境において 60 分間運動した場合の回復過程に対して、スポーツドリンク溶液投

与群ならびに蒸溜水投与群は、無投与群に比べて、発汗量には有意の増加は認められなかった。しかしながら、血液濃縮の指標であるヘマトクリット値を効果的に低下させ、また、内部体温の指標である直腸温度の低下にも効果的に作用していた。このことは、摂取したスポーツドリンク水溶液ならびに蒸溜水が汗となって、運動時に上昇した体温を低下させるのに関与するのではないと言える。むしろ、これらの水溶液ならびに蒸溜水が、体内に貯留して、濃縮した血液を稀釀すると同時に冷却することによるためと思われる。また、ヘマトクリット値ならびに直腸温度に対する影響について水溶液ならびに蒸溜水の間に差異はみられなかった。それゆえ、血液の稀釀効果ならびに体温の冷却効果は、水分摂取にともなう影響と考えられる。

一方、スポーツドリンク水溶液を投与した場合には、蒸溜水投与の場合に比べて、血液成分値に、いろいろな変動が観察された。血糖ならびに糖代謝の代謝産物、さらに、糖代謝と関連する代謝産物の変動パターンは、ブドウ糖を投与した場合の変動パターンに類似していた。それゆえ、水溶液投与にみられたこれらの血液成分値の変動は、スポーツドリンク中に含有されるブドウ糖の影響と考えられる。それゆえ、運動終了後の回復期にみられる疲労感の除去あるいは心機能回復の促進効果などは、ブドウ糖に起因しているのではないかと推察される。

しかしながら、心拍数の回復に対しては、スポーツドリンク水溶液を投与した場合には、わずかながら効果的に作用する場合のあることも観察された。

一方、血清水分値の回復に対しては、スポーツドリンク水溶液を投与した場合に効果的に作用している場合もあることが観察された。また、血清浸透圧、血清電解質濃度ならびに血漿アルドステロン、アンギオテンシンⅡの変動、さらに、尿中電解質排泄などの観察結果から考察してみると、スポーツドリンク水溶液を投与した場合には、アルドステロンによる腎の遠位尿細管における Na の再吸収の調節が比較的効果的におこなわれていることが推察された。また、運動することによっ

て、白血球数の回復に対しても、スポーツドリンク水溶液を投与した場合には、比較的効果的に作用する傾向も観察された。

さらに、運動することによって引き起こされる血漿尿酸値に対しては、スポーツドリンク溶液を投与する場合には、低下させる傾向があり、また、尿中への尿酸の排泄も増大する傾向を示している。

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の回復過程に対して、即効的な効果の期待されると言われているスポーツドリンク溶液の影響を観察してみた。即効的な効果の期待される栄養素を含有している等張含塩水溶液は、含有されている栄養素ならびに無機塩類など、さらに、これらを溶解している溶媒としての水などの腸管吸収もよく、その結果として、生体

に対して、それなりの効果的な影響を示していることが観察された。

一方、現在の日本においては、健康を阻害する要因が増大してきている。これに打ち克つて、健康を保持・増進するために運動することが奨励されている。それゆえ、運動することの意義が更めて見直され、スポーツをする人口も増大してきている。これに平行して、スポーツドリンク類の消費の増大することも考えられるので、このような水溶液と運動との関連は、さらに、深く掘り下げて追求する必要があると思われる。

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検者の皆様方に深謝の意を呈します。

I 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

執筆者 堤 達也¹⁾
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

むかしから、競技中の水分の摂取はよくないと考えられ、その理由は明らかでないが、恐らく水分摂取による生体の変動が競技中の生体のリズムに微妙に作用し、競技成績に影響をもたらすことが経験的に知られているからであろう。そして水分を摂取すると沢山の汗をかき、そのために多少のエネルギーを消費したり、不快感を伴うかもしれないし、又僅かの体重の増加があることによるのかも知れない。しかし近年、高温下の長時間運動において、水分を摂取した際の発汗量は水分を摂らない時と較べて有意な増加を示さず、又水を摂ることによって直腸温、体温、運動時心拍数の上昇を抑え、運動時の熱ストレスに対して効果的であると多くの研究者によって認められて來た^{14), 10, 17), 19)}。更に高温下での運動中の液体摂取は、余分な重量の増加に拘らず、パフォーマンスを増加し、特にグルコース、電解質を含む等張液の摂取では腸での吸収が早いために有効であることが示されている^{4), 9), 12)}。したがってスポーツ医学や競技者との間で運動時や競技中の栄養、薬物、ビタミン等のあらゆる種類について関心がもたれ、最近では糖を主体としビタミン、ミネラルを含む等

張液であるスポーツドリンクの摂取が競技者の間で広く行われている。

処で、激しい筋運動時において炭水化物が主たる燃料源であり、それは主に筋中に貯蔵されたグリコーゲンであると考えられ、筋細胞による血中からの糖の利用は余り重要でないことが示唆されている^{2), 6), 13), 25)}。しかし一方、運動が進むに伴って筋グリコーゲンの貯蔵が減少した際には、肝中のグリコーゲンが血糖の増加として動員され、運動筋での利用が増加し、血糖が筋の酸化のための基質として重要な役割を演じていることを示唆している^{5), 28), 29), 26)}。したがってこのような状況の下での糖の投与は理論的に有効であろうと考えられるが、スポーツドリンクは糖を主とするとは云え、その濃度は低く、有効であるか否かは未だ十分に明らかでない。

そこで本研究では研究の初年度と云うこともあり、又血糖等の血中基質は同じ被検者、同じ運動でも可成り異なる変動を示すことを考え、今回は研究の手始めとして高温、高湿度環境下における1時間運動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に関する研究の一環として、著者等はその回復過程安静時を1時間に亘り、主として糖、脂質代謝に関する血糖、他数種の血中

表I-1 被検者の身体特性

| 被検者 | 年令 (年) | 身長 (cm) | 体重 (kg) | 最大酸素摂取量 (ml/kg/min) | 呼吸商 | 実験負荷時の トレッドミルスピード (m/min) |
|-------------|------------|-------------|------------|------------------------|---------------|---------------------------------|
| K. T. | 22 | 166.0 | 58.0 | 55.2 | 1.10 | 160 |
| H. K. | 20 | 170.0 | 59.1 | 61.5 | 1.10 | 200 |
| Y. G. | 38 | 163.0 | 59.0 | 52.4 | 0.97 | 180 |
| S. T. | 19 | 169.3 | 56.1 | 51.2 | 1.11 | 130 |
| A. T. | 21 | 164.0 | 57.6 | 55.3 | 1.06 | 150 |
| 平均 ±標準誤差 | 24.0 ± 3.5 | 166.4 ± 1.3 | 57.9 ± 0.5 | 55.1 ± 1.7 | 1.068 ± 0.025 | 164.0 ± 12.0 |

¹⁾明治生命厚生事業団体力医学研究所

表 I-2 高温、高湿度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) | | | | | |
|---------|--|----------------------|----------------------|---------------------|--------------------|----------------------|--------------------|---------------------|----------------------|----------------------|------------------------|---------------------|----------------|----|----|-----|----|----|
| | 酸素摂取量 | | | 呼吸商 | | | 酸素摂取量 | | | 呼吸商 | | | 酸素摂取量 | | | 呼吸商 | | |
| | 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) 31.1 (%V̄O ₂ max) 56 | 35.2 63 | 0.96 0.95 | 0.95 -1.625 | 35.3 64 | 36.8 67 | 0.88 0.90 | 0.88 -1.270 | 34.2 62 | 36.5 66 | 0.90 0.93 | 0.90 -1.340 | | | | | | |
| H.K. | (ml/kg/min) 34.7 (%V̄O ₂ max) 56 | 34.2 55 | 0.91 0.93 | 0.93 -2.260 | 34.7 56 | 37.5 61 | 0.96 0.94 | 0.96 -2.055 | 37.1 60 | 37.5 61 | 0.95 0.94 | 0.95 -1.845 | | | | | | |
| Y.G. | (ml/kg/min) 34.8 (%V̄O ₂ max) 66 | 35.0 67 | 0.86 0.87 | 0.87 -2.175 | 35.4 67 | 36.7 70 | 0.80 0.84 | 0.80 -1.700 | 35.3 67 | 36.3 69 | 0.85 0.86 | 0.85 -1.660 | | | | | | |
| S.T. | (ml/kg/min) 31.6 (%V̄O ₂ max) 62 | 32.5 63 | 0.88 0.86 | 0.86 -1.515 | 32.5 63 | 33.9 66 | 0.86 0.83 | 0.86 -1.150 | 30.9 61 | 29.6 58 | 0.87 0.90 | 0.87 -1.255 | | | | | | |
| A.T. | (ml/kg/min) 33.6 (%V̄O ₂ max) 61 | 33.1 60 | 0.86 0.87 | 0.87 -1.445 | 36.2 66 | 35.0 63 | 0.86 0.75 | 0.86 -1.035 | 33.4 60 | 33.5 60 | 0.82 0.80 | 0.82 -0.880 | | | | | | |
| 平均土標準誤差 | | 33.1±0.7 60.2±1.9 | 34.0±0.5 61.6±1.9 | 0.89±0.01 ±0.172 | -1.804 63.0±1.8 | 34.8±0.6 65.4±1.5 | 35.9±0.6 ±0.190 | 0.87±0.02 ±0.190 | 34.1±1.0 62.0±1.3 | 34.6±1.4 62.8±2.0 | 0.87±0.02 0.88±0.02 | 0.88±0.02 ±0.167 | | | | | | |

基質の変動について検討を試みた。

II 実験方法

被検者は5名の健康な男子を用いた。(表I-1) 彼等の平均年令は24.0才(19才~38才), 身長は166.4cm, 体重は57.9kgを示し, 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S.T. を除き, 各大学の運動部に所属し, 又被検者Y.G. は5回/週×20分のランニングを10年近く行なっている。したがって, 被検者の最大酸素摂取量は平均55.1±1.7ml/kg/minであり, 体力的に可成り優れた被検者である。(表I-1)

被検者は朝食を摂らないで朝9時に実験室(体協スポーツ科学研究所)に来所, 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Tシャツ着用のまま入室し, 更に30分間の安静椅坐後, 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164±12m/min(130~200m/min)であり, 被検者にとっては約63% V̄O₂max(60.2~65.4% VO₂max)に相当した。(表I-1, 表I-2)

其の後の摂取実験にはスポーツドリンクとして“ゲータレード”粉末30gを水500ml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負荷した。水及びスポーツドリンクの摂取は運動終了3分後に回復期の第1回目の採血を済ませ, 直ちに10°Cに冷却した500ml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25分間安静椅座後, 前腕静脈より約6ml採り, 安静時の血液サンプルとした。その後の採血には運動終了後, 直ちに前腕静脈にカニューレを設置固定し, 回復期の3, 13, 23, 33, 43(2被検者だけ)及び63分の各時点で行い, 1回の採血量は約6mlとし合計7回実施した。したがって32°Cの恒温室での実験に

要した時間は163分である。

採血後直ちに血液はヘパリン試験管に全血を採り、ヘマトクリット値を測定した後、乳酸測定の為、冷却した6%過塩素酸1.0ml中に0.5mlの全血を入れ、除蛋白後、遠心分離し、上澄液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0.5mlの全血を冷却した3M-過塩素酸0.5mlと直ちに混和し、遠心分離後、上澄液を分析まで-80°Cに凍結保存した。残りの血液を遠沈後、血漿は血糖、遊離脂肪酸、グリセロールの分析に供した。

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イ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なった。血中アラニン及び血中ピルビン酸の定量にはKarl等の酵素法による微量螢光法¹⁵⁾を用いた。いずれの試料も少くとも2~3回の測定を実施した。

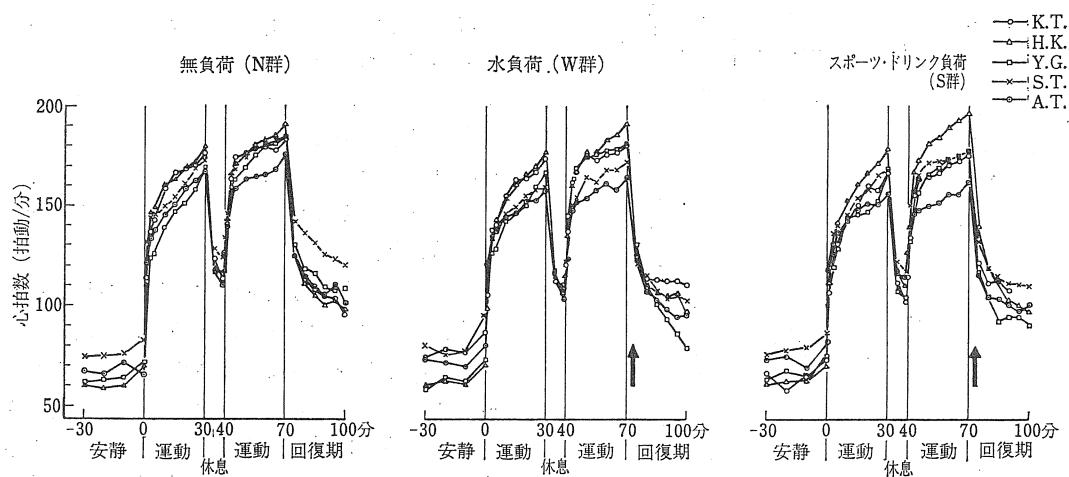
酸素摂取量を測定する為に各運動終了期の2分間、呼気をダグラスバッグに採取し、呼気ガス分析器(三栄測器)でCO₂及びO₂を測定した。又心拍数を胸部双極誘導によるECGのR波から、又直腸温をそれぞれ安静時、運動時及び回復時を通して記録した。

III 結 果

10分間の休息をはさんだ30分間運動時の前半と

後半の各運動群の酸素摂取量はN群で33.1±0.7ml/kg/min(60.2% VO₂ max)と34.0±0.5ml/kg/min(61.6% VO₂ max), W群で34.8±0.6ml/kg/min(63.0% VO₂ max)と35.9±0.6ml/kg/min(65.4% VO₂ max), S群で34.1±1.0ml/kg/min(62.0% VO₂ max)と34.6±1.4ml/kg/min(62.8% VO₂ max)をそれぞれ示し、いずれの運動負荷においても後半の酸素摂取量が約2%大きくなつたが、N群、W群、S群の3者の間には有意な違いはなかった。(表I-2)又各群の運動終了時の心拍数はN群の前半が172.8拍動、後半が183.4拍動の増加を示し、同様にW群でも167.0拍動と177.4拍動、及びS群で165.8拍動と177.2拍動を認め、各群とともに後半の運動が約6%増加しているが、N群、W群、S群の3者の間には有意の違いはなかった(図1)。

約60% VO₂ max×60分間の運動時間を含めて室温略々32°C、湿度略々60%の恒温室に163分間とどまつた後の体重の減少はN群で1.804±0.172kg、W群で1.442±0.190kg、S群で1.396±0.167kgを示し、その減少はN群で一番大きく、W群、S群と較べて何れも統計的に有意に大きいが(P<0.005)、W群とS群との間には有意な違いがなかった。これはW群とS群で500ml(=500g)の水分の摂取があったことによると考えられる。したがつて体重の減少を発汗量の大凡その目安として較べるにはW群、S群に夫々500gを加える必要があり、その目安はW群で1.942kg、



図I-1 高温、高湿度環境下における運動負荷時の各群の心拍数の変動

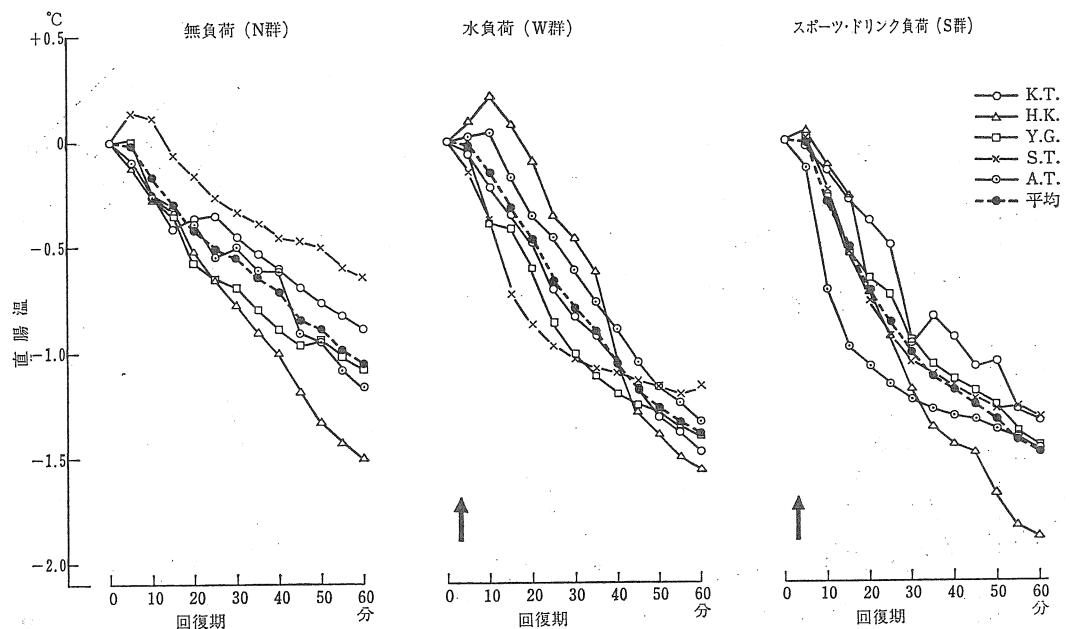


図 I-2 高温、高湿度環境下における運動負荷後の3群の直腸温の変動

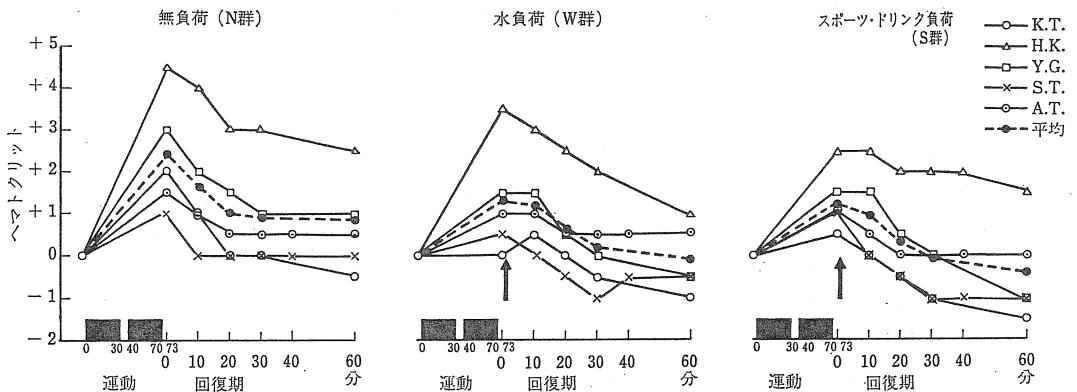


図 I-3 高温、高湿度環境下における運動負荷後の各群のヘマトクリットの変動

S群で 1.896 kg となり、W群、S群での発汗量の指標としての体重の減少はN群の 1.804 kg より大きい。しかしN群との差は何れも統計的に有意でなかった。勿論W群とS群との間にも有意の違いはなかった。(表I-2)

60分間の運動中、直腸温は順次上昇し、運動終了直後の3群の直腸温はN群で $39.48 \pm 0.07^\circ\text{C}$ 、W群で $39.37 \pm 0.09^\circ\text{C}$ 、S群で $39.40 \pm 0.09^\circ\text{C}$ に達し、3群の間で有意な違いはなかった。運動後の回復期の直腸温の低下はN群に較べてW群では

30分時から、S群では20分時から何れも統計的に有意($P < 0.05$)に大きい低下を示し、回復60分時にはN群で $38.36 \pm 0.19^\circ\text{C}$ 、W群で $37.95 \pm 0.05^\circ\text{C}$ 、S群で $37.89 \pm 0.09^\circ\text{C}$ まで低下し、W群、S群の低下はN群より有意($P < 0.05$)に大きい。そして、N群に較べてS群の低下はW群の低下より素早く、そして大きいが、S群の低下とW群の低下とは何れの時点でも統計的に有意な違いを認めなかった。(図I-2)

図I-3に血液濃縮の指標と考えられるヘマト

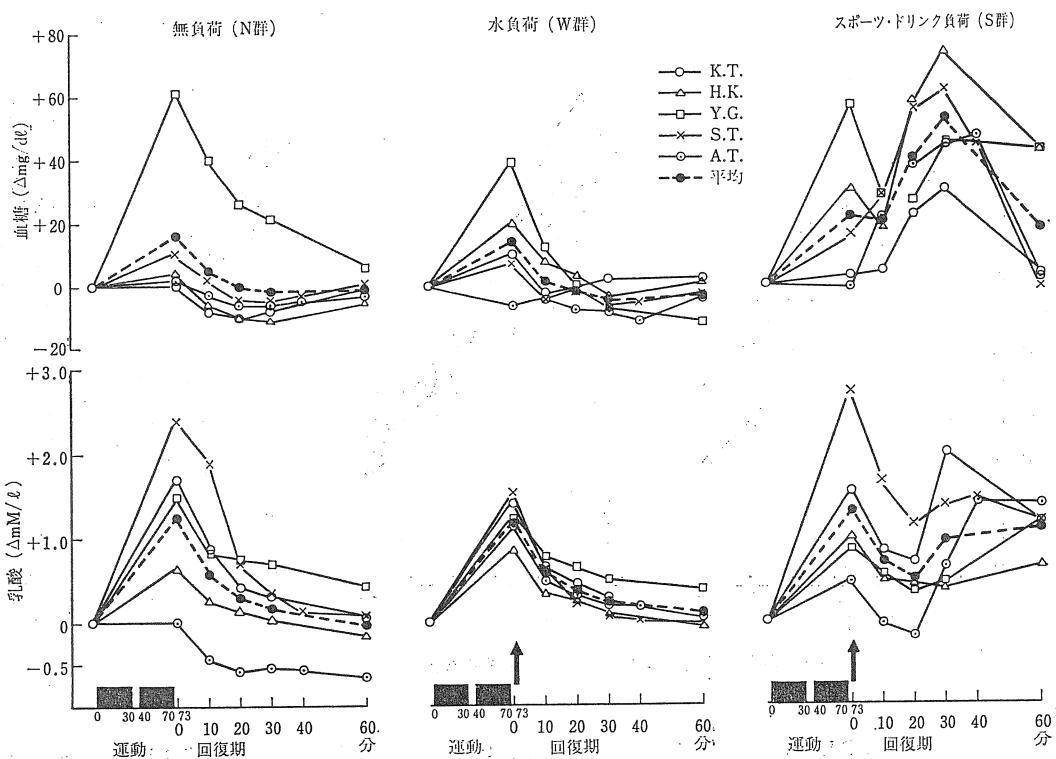


図 I-4 高温、高湿度環境下における運動負荷後の各群の血糖と血中乳酸の変動

クリット値の安静時に対する変動を示す。運動直後の増加はN群で一番大きく、W群、S群に較べて夫々有意（夫々 $P < 0.02$, $P < 0.05$ ）に高い。しかし回復期の低下はN群に較べてW群では20分時、30分時で、S群では30分時で夫々統計的に有意（夫々 $P < 0.005$, $P < 0.05$, $P < 0.001$ ）に大きい低下を示す。しかしW群の低下とS群の低下との間には有意の違いを認めなかった。

図I-4に血糖、血中乳酸の安静値に対する運動終了時、回復期の変動を夫々示す。運動終了時の血糖の増加は3群共に明らかであるが、3群の間には有意の違いは認められない。回復期の血糖の低下もN群とW群との間に有意の違いを認めないが、S群では20分時で、逆に増加し、30分時でピークに達し、60分時で低下し、N群、W群の20分時、30分時と較べると統計的に有意 ($P < 0.001$) に高い。血中乳酸の変動も血糖と同じように運動終了時の増加は3群間に、そして回復期の低下はN群とW群との間に何れも有意の違いを認めなか

った。しかしS群での変動は血糖の変動の10分遅れの30分時で有意 ($P < 0.01$) な増加を示し、60分時で低下を認めなかった。そして40分時でも採血した2名の血中乳酸は更に増加することから、そのピークは40～50分時であろうと考えられる。

図I-5に血中ピルビン酸、血中アラニンの安静値に対する運動終了時、回復期の変動を示す。血中ピルビン酸の変動は血中乳酸の変動と同じように、運動終了時の増加は3群間に、そして回復期の低下はN群とW群との間に何れも有意の違いを認めなかった。しかしS群での変動は血中乳酸の変動と多少異なり、回復20分時でN群、W群と較べて統計的に有意ではないが増加する傾向を認め、30分時では更に統計的に有意 ($P < 0.05$) に増加し、60分時でも有意 ($P < 0.05$) の増加に留まった。そして血中乳酸の変動と同じように、40分時の2名の血中ピルビン酸は更に増加することから、そのピークは40～50分時であろうと考えられる。この血中ピルビン酸の変動が関与すると考え

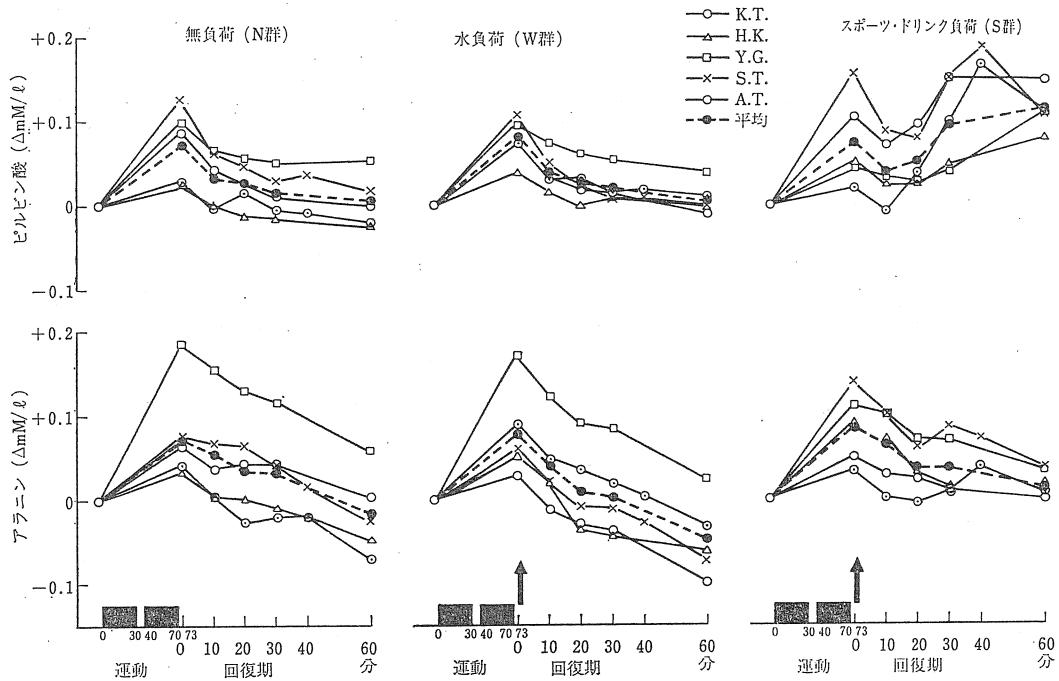


図 I-5 高温、高湿度環境下における運動負荷後の各群の血中ピルビン酸と血中アラニンの変動

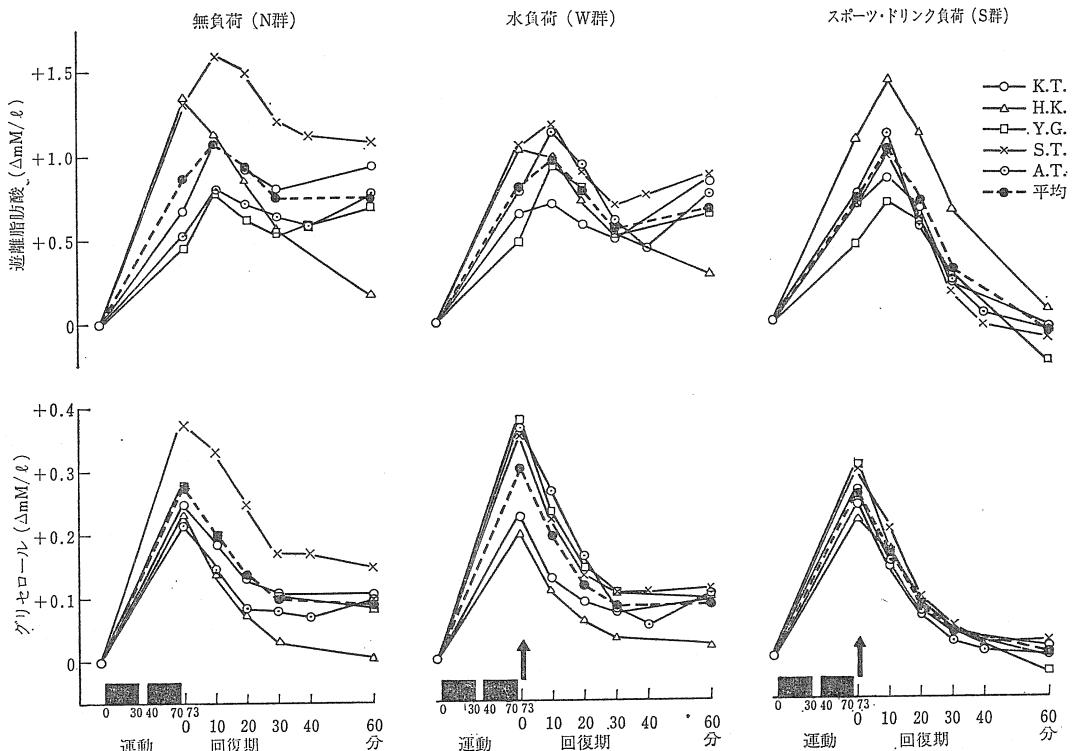


図 I-6 高温、高湿度環境下における運動負荷後の血漿遊離脂肪酸と血漿グリセロールの変動

られる血中アラニンの変動も運動終了時の増加は3群間に、そして回復期の低下はN群とW群との間に何れも有意の違いを認めなかった。しかしS群での回復期の低下は回復30分時でW群に較べて有意ではないが低下が小さい傾向を認め、60分時ではN群、W群より統計的に有意($P < 0.05$)に低下が小さい。

図I-6に貯蔵脂肪、肝脂肪からの血中への脂質動員の指標として、或は筋での脂肪燃焼の指標として考えられる血漿遊離脂肪酸並びにその脂肪動員に関与するホルモン分泌の指標と考えられる血漿グリセロールの夫々の変動を示す。血漿遊離脂肪酸の変動は運動終了時に増加し、回復期10分時で更に増加するが、その夫々の増加は3群間に有意の違いを認めず、又回復期20分時、30分時の低下、60分時の推移もN群とW群との間には統計的に有意な違いを認めなかった。しかしS群では回復10分時以降60分時まで順次低下し、30分時、60分時の低下はN群、W群に較べて有意($P < 0.005$)に大きい低下を示す。血漿グリセロールの変動は運動終了時で増加し、回復期で順次低下するが、終了時の3群間の増加には有意な違いを認めず、又回復期のN群の低下とW群の低下との間にも有意な違いを認めなかった。しかしS群での回復期の低下は血漿遊離脂肪酸の変動と同じように30分時、60分時でN群、W群より統計的に有意(共に $P < 0.05$)に大きい低下を示した。

IV 考 察

本研究での室温約32°C、湿度約60%の恒温室における163分に亘る実験において、約60% $\dot{V}O_2$ max × 60分間の運動終了後の水500mlの摂取(W群)、或はスポーツドリンク500mlの摂取(S群)は水分を摂取しない時(N群)と較べて発汗量の指標としての体重の減少を僅かに大きくするが、3群間に統計的に有意な違いを認めなかった。石河¹⁴⁾は同じように高温、高湿環境での70% $\dot{V}O_2$ maxの45分走行、10~15分の休息を挟んで更に45分走行時において、後の45分走行前に水分を摂ると、水分を摂らない時と較べて発汗量は僅に大きいが有意の差は見られず、水分を摂取後の運動中の発汗量も水を摂らない際と変わることを示

し、本研究での水分摂取後の回復安静時の発汗量と同じような知見を示している。そして本研究での運動時、回復期の血液濃縮の指標としてのヘマトクリット値の変動は水、スポーツドリンク摂取時の回復期の30分時、60分時で水分を摂らない時と較べて血液濃縮の度合が有意に大きな低下を示した。したがって摂取された水、スポーツドリンクは汗として体外に流出されることなく、体内に保留され、その一部は運動時に濃縮された血液を稀釈するのに用いられると考えられる。更に本研究での運動終了後の内部体温の指標としての直腸温の変動は、水分を摂らない時の順次の低下に較べて、水を摂った時には回復30分時から、スポーツドリンクを摂った時には回復20分時から有意に大きい低下を示した。石河¹⁴⁾、Gisolfi等¹⁰⁾、Moroff等¹⁹⁾、Londeree等¹⁷⁾は運動前、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ことが出来ると報告し、運動中でも本研究の結果と同じような知見を示している。その際、Gisolfi等¹⁰⁾は温水よりも冷水の摂取がより効果的であり、冷たいタオルを上体にひたしても直腸温の上昇を抑制することが出来なかつたと報告している。本研究では10°Cの水分を摂取して20~30分後で著しい低下を示し、ヘマトクリットの明らかな低下と時間的に略々一致し、発汗の増大による体温の低下も考え難いことから、直腸温の著しい低下は摂取された10°Cの水分が前に述べたように一部は濃縮された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もたらされると考えられる。又運動中の脱水には細胞外液の濃縮がしられているので³⁾、回復期に摂取された水分の他の一部は細胞外液の稀釈と冷却に用いられ、直腸温の明らかな低下に寄与するのかも知れない。

しかし本研究では水を摂った時とスポーツドリンクを摂った時の間には発汗量、ヘマトクリット値の変動、直腸温の変動に何れも統計的に有意な違いを示さなかった。したがって回復期における水分摂取による血液の稀釈効果、体温の冷却効果は水、又はスポーツドリンクの摂取で違いはないものと思われる。

本研究での血中の生化学的諸成分の変動は水を

摂らなかった時と、摂った時とではどの成分にも有意の違いを示さなかつたが、スポーツドリンクを摂った際には回復期の20～30分時から60分時まで水を摂った際と較べて、どの成分にも有意に異なる変動を示した。本研究ではスポーツドリンクとしてゲータレード粉末(糖質88%)30 g を水500 mLに溶かしたもの用いたので、糖質約25 gを投与し、投与後約30分時で血糖の平均約50 mg/dLの増大を認めたことになる。著者等²⁶⁾は安静における糖100 gの投与で、同じように投与後30～40分時の血糖のピーク値が安静値より約50 mg/dLの増大を示し、本研究の知見と一致する。この約1/4の糖の投与に拘らず、血糖の上昇が略々同じである理由については本研究の主題から外れ、又明らかではないが、1つには血糖の恒常性維持機能が僅かに働いたに過ぎなかつたことによると考えられ、それは生体が異常にならない血糖上昇の許容範囲であるのか、或は生体の各組織への血中の糖の運搬機能として、この程度の血糖上昇が有効であるのかもしれない。

本研究での60分間に亘る運動時の呼吸商は0.80～0.96、平均0.88を示し、運動終了時で血糖の増大を示している。したがって運動時のエネルギー源の約2/3程度は炭水化物であり、筋グリコーゲンの消耗は激しく、肝グリコーゲンも血糖の増加となって動員され、共に運動筋でのエネルギー源として利用されていると思われる。したがって、N群、W群の回復期において、血糖が20～30分後から安静値より低下を示すのは、回復期のインシュリン分泌は増大することが知られているので²¹⁾、その働きによって運動中に消耗した筋、肝のグリコーゲンを補償するための糖の取り込みの増大によると考えられる。しかし脳細胞はインシュリンの働きとは無関係に血糖の濃度次第であると云われている¹¹⁾。そして血糖は脳神経細胞の唯一のエネルギー基質として働き、中枢神経系の機能に関与すると云われているので²³⁾、回復期の低血糖は中枢神経系の疲労をもたらし、回復期の疲労感を増幅するであろう。したがって回復期のスポーツドリンクの摂取による20～30分後の血糖の増大は、回復期の疲労感を一過性にやわらげるのに有用であると共に、血糖の増大によるインシュリン

分泌を更に増大して筋、肝での取り込みを増進し、そこでのグリコーゲンを補償するのに一層有用であろうと思われる。

しかし、古くから運動時の疲労物質として知られている血中乳酸、血中ピルビン酸の回復期の低下はスポーツドリンクを摂ることによって、20～30分後、60分後で有意の増加を示し、そのピークは40～50分後と考えられる。そしてこれ等の増加は本研究で血糖の増加より略々10分遅れであり、前に述べたようにインシュリンの分泌も増大することを考えると、これ等の増加は血糖の増加による骨格筋等の組織での糖の取り込みの増大、解糖系酵素の活性化によって組織中のピルビン酸、乳酸の形成が増大した為であろう。著者等²⁴⁾は以前、L(+)-乳酸ソーダを静注して血中乳酸を高めた際、血糖の增高、その後の低下等を認めたが、血中乳酸の增高に対応する疲労感は全く認めなかった。したがって本研究での回復安静時の血中乳酸、血中ピルビン酸の増加は運動後の疲労を増幅することなく、疲労感と無関係であり、前に述べた血糖の増加による運動後の疲労抑制効果に何等支障を来たさないようにも思われる。しかし運動時の生体が酸性に傾く因子として、組織での乳酸、ピルビン酸形成の増大が知られている⁷⁾。本研究でもスポーツドリンク摂取によって、前に述べたように組織での乳酸、ピルビン酸の形成によって回復期で酸性に傾くことが考えられる。運動時の運動機能の阻害或はそれを通じての疲労に生体組織の酸化性が幾分でも関与しているとするならば、本研究での回復期にも運動機能の回復を遅くし、疲労の回復を阻害することも考えられる。したがってスポーツドリンク摂取による血糖増加の疲労感をやわらげる効果は乳酸、ピルビン酸の増大によって相殺されることも十分考えられるのではなかろうか。

本研究での血中アラニンも血中乳酸、血中ピルビン酸と同じようにスポーツドリンク摂取後の回復期の低下が明らかに少い値を示した。著者等²⁷⁾は断続運動時において血中アラニンと血中ピルビン酸との間に有意な相関を認め、又 Felig 等⁸⁾は運動強度を強めることによる筋でのピルビン酸の増大は、血漿アラニンの増加をもたらすことを示

唆すると共に、安静時においても血漿アラニンと血中ピルビン酸との間に高い相関を示している。したがって本研究での回復安静時の血中アラニンの低下が小さいのも、組織でのスポーツドリンク中の糖の取り込みの増大、ピルビン酸形成の増大によるのであろう。古くから運動中の末梢筋ではアンモニヤの形成が増大し、その増大によるアンモニヤ分泌の上昇に伴って過アンモニア血症をもたらすことが知られ、運動機能を阻害すると云われている²²⁾。そして運動筋でのアラニン形成の増大はアンモニヤの形成を抑制し、その無毒化に役立つであろうと示唆されている⁸⁾。したがって運動後の回復期に残留すると考えられるアンモニヤの除去にもアラニンの形成が重要であろうと考えられ、本研究でのスポーツドリンクの摂取はアラニン形成を増大し、素早くアンモニヤを除去することによって、運動中に阻害される運動機能の回復を早めるのに役立つかも知れない。

本研究でのスポーツドリンク摂取後で血漿遊離脂肪酸、血漿グリセロールは水摂取後より著るしい低下を示した。著者等²⁶⁾は安静時の糖の摂取時にも同じような知見を認め、糖の投与による血糖の増大がインシュリンの分泌を促進し、それと拮抗するグルカゴン、カテコールアミン等のホルモンの分泌を抑制し、これ等のホルモンの作用による脂肪分解酵素活性の低下によって、血漿遊離脂肪酸、血漿グリセロールの低下がもたらされると共に、更に血漿遊離脂肪酸の低下には脂肪組織や肝臓での糖の取り込みが増大し、脂肪の再合成が促進されることによって、血中への遊離脂肪酸の動員が抑制されることも加わるであろうと示唆している。したがって本研究の知見からも同じようなことが示唆されると共に、血漿遊離脂肪酸濃度は筋等の組織での遊離脂肪酸の取り込みや、その酸化と高い相関が知られていること^{1), 20)}から、スポーツドリンク摂取後の血漿遊離脂肪酸の明らかな低下は生体組織での脂質代謝の抑制をもたらすことが考えられ、それは前に述べたような血糖の增高による筋等の組織での糖質代謝の亢進によって補償されると思われる。しかし、スポーツドリンク摂取による生体組織でのこのような代謝の変化が生体にとってどのような効果を生むのかは明

らかでない。唯々、高濃度の遊離脂肪酸は酸化的磷酸化を抑制し、心臓の機能を阻害すると云われているので^{16), 18)}、血漿遊離脂肪酸のスポーツドリンク摂取による明らかな低下は心臓機能の回復を早めるのに役立つのかも知れない。しかし血漿遊離脂肪酸の有害レベルは明らかでなく、この面からスポーツドリンクが有効であると断定するのは出来ないように思われる。

V む す び

高温、高湿度環境の下での60分間の運動後の水(W群)並びにスポーツドリンク(S群)の摂取は、なにも摂取しなかった際(N群)と較べて発汗量の有意の増加をもたらさなかった。しかし、それ等の摂取は血液濃縮の指標であるヘマトクリット値を有意に大きく落し、内部体温の指標である直腸温に有意に大きな低下をもたらした。それ等は摂取された10°Cの水並にスポーツドリンクが汗として運動時に上昇した体温の低下に関与することなく、体内に貯留され、濃縮された血液を稀釈すると同時に冷却したことによると考えられる。したがってそれ等の摂取は運動時の血液の濃縮、体温上昇の安静時への回復を早めるのに寄与すると思われる。しかしどうしてもスポーツドリンクを摂取した際と水を摂取した際とでは発汗量やヘマトクリット値、直腸温の変動に有意の差がなく、したがって血液の稀釈効果、体温の冷却効果にはそれ等の摂取で違いはないと思われる。

しかし一方、スポーツドリンクの摂取は水を摂取した際と比べて、種々の血中成分の変動で明らかな違いを示し、血糖、血中乳酸、血中ピルビン酸、血中アラニンの回復期の低下に著明な遅れをもたらし、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。血糖の増加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、それはインシュリンの分泌を促進し、生体組織での糖質代謝を亢進することによって、血中乳酸、血中ピルビン酸の增高をもたらし、血中ピルビン酸の增高はまた血中アラニンの增高をもたらすと思われる。更にインシュリン分泌の促進は肝、脂肪組織での脂肪の再合成を亢進すると共に、グルカゴンやカテコールアミン等

のホルモン分泌を抑制して遊離脂肪酸、グリセロールの血中への動員の低下をもたらすと思われる。そして血糖、血中アラニンの増高、血漿遊離脂肪酸の大きな低下は、回復期に残る疲労感やアンモニアの除去、或は心臓機能の回復等を早めることになると思われるが、血中乳酸、血中ピルビン酸の増高は生体を酸性化して運動機能の回復を遅くし、相殺することも考えられる。したがってスポーツドリンクを摂取した際にはこのように血中成分やホルモン分泌が水の摂取時と異なるので、何等かの影響があると思われるが、生体にとって有効であるか否かは明らかでないように思われる。そしてその影響は糖のみの摂取でも同じようにおこると思われる。

本研究を実施するにあたり、体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、御助力を戴いた体協スポーツ科学研究所、塚越克己、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 獻

- 1) Armstrong, D. T., R. Steele, N. Altsuler, A. Dunn, J. S. Bishop and R. C. de Bodo (1961) : Regulation of plasma free fatty acid turnover. Am. J. Physiol., 201, 9
- 2) Bergström, J. and E. Hultman (1967) : A study of the glycogen metabolism during exercise in man. Scand. J. clin. Lab. Invest., 19, 218
- 3) Cade, J. R., H. J. Free, A. M. de Quesada, D. L. Shires and L. Roby (1971) : Changes in body fluid composition and volume during vigorous exercise by athletes. J. Sports Med., 11, 172
- 4) Cade, R., G. Spooner, E. Schlein, M. Pickering and R. Dean (1972) : Effect of fluid electrolyte and glucose replacement during exercise on performance, body temperature, rate of sweat and compositional change of extracellular fluid. J. Sports Med., 12, 150
- 5) Chipler, C. K., and W. N. Stainsby (1968) : Carbohydrate metabolism in contracting dog skeletal muscle in situ. Amer. J. Physiol., 215, 995
- 6) Costill, J. C., B. Saltin, N. S. Skinner Jr. and G. Vastagh (1971) : Glucose uptake at rest and during contraction in isolated dog skeletal muscle. Acta Physiol. Scand., 81, 124
- 7) De Coster, A., H. Denolin, R. Messin, S. Degre and P. Vandermoten (1969) : Role of the metabolites in the acid-base balance during exercise. J. R. Poortman Biochemistry of Exercise Karger, Basel 3, 15
- 8) Felig, P. and J. Wahren (1971) : Amino acid metabolism in exercising man. J. Clin. Invest., 50, 2703
- 9) Fordtran, J. S. and B. Saltin (1967) : Gastric emptying and intestinal absorption during prolonged severe exercise. J. Appl. Physiol., 23, 331
- 10) Gisolfi, C. V. and J. R. Coping (1974) : Thermal effects of prolonged treadmill exercise in the heat. Med. Sci. Sports, 6, 108
- 11) Guyto, A. C. (1966) : Textbook of medical physiology. W. B. Saunders Co., Philadelphia and London.
- 12) 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
- 13) Hultman, E. (1967) : Physiological role of muscle glycogen in man, with special reference to exercise. Circulat Res., 20-21 Suppl. 1, 99
- 14) 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
- 15) 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. Lab. clin. Med., 80, 434
- 16) Lochner, A., A. Kotze, J. S. Benade and W. Gevers (1978) : Mitochondrial oxidative phosphorylation in low flow hypoxia : role of free fatty acids. J. Mol. Cell. Cardiol., 10, 857
- 17) Londeree, B. R., W. F. Updyke and J. J. Burt (1969) : Water replacement schedules in heat stress. Res. Quart., 40, 725
- 18) Mjos, O. D. (1971) : Effect of free fatty acids on myocardial function and oxygen consumption in intact dogs. J. Clin. Invest., 50, 1386
- 19) 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
- 20) Paul, P. and B. Issekutz, Jr. (1967) : Role of extramuscular energy source in the metabolism of the exercisrng dog. *J. Appl. Physiol.*, 22, 615
- 21) Pruett, E. D. R. (1970) : Plasma insulin concentrations during prolonged work at near maximal oxygen uptake. *J. Appl. Physiol.*, 29, 155
- 22) Schwartz, A. E., W. Lawrence, Jr. and K. E. Roberts (1958) : Elevation of peripheral blood ammonia following muscular exercise. *Proc. Soc. Exp. Biol. Med.*, 98, 548
- 23) Simonsen, E. (1971) : Physiology of work capacity and fatigue. Charles C. Thomas, Publisher, Springfield, Illinois, USA.
- 24) 堤 達也, 後藤芳雄, 喜多尚武, 高橋登久子(1975) : ヒトにおけるL(+)-乳酸ソーダ注入の血中基質に及ぼす影響, 体力研究 31, 1
- 25) 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
- 26) 堤 達也, 青木和江, 後藤芳雄, 喜多尚武, 荒尾孝(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
- 27) 堤 達也, 青木和江, 後藤芳雄, 喜多尚武, 荒尾孝(1981) : 運動筋での低酸素状態が考えられる断続運動時の糖, 脂質代謝及びそれ等に関与するホルモンと糖一アラニン回路. 体力研究, 49, 44
- 28) Wahren, J., G. Ahlborg, P. Felig and L. Jordfeldt(1971) : Glucose metabolism during exercise in man. *Adv. Exp. Med. Biol.*, 11, 189
- 29) Wahren, J., P. Felig, G. Ahlborg and L. Jordfeldt (1972) : Glucose metabolism during leg exeruse in man. *J. Clin. Invest.*, 50, 2715

II 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

執筆者 井川幸雄

I はじめに

高温・高湿度環境下においては、皮膚血流量が増大し、stroke volume が減少するが、これは心拍数の増加によって代償されることが知られている¹⁾。とくに、このような環境下で運動した場合には、発汗量が著しく、さらに皮膚血流量の増加も加わり、体水分量の不足などから当然循環血液量の減少やそれに付随して血圧降下などの現象が惹起されるであろうことが想像されるが、われわれの先行研究²⁾において、尿量や尿中 Na 排泄量が著減し、血漿アンギオテンシンⅡやアルドステロン濃度の著しい上昇も観察されたことから、高温・高湿度環境下における運動時の cardiovascular system の恒常的維持に対する Renin-Angiotensin-Aldosterone (RAA) 系の関与の重要さが示唆された、と同時に、このような環境下での生体負担の大きさについても再認識させられた。

運動時の事故に関する疫学調査の結果^{3),4),5)}、死因の多くが心臓血管系疾患に起因していたが、Nicholson⁴⁾ や黒田³⁾の報告では、その事故の誘因として、気温や湿度などの外部環境因子も見逃がせないことが指摘されている。

上述した著者ら²⁾の知見からも明らかのように、高温・高湿度環境下で、とくに持久的運動を

行う場合には、水分摂取の必要がうかがわれる。しかし、摂取水分の成分、量および摂取時期などに関する知見は明らかにされていない。

本研究では、健常成人男子を対象として、温度33℃、湿度約55%の環境下で、60分間のトレッドミル走を負荷し、負荷後に、水および市販のスポーツドリンク 500 mL を摂取させ、呼吸・循環機能および血中・尿中生化学成分やホルモンの動態をパラメーターとして、何も摂取しなかった場合のそれを対照に、回復過程におよぼすスポーツドリンクの影響について調べた。

II 実験方法

(1) 被検者

被検者は 26 ~ 32 才の健康な成人男子 5 名であり、そのうち 4 名は週数回身体活動をしている者であった。各被検者の身体的特徴、最大酸素摂取量および日常の身体活動状況を表Ⅱ-1 に示した。

(2) 運動負荷方法

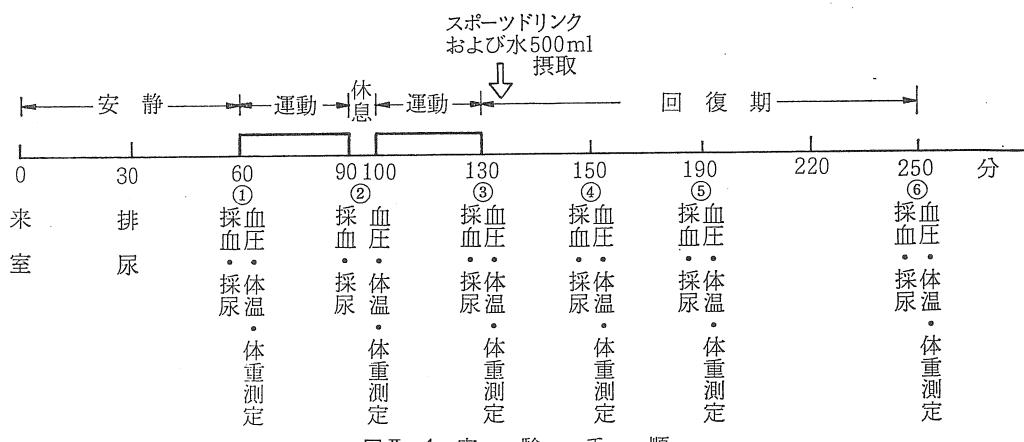
運動は、60~70% $\dot{V}O_{2\text{max}}$ 相当強度のトレッドミル走を中間に10分間の休息時間挿入し前後30分間ずつ合計60分間負荷した。尚、各被検者の走スピードも表Ⅱ-1 に示した。

(3) 摂取液体成分

本実験で用いた摂取液体は、市販のスポーツド

表Ⅱ-1 被検者の身体的特徴、最大酸素摂取量および日常の身体活動状況

| 被検者 | 年令 (歳) | 身長 (cm) | 体重 (kg) | $\dot{V}O_{2\text{max}}$ (ml/kg/min) | 走スピード (km/hr) | 日常の身体運動の有無 |
|-------|-----------|------------|------------|---|------------------|------------|
| K. K. | 32 | 178 | 72.85 | 42.8 | 8 | なし |
| S. U. | 32 | 170 | 69.35 | 50.7 | 9 | 週 2 ~ 3 回 |
| N. O. | 26 | 176 | 72.90 | 47.0 | 10 | " 2 回 |
| S. M. | 26 | 167 | 72.40 | 48.2 | 9 | " 5 回 |
| M. S. | 30 | 172 | 63.75 | 47.3 | 9 | " 3 回 |
| 平均 | 29.2 | 172.6 | 70.25 | 47.2 | 8 ~ 10 | |
| 標準偏差 | 3.0 | 4.4 | 3.90 | 2.9 | | |



図II-1 実験手順

リンクおよび水道水で、摂取時液体温は約10°Cとし、それぞれ 500 ml 摂取させた。スポーツドリンクの成分は、糖質 1.9 g/dl, Na 19.9 mEq/l, K 3.3 mEq/l, Cl 12.6 mEq/l, 浸透圧 320 mOsm

/kg·H₂O のものであった。

(4) 実験手順

被検者は前夜の食事摂取後一際の飲食を禁じられ、実験に参加した。実験手順を図II-1に示し

表II-2 血中および尿中成分の測定項目、測定方法

| 測定項目 | 方 法 | 測定項目 | 方 法 |
|-------------|--------------------------------------|-----------|-------------------------|
| 血 糖 | glucose-oxidase-peroxidase enzymatic | アンギオテンシンⅡ | R I A |
| 乳 酸 | " | W B C | Coulter Counter model-S |
| 中 性 脂 脂 | " | R B C | " |
| 総コレステロール | " | Hb | " |
| 遊離脂肪酸 | Laurell-TAC | Hct | " |
| 尿 酸 | uricase | MCHC | " |
| ク レ ア チ ニ ン | Ja'ffe | M CV | " |
| 尿 素 窒 素 | D M | M CH | " |
| G O T | U V | 血液像 | Pappenheim staining |
| G P T | " | Na | イオン電極法 |
| L D H | " | K | " |
| C P K | " | Cl | 電量滴定法 |
| Na | イオン電極法 | 尿 | O C P C 法 |
| K | " | 中 | リンモリブデン酸法 |
| Cl | 電量滴定法 | 成 | Mg |
| Ca | O C P C 法 | 分 | マグノレウト法 |
| P | リンモリブデン酸色素法 | 浸透圧 | Cryscopy |
| Mg | マグノレウト法 | クレアチニン | Ja'ffe |
| 浸透圧 | Cryscopy | 尿素窒素 | D M |
| アルドステロン | R I A | 尿 酸 | Uricase |
| | | 蛋白 | Tonein-TP |

た。被検者は実験室来室後30分間の椅子坐位安静の後、排尿し、さらに30分間の安静後、運動前（安静時）の血圧、体温（腋窩温）および体重を測定し、採血、採尿などを行なった。安静時の検査終了後、中間に10分間の休息を入れ前後2回各30分間のトレッドミル走（60～70% $\dot{V}O_2$ max）を負荷した。血圧、体温、体重および採血、採尿などの検査は、中間の休息時、運動直後、30分、60分、120分後の回復期にも行った。尚、回復期に、上記諸検査とほぼ同時刻に酸素摂取量の測定も行った。

実験は日を異にして3回行われ、2回の実験とも運動負荷後にスポーツドリンクか水道水を摂取させ、他の実験では運動負荷後何も摂取させずに諸検査を行い、それらの結果を前二者の対照とした。尚、3回の実験はいずれも順不同に行われた。

実験は午前9時から午後2時の間に行われ、その時の環境条件は室温平均33°C、湿度平均55%に保った。

(5) 検査項目および検査方法

酸素摂取量はダグラスパック法により呼気を採取し、ショランダー微量ガス分析装置で較正した

瞬間自動ガス分析装置（AIC社製）により O_2 および CO_2 の濃度を求め、算出した。血圧は自動血圧測定装置（日本コーリン社製）、腋窩温は市販検温計、体重は50g感度の体重計（IUCHI社製）を用いて、それぞれ測定した。

心拍数は胸部双極誘導による心電図からR-R間隔を計測して求めた。

血中生化学成分は29項目、尿中成分は11項目について測定した。測定項目と測定方法は表II-2に示した。

III 結 果

(1) 酸素摂取量、心拍数

安静時、運動時および回復期の酸素摂取量、心拍数をそれぞれ表II-3、II-4に示した。

安静時の酸素摂取量（ $\dot{V}O_2$ ）は、対照、水およびスポーツドリンク摂取実験時で3.08～3.41ml/kg/min.の範囲にあり、三者間に有意な差はなかった。運動時には運動経過中漸次 $\dot{V}O_2$ が上昇する傾向にあるが、運動時平均 $\dot{V}O_2$ はそれぞれ、 29.7 ± 1.5 、 29.8 ± 1.9 、 30.4 ± 2.0 ml/kg/min. であり三者間に有意な差を認めなかった。また、心拍数についても同様であり、対照実験時運動時

表II-3 高温環境下での安静時、運動時および回復期の酸素摂取量の変化

| 時間 | 安静時 | ①運動10分 | 運動20分 | 運動30分 | ②運動10分 | 運動20分 | 運動30分 |
|----|---------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|
| N | 3.41 ±0.56 | 27.76 ±2.01 | 29.61 ±0.87 | 29.95 ±1.43 | 28.93 ±3.25 | 31.01 ±1.96 | 31.64 ±1.69 |
| W | 3.08 ±0.52 | 27.94 ±3.02 | 30.30 ±1.06 | 29.61 ±2.23 | 29.45 ±3.05 | 31.40 ±2.23 | 29.82 ±2.08 |
| S | 3.16 ±1.00 | 29.62 ±2.45 | 29.04 ±1.87 | 29.83 ±2.29 | 30.33 ±2.55 | 31.95 ±1.63 | 31.64 ±2.26 |

| 時間 | 回復10分 | 回復20分 | 回復30分 | 回復60分 | 回復90分 | 回復120分 |
|----|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| N | 5.15 ±1.52 | 4.05 ±1.05 | 3.92 ±0.97 | 3.69 ±0.53 | 3.18 ±0.50 | 3.62 ±0.53 |
| W | 5.06 ±0.41 | 4.34 ±0.21 | 4.56 ±0.72 | 3.84 ±0.53 | 3.54 ±0.79 | 3.74 ±0.54 |
| S | 4.89 ±1.30 | 3.48 ±0.85 | 4.09 ±1.52 | 3.43 ±0.77 | 3.08 ±1.10 | 3.22 ±0.98 |

N：対照実験 W：水道水摂取実験 S：スポーツドリンク摂取実験
表中の数字は平均±標準偏差であらわし、単位は ml/kg/min である。

表II-4 高温環境下での安静時、休息時および回復期の心拍数の変化

| 時間 | 安静時 | 運動 中 | | | 休息時 3 | 運動 中 | | | 回復期 3 |
|----|-----------|------|-----|-----|----------|------|-----|-----|----------|
| | | 10 | 20 | 30 | | 10 | 20 | 30 | |
| N | \bar{x} | 64 | 148 | 155 | 163 | 110 | 161 | 165 | 172 |
| | S.D. | 8 | 12 | 13 | 6 | 11 | 7 | 7 | 6 |
| W | \bar{x} | 65 | 146 | 159 | 165 | 115 | 162 | 169 | 175 |
| | S.D. | 8 | 9 | 9 | 10 | 12 | 15 | 14 | 12 |
| S | \bar{x} | 63 | 147 | 155 | 161 | 113 | 161 | 166 | 173 |
| | S.D. | 10 | 11 | 12 | 10 | 7 | 13 | 13 | 14 |
| 時間 | | 10 | 20 | 30 | 40 | 50 | 60 | 80 | 100 |
| N | \bar{x} | 98 | 91 | 90 | 89 | 88 | 84 | 84 | 87 |
| | S.D. | 9 | 6 | 7 | 10 | 8 | 8 | 7 | 10 |
| W | \bar{x} | 102 | 96 | 88 | 85 | 88 | 80 | 85 | 94 |
| | S.D. | 10 | 14 | 12 | 9 | 11 | 17 | 10 | 13 |
| S | \bar{x} | 97 | 89 | 89 | 83 | 80 | 80 | 80 | 78 |
| | S.D. | 15 | 8 | 15 | 12 | 13 | 15 | 16 | 13 |

N: 対照実験

 \bar{x} : 平均

時間の単位はすべて分である。

W: 水道水摂取実験

S.D.: 標準偏差

S: スポーツドリンク

摂取実験

表II-5 高温環境下での安静時、休息時および回復期の体重、腋窩温の変化

| | 安静時 | 運動30分後 | 運動60分後 | 回復30分 | 回復60分 | 回復120分 |
|--------|-----|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|---------------------|
| 体重 kg | N | 70.25 \pm 3.29 | 69.62 \pm 3.87 | 68.93 \pm 3.90 | 68.70 \pm 3.85 | 68.58 \pm 3.83 |
| | W | 70.11 \pm 3.64 | 69.49 \pm 3.56 | 68.58 \pm 3.50 | 68.89 \pm 3.48 | 68.71 \pm 3.46 |
| | S | 70.45 \pm 4.50 | 69.77 \pm 4.43 | 68.96 \pm 4.39 | 69.25 \pm 4.40 | 69.07 \pm 4.41 |
| 腋窩温 °C | N | 36.54 \pm 0.13 | 36.77 \pm 0.29 | 37.38 \pm 0.81 | 36.98 \pm 0.29 | 37.24 \pm 0.22 |
| | W | 36.46 \pm 0.21 | 37.10 \pm 0.93 | 37.40 \pm 1.06 | 36.73 \pm 0.28 | 36.90 \pm 0.15 |
| | S | 36.48 \pm 0.24 | 37.04 \pm 0.72 | 37.27 \pm 0.75 | 36.79 \pm 0.38 | 36.88 \pm 0.34 |

表中の数字は平均士標準偏差で表わしている。

平均心拍数は 160.5 ± 8.9 、水摂取実験時では、 162.7 ± 9.9 、スポーツドリンク摂取実験時には 160.5 ± 8.9 拍/分であった。したがって、対照実験、水摂取およびスポーツドリンク摂取実験三者の水分摂取前の運動負荷量はほぼ等しかったことになる。

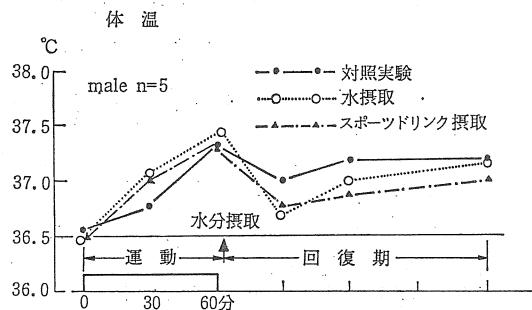
運動後に水分を摂取した後の $\dot{V}O_2$ には三者間に有意差を認めなかつたが、心拍数はスポーツドリンクを摂取した場合には回復が速く、50分、100分後には前二者に比較し有意 ($P < 0.001$) に低値であった。

(2) 体重、腋窩温

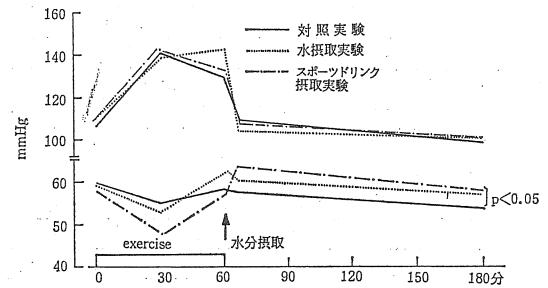
体重および腋窩温の変化を表II-5に示した。

何も摂取しなかつた対照実験では、回復2時間後には体重が平均 1.94 kg 減少した。スポーツドリンクおよび水を摂取させた実験では、それぞれ 1.56 kg , 1.63 kg の減少であった。

体温は運動時漸次上昇し、運動終了時には平均 $0.85 \pm 0.08^\circ\text{C}$ 上昇した。回復30分時にはいずれも低下するが、水およびスポーツドリンク摂取時には対照実験時よりも急激に低下した。しかし、再び上昇し、回復120分後には三者間に有意差はなくなっていた(図II-2)。



図II-2 高温環境下(33°C , 湿度55%)での運動後の体温に及ぼす水およびスポーツドリンク摂取の影響



図II-3 高温環境下(33°C , 湿度55%)での運動後の血圧に及ぼす水分摂取の影響

表II-6 高温環境下での安静時、休息時および回復期の血圧、脈圧変化

| | 安静時 | 運動30分 | 運動60分 | 回復5分 | 回復10分 | 回復20分 | 回復30分 | 回復40分 | 回復50分 | 回復60分 | 回復80分 | 回復100分 | 回復120分 | |
|------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|----------------|--|
| 収縮期血圧 mmHg | | | | | | | | | | | | | | |
| N | 107.4 ±12.3 | 141.8 ±13.1 | 130.0 ±14.5 | 113.6 ±17.4 | 107.2 ±16.7 | 105.2 ±14.8 | 112.5 ±12.4 | 109.0 ±14.3 | 100.4 ±15.5 | 103.6 ±15.0 | 98.6 ±14.9 | 104.0 ±13.1 | 101.8 ±12.2 | |
| W | 109.6 ±11.2 | 138.8 ±12.1 | 142.8 ±27.5 | 112.3 ±6.0 | 104.8 ±13.5 | 97.2 ±7.8 | 96.5 ±12.5 | 100.0 ±11.7 | 98.8 ±10.8 | 97.2 ±11.8 | 101.2 ±12.1 | 100.0 ±18.4 | 102.2 ±8.8 | |
| S | 110.8 ±9.9 | 141.4 ±17.6 | 130.0 ±19.4 | 117.3 ±11.8 | 103.4 ±14.1 | 107.0 ±13.0 | 106.4 ±10.2 | 104.8 ±9.6 | 102.8 ±8.2 | 101.6 ±18.2 | 102.6 ±9.9 | 102.6 ±6.2 | 103.0 ±13.4 | |
| 拡張期血圧 mmHg | | | | | | | | | | | | | | |
| N | 60.4 ±11.9 | 54.8 ±7.9 | 57.4 ±12.3 | 57.2 ±11.2 | 56.8 ±14.8 | 63.2 ±13.9 | 59.0 ±17.1 | 54.5 ±16.2 | 57.0 ±9.8 | 53.0 ±8.0 | 53.2 ±8.9 | 56.2 ±12.2 | 56.8 ±11.4 | |
| W | 58.6 ±13.3 | 53.2 ±14.5 | 63.0 ±17.8 | 69.3 ±9.1 | 57.8 ±12.2 | 59.8 ±6.8 | 57.6 ±11.9 | 58.2 ±14.8 | 54.4 ±12.0 | 60.2 ±8.3 | 57.8 ±14.7 | 59.0 ±10.4 | 58.0 ±3.7 | |
| S | 57.8 ±11.1 | 47.8 ±8.9 | 58.2 ±11.2 | 69.5 ±11.1 | 63.4 ±7.5 | 62.2 ±12.0 | 60.0 ±11.9 | 61.6 ±12.4 | 60.8 ±12.0 | 61.2 ±8.8 | 59.4 ±12.0 | 63.4 ±11.2 | 57.2 ±8.6 | |
| 脈圧 mmHg | | | | | | | | | | | | | | |
| N | 49.0 ±17.5 | 85.8 ±18.7 | 72.6 ±23.0 | 56.4 ±10.5 | 50.4 ±4.9 | 41.0 ±13.7 | 53.5 ±14.5 | 54.5 ±20.2 | 43.4 ±15.1 | 44.8 ±10.6 | 49.2 ±23.4 | 41.2 ±8.3 | 45.0 ±17.3 | |
| W | 51.0 ±13.3 | 89.6 ±11.2 | 79.8 ±27.4 | 43.0 ±13.9 | 47.0 ±17.0 | 36.8 ±11.1 | 38.2 ±17.9 | 41.8 ±13.2 | 44.4 ±20.8 | 37.0 ±12.6 | 43.4 ±13.8 | 41.0 ±14.1 | 44.2 ±10.0 | |
| S | 53.0 ±7.1 | 90.6 ±22.2 | 71.8 ±15.8 | 47.8 ±17.6 | 40.0 ±16.4 | 44.8 ±17.4 | 46.4 ±10.7 | 47.2 ±14.9 | 42.0 ±13.5 | 40.4 ±12.3 | 46.6 ±12.7 | 39.2 ±4.9 | 53.3 ±12.5 | |

表中数字は平均±標準偏差である。

表II-7 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

| N | 安 静 時 | 運動30分後 | 運動60分後 | 回 復 30 分 | 回 復 60 分 | 回 復 120 分 |
|-------------------------------|-------------|--------------|--------------|-------------|-------------|-------------|
| 血清電解質 Na mEq/l | 143.0 ± 0.8 | 145.0 ± 1.1 | 147.3 ± 1.1 | 144.7 ± 2.3 | 145.0 ± 1.2 | 145.6 ± 1.9 |
| 〃 K 〃 | 3.75± 0.27 | 3.95± 0.14 | 4.12± 0.32 | 3.85± 0.22 | 3.91± 0.15 | 3.92± 0.18 |
| 〃 Cl 〃 | 106.9 ± 0.6 | 107.1 ± 1.5 | 107.2 ± 1.3 | 107.1 ± 2.5 | 108.0 ± 1.8 | 109.0 ± 1.8 |
| 〃 Ca 〃 | 4.4 ± 0.3 | 4.7 ± 0.2 | 4.8 ± 0.3 | 4.6 ± 0.3 | 4.7 ± 0.3 | 4.7 ± 0.2 |
| 〃 P 〃 | 3.2 ± 0.4 | 3.7 ± 0.5 | 3.8 ± 0.7 | 3.1 ± 0.4 | 2.9 ± 0.3 | 3.0 ± 0.3 |
| 〃 Mg 〃 | 2.4 ± 0.2 | 2.4 ± 0.2 | 2.4 ± 0.2 | 2.3 ± 0.1 | 2.3 ± 0.2 | 2.3 ± 0.2 |
| 血清浸透圧 mOsm/kgH ₂ O | 287 ± 2 | 290 ± 5 | 295 ± 5 | 291 ± 6 | 293 ± 3 | 289 ± 3 |
| アルドステロン ng/dl | 5.8 ± 1.9 | 9.7 ± 4.1 | 14.8 ± 7.5 | 11.0 ± 3.3 | 8.0 ± 1.9 | 7.5 ± 1.8 |
| アンギオテンシンⅡ pg/ml | 29.6 ± 12.9 | 118.2 ± 30.0 | 125.4 ± 45.3 | 62.6 ± 16.7 | 51.4 ± 18.2 | 46.4 ± 19.0 |
| W | | | | | | |
| 血清電解質 Na mEq/l | 142.6 ± 2.7 | 145.4 ± 1.4 | 147.9 ± 1.2 | 144.4 ± 2.0 | 143.3 ± 1.5 | 144.1 ± 3.0 |
| 〃 K 〃 | 3.65± 0.08 | 3.98± 0.13 | 4.07± 0.26 | 4.11± 0.23 | 4.00± 0.28 | 3.92± 0.18 |
| 〃 Cl 〃 | 107.0 ± 1.3 | 106.3 ± 3.3 | 107.3 ± 2.8 | 106.8 ± 1.9 | 106.2 ± 2.4 | 107.7 ± 1.3 |
| 〃 Ca 〃 | 4.5 ± 0.2 | 4.7 ± 0.1 | 4.9 ± 0.2 | 4.7 ± 0.1 | 4.7 ± 0.2 | 4.7 ± 0.2 |
| 〃 P 〃 | 3.3 ± 0.4 | 3.5 ± 0.4 | 3.7 ± 0.6 | 3.1 ± 0.5 | 3.1 ± 0.4 | 3.1 ± 0.3 |
| 〃 Mg 〃 | 2.2 ± 0.2 | 2.4 ± 0.2 | 2.4 ± 0.3 | 2.3 ± 0.2 | 2.3 ± 0.2 | 2.3 ± 0.2 |
| 血清浸透圧 mOsm/kgH ₂ O | 290 ± 4 | 288 ± 7 | 293 ± 5 | 289 ± 7 | 285 ± 7 | 287 ± 6 |
| アルドステロン ng/dl | 5.7 ± 1.9 | 10.7 ± 4.0 | 17.8 ± 6.6 | 12.0 ± 4.1 | 9.5 ± 2.3 | 8.0 ± 1.8 |
| アンギオテンシンⅡ pg/ml | 24.6 ± 2.1 | 112.6 ± 45.4 | 130.6 ± 41.4 | 67.4 ± 20.0 | 35.8 ± 8.7 | 41.0 ± 15.5 |
| S | | | | | | |
| 血清電解質 Na mEq/l | 142.0 ± 1.2 | 145.4 ± 1.2 | 146.1 ± 1.6 | 142.7 ± 1.7 | 143.4 ± 1.6 | 143.2 ± 1.8 |
| 〃 K 〃 | 3.62± 0.17 | 3.98± 0.19 | 4.00± 0.05 | 3.72± 0.08 | 3.76± 0.08 | 3.87± 0.16 |
| 〃 Cl 〃 | 104.4 ± 1.2 | 106.2 ± 1.5 | 107.7 ± 0.9 | 106.2 ± 1.4 | 105.9 ± 1.5 | 107.5 ± 0.8 |
| 〃 Ca 〃 | 4.5 ± 0.2 | 4.7 ± 0.2 | 4.9 ± 0.1 | 4.5 ± 0.1 | 4.5 ± 0.1 | 4.7 ± 0.4 |
| 〃 P 〃 | 3.2 ± 0.5 | 3.8 ± 0.6 | 3.8 ± 0.7 | 3.4 ± 0.5 | 3.4 ± 0.5 | 3.2 ± 0.4 |
| 〃 Mg 〃 | 2.4 ± 0.1 | 2.4 ± 0.1 | 2.3 ± 0.2 | 2.2 ± 0.1 | 2.3 ± 0.1 | 2.4 ± 0.2 |
| 血清浸透圧 mOsm/kgH ₂ O | 285 ± 2 | 292 ± 2 | 291 ± 7 | 292 ± 3 | 288 ± 3 | 287 ± 2 |
| アルドステロン ng/dl | 6.9 ± 3.5 | 11.0 ± 5.9 | 15.4 ± 5.9 | 9.4 ± 3.3 | 6.9 ± 1.9 | 6.1 ± 1.5 |
| アンギオテンシンⅡ pg/ml | 29.6 ± 14.9 | 141.4 ± 42.0 | 141.0 ± 41.2 | 47.8 ± 16.2 | 35.6 ± 17.4 | 31.2 ± 9.8 |

表中の数字は平均値±標準偏差で示した。

(3) 血 壓

安静時、運動30分後、60分後および回復期の血圧、脈圧を表II-6に示した。また。回復20分後の収縮期および拡張期血圧個々の値から回帰直線を求め図II-3に示した。

収縮期血圧は三実験とも運動後5分(回復5分)後にはほぼ安静値レベルまで回復し、その後の変動にも三者間に著明な差異は認めなかった。

拡張期血圧は、対照実験では回復期に安静値レベルより低値を示す傾向にあったが、スポーツドリンクおよび水摂取実験ではほぼ安静値レベルを維持した。この拡張期血圧の変化には、対照実験とスポーツドリンク摂取実験では有意($P < 0.05$)な差が認められ、図3にみられるようにスポーツ

ドリンク摂取後には拡張期血圧は安静時レベルが維持された。

(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の変化を表II-7に示した。

血清浸透圧は運動とともに上昇し、対照実験では回復60分後でも安静値より $6.2 \pm 2.2 \text{mOsm/kg} \cdot \text{H}_2\text{O}$ ($P < 0.01$) 上昇していた。これに対し、水を摂取した実験では、摂取後に血清浸透圧は低下し、回復60分後には安静値より低下した。また、スポーツドリンク摂取実験では、摂取後血清浸透圧は上昇し、回復30分後で安静値より 7.0 ± 1.6

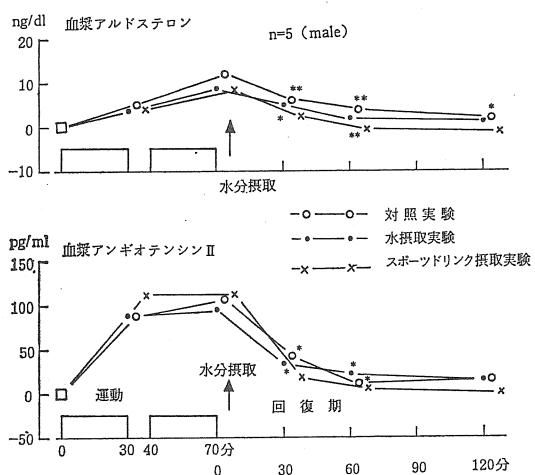


図 II-4 高温環境下(33°C, 湿度55%)での運動後の血漿アルドステロン, アンギオテンシンIIに及ぼす水分摂取の影響

血漿アルドステロン, アンギオテンシンIIとも安静時の値からの変化分のみを平均して図示した。尚, *: $P < 0.05$, **: $P < 0.01$ を示す。

$mOsm/kg \cdot H_2O$ ($P < 0.001$), 60分後では $2.4 \pm 0.9 mOsm/kg \cdot H_2O$ ($P < 0.01$) それぞれ高値を示した。

血清電解質濃度は運動の経過に伴い上昇する傾向であったが, とくに血清 Na, K 濃度が著明であった。対照実験では血清 Na 濃度が回復期にも安静値より有意に高値を示した。しかし, スポーツドリンクおよび水摂取実験では, 摂取後ほぼ安静値まで回復した。

血漿アルドステロンは運動後に有意に上昇した。対照実験では, 回復30分, 60分, 120分時でも安静値よりそれぞれ $5.2 \pm 1.9 ng/dl$ ($P < 0.01$), $2.2 \pm 1.0 ng/dl$ ($P < 0.01$), $1.7 \pm 1.0 ng/dl$ ($P < 0.05$)だけ有意な高値を示した。また, 水摂取実験でも回復30分, 60分時では安静値よりそれぞれ $6.3 \pm 3.3 ng/dl$ ($P < 0.05$), $3.8 \pm 1.8 ng/dl$ ($P < 0.01$)だけ有意な高値であった。しかし, スポーツドリンク摂取実験では回復30分にはほぼ安静値まで回復した。

血漿アンギオテンシンIIはアルドステロンと同様に運動後に有意に上昇した。その後対照実験および水摂取実験では, 回復60分まで安静値より5%水準で有意な高値を持続した。しかし, スポーツ

ドリンク摂取実験時には摂取後すみやかに低下した。アルドステロン, アンギオテンシンIIの変化を図 II-4 に示した。

(5) 尿量, 尿中電解質排泄量などの変化

尿量, 尿中電解質排泄量, 尿浸透圧, 尿中蛋白質濃度などの変化を表 II-8 に示した。

尿量は三実験時ともに運動直後に有意に低下し, 以後回復期において徐々に上昇する傾向であったが, 回復30分時では, 対照および水摂取実験では安静時尿量に比較し, それぞれ $0.21 \pm 0.10 ml/min$ ($P < 0.01$), $0.18 \pm 0.12 ml/min$ ($P < 0.05$)だけ少なかった。しかし, スポーツドリンク摂取後では安静時尿量よりも多くなる者もみられ平均値では $0.13 \pm 0.24 ml/min$ だけ低下したが有意な差ではなかった。いずれの場合も回復60分時には, ほぼ安静値に回復した。

一般に尿中電解質排泄量は運動後に減少し以後徐々に回復する変動パターンであった。このうち, Na および Cl 排泄量は対照実験および水摂取実験では, 回復30分後にも安静値より有意な減少を示した。しかし, スポーツドリンク摂取実験では認められなかった。

尿浸透圧は運動後に低下し, 運動直後および回復30分後に最も減少し, 回復120分後にはほぼ安静値レベルまで回復する変動パターンであった。対照実験および水摂取実験では回復30分で最も低値を示したが, スポーツドリンク摂取実験時には走直後の尿浸透圧が最も低値であった。

クレアチニン, 尿酸および尿素窒素クリアランス値は運動後に減少し, 以後回復期に徐々に上昇する変動パターンであったが, 三実験間に著明な差異は認められなかった。

尿蛋白濃度は, 運動後30分時に最も高値を示し, 水を摂取した実験では $42.0 \pm 29.4 mg/dl$ を示し, 対照実験の $24.8 \pm 12.7 mg/dl$, スポーツドリンク摂取実験の $28.4 \pm 9.4 mg/dl$ より有意に高い濃度であった。しかし, 尿中排泄量では三実験に有意差を認めなかった。

(6) 血中代謝物および血清逸脱酵素活性値の変化

血中代謝物, 血清酵素活性値などを表 II-9 に示した。

表Ⅱ-8 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

| N | 安 静 時 | 運動 30 分 後 | 運動 60 分 後 | 回 復 30 分 | 回 復 60 分 | 回 復 120 分 |
|-----------------------------|--------------|---------------|---------------|---------------|---------------|---------------|
| 尿 量 ml/min | 0.67± 0.17 | 0.30± 0.17 | 0.19± 0.12 | 0.44± 0.10 | 0.61± 0.17 | 0.52± 0.21 |
| Na mEq/ℓ | 240.3 ± 28.6 | 172.6 ± 34.0 | 99.1 ± 27.8 | 152.2 ± 34.4 | 238.0 ± 27.2 | 255.5 ± 61.1 |
| K " | 57.0 ± 12.9 | 65.4 ± 7.6 | 61.4 ± 4.7 | 65.5 ± 18.6 | 56.5 ± 1.2 | 61.0 ± 20.9 |
| Cl " | 286.8 ± 11.0 | 269.4 ± 11.4 | 227.3 ± 63.5 | 208.4 ± 64.2 | 280.5 ± 23.7 | 293.4 ± 40.3 |
| Ca " | 8.4 ± 5.4 | 5.9 ± 5.2 | 2.7 ± 4.0 | 2.6 ± 1.7 | 4.6 ± 3.0 | 7.6 ± 3.0 |
| P mg / dl | 57.2 ± 24.8 | 62.0 ± 15.6 | 71.5 ± 22.1 | 69.0 ± 28.5 | 50.8 ± 13.6 | 40.2 ± 19.8 |
| Mg " | 9.1 ± 4.8 | 7.8 ± 3.9 | 6.7 ± 5.1 | 10.5 ± 5.9 | 7.1 ± 2.6 | 8.7 ± 3.2 |
| 浸透圧 mOsm/kgH ₂ O | 1,047 ± 65 | 1,008 ± 121 | 947 ± 144 | 873 ± 146 | 1,009 ± 68 | 1,046 ± 62 |
| クレアチニン mg / dl | 218.2 ± 47.5 | 271.4 ± 36.5 | 463.0 ± 253.7 | 411.0 ± 156.3 | 310.0 ± 143.8 | 302.4 ± 118.7 |
| 尿素窒素 " | 1,013 ± 202 | 958 ± 260 | 823 ± 286 | 776 ± 382 | 888 ± 195 | 796 ± 120 |
| 尿 蛋 白 " | 7.8 ± 2.8 | 11.7 ± 3.8 | 20.8 ± 4.6 | 24.8 ± 12.7 | 13.3 ± 6.3 | 12.0 ± 6.1 |
| Ccr ml/min | 120.5 ± 19.9 | 67.5 ± 38.8 | 55.6 ± 27.6 | 131.1 ± 29.4 | 135.2 ± 27.3 | 111.0 ± 12.2 |
| Cun " | 32.5 ± 8.8 | 13.8 ± 9.7 | 8.4 ± 7.4 | 16.1 ± 9.3 | 24.2 ± 8.6 | 19.0 ± 7.8 |
| W | | | | | | |
| 尿 量 ml/min | 0.57± 0.20 | 0.29± 0.24 | 0.18± 0.21 | 0.39± 0.25 | 0.54± 0.33 | 0.51± 0.35 |
| Na mEq/ℓ | 230.1 ± 52.1 | 172.9 ± 27.8 | 78.3 ± 36.1 | 135.2 ± 28.3 | 186.5 ± 48.2 | 227.5 ± 63.2 |
| K " | 56.6 ± 15.5 | 63.9 ± 10.4 | 62.2 ± 17.2 | 66.6 ± 24.2 | 57.0 ± 8.5 | 58.5 ± 13.3 |
| Cl " | 293.2 ± 56.0 | 269.8 ± 61.2 | 178.6 ± 84.9 | 185.5 ± 98.8 | 232.4 ± 87.2 | 257.4 ± 106.7 |
| Ca " | 7.5 ± 4.1 | 4.8 ± 3.3 | 2.4 ± 1.9 | 2.4 ± 1.4 | 3.5 ± 1.5 | 9.1 ± 4.0 |
| P mg / dl | 68.4 ± 25.8 | 69.6 ± 21.0 | 68.2 ± 19.8 | 82.2 ± 37.3 | 63.8 ± 28.6 | 57.4 ± 33.2 |
| Mg " | 8.5 ± 3.9 | 9.1 ± 4.7 | 13.7 ± 13.1 | 16.0 ± 11.7 | 9.3 ± 4.7 | 11.1 ± 6.4 |
| 浸透圧 mOsm/kgH ₂ O | 994 ± 167 | 927 ± 152 | 822 ± 121 | 822 ± 59 | 947 ± 43 | 1,039 ± 95 |
| クレアチニン mg / dl | 244.8 ± 82.2 | 348.8 ± 155.7 | 510.3 ± 152.2 | 571.6 ± 274.1 | 386.0 ± 237.8 | 420.8 ± 230.2 |
| 尿素窒素 " | 970 ± 331 | 793 ± 373 | 648 ± 110 | 669 ± 405 | 756 ± 158 | 842 ± 228 |
| 尿 蛋 白 " | 7.2 ± 1.3 | 12.5 ± 5.7 | 21.5 ± 3.7 | 42.0 ± 29.4 | 12.6 ± 7.2 | 12.5 ± 7.1 |
| Ccr ml/min | 114.3 ± 22.8 | 72.6 ± 39.8 | 58.8 ± 27.8 | 127.0 ± 24.5 | 114.9 ± 12.5 | 125.2 ± 25.5 |
| Cun " | 24.5 ± 3.0 | 9.9 ± 7.3 | 8.2 ± 10.3 | 12.6 ± 10.2 | 20.2 ± 15.9 | 19.2 ± 12.7 |
| S | | | | | | |
| 尿 量 ml/min | 0.57± 0.15 | 0.35± 0.14 | 0.20± 0.10 | 0.44± 0.25 | 0.50± 0.08 | 0.50± 0.18 |
| Na mEq/ℓ | 240.4 ± 56.3 | 166.8 ± 60.0 | 91.9 ± 48.1 | 149.5 ± 31.4 | 191.7 ± 4.6 | 223.3 ± 33.9 |
| K " | 48.4 ± 10.1 | 63.8 ± 11.1 | 66.6 ± 16.4 | 62.4 ± 15.9 | 45.2 ± 4.0 | 45.0 ± 8.6 |
| Cl " | 265.5 ± 71.9 | 242.9 ± 70.0 | 202.0 ± 104.2 | 174.7 ± 42.1 | 187.6 ± 46.6 | 229.0 ± 30.5 |
| Ca " | 7.3 ± 2.9 | 4.5 ± 3.3 | 2.1 ± 2.9 | 2.9 ± 2.6 | 5.2 ± 3.5 | 8.3 ± 3.9 |
| P mg / dl | 83.4 ± 47.9 | 86.8 ± 52.4 | 104.8 ± 58.8 | 98.6 ± 53.4 | 113.0 ± 24.2 | 70.2 ± 23.4 |
| Mg " | 9.5 ± 2.6 | 6.3 ± 1.5 | 6.3 ± 4.1 | 9.5 ± 4.7 | 8.0 ± 3.1 | 9.6 ± 3.1 |
| 浸透圧 mOsm/kgH ₂ O | 1,063 ± 34 | 1,028 ± 48 | 911 ± 76 | 938 ± 112 | 1,041 ± 70 | 1,036 ± 153 |
| クレアチニン mg / dl | 221.2 ± 27.1 | 280.8 ± 46.5 | 426.8 ± 104.1 | 387.0 ± 164.6 | 359.3 ± 120.1 | 338.8 ± 125.9 |
| 尿素窒素 " | 1,089 ± 247 | 941 ± 284 | 827 ± 128 | 834 ± 278 | 1,305 ± 365 | 980 ± 174 |
| 尿 蛋 白 " | 8.8 ± 4.6 | 11.6 ± 3.5 | 21.7 ± 4.7 | 28.4 ± 9.4 | 12.0 ± 2.7 | 11.0 ± 2.2 |
| Ccr ml/min | 113.5 ± 30.5 | 79.9 ± 37.5 | 59.4 ± 26.1 | 108.8 ± 51.5 | 135.0 ± 38.1 | 127.8 ± 18.3 |
| Cun " | 29.5 ± 5.4 | 14.9 ± 6.1 | 8.1 ± 4.2 | 18.2 ± 12.1 | 29.8 ± 9.0 | 22.1 ± 7.5 |

表中数字は、平均±標準偏差を示した。

血糖値は対照実験時には運動後に若干低下するものの有意な減少ではなかったが、水を摂取した実験では、回復30分時に安静値より $7.4 \pm 4.5 \text{ mg/dl}$ ($P < 0.05$) 低下した。スポーツドリンク摂取実験では、摂取後30分時に $122 \pm 7 \text{ mg/dl}$ ($P <$

0.001) まで上昇し、回復60分時には安静値レベルまで低下した。

血中乳酸値は運動後に有意に上昇したが、対照実験および水を摂取した実験では、回復30分時には安静値レベルまで低下した。これに対しスポー

表Ⅱ-9 高温環境下での安静時、休憩時および回復期の血中代謝物および血清逸脱酵素活性の変化

| N | 安静時 | 運動30分後 | 運動60分後 | 回復30分 | 回復60分 | 回復120分 |
|--------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 血 糖 mg / dl | 70 ± 11 | 73 ± 5 | 72 ± 8 | 66 ± 4 | 65 ± 9 | 67 ± 5 |
| 乳 酸 " | 8.7 ± 3.0 | 13.5 ± 2.4 | 14.4 ± 2.5 | 9.1 ± 0.8 | 7.3 ± 1.7 | 7.8 ± 0.8 |
| 中性脂肪 " | 95 ± 50 | 125 ± 53 | 143 ± 41 | 98 ± 28 | 93 ± 24 | 90 ± 21 |
| 遊離脂肪酸 mEq / l | 0.29 ± 0.07 | 0.72 ± 0.26 | 0.98 ± 0.23 | 0.80 ± 0.25 | 0.87 ± 0.29 | 0.80 ± 0.07 |
| 尿 酸 mg / dl | 5.9 ± 0.8 | 6.2 ± 0.9 | 7.0 ± 1.2 | 6.8 ± 1.1 | 6.9 ± 1.1 | 7.0 ± 1.2 |
| 総コレステロール " | 159 ± 20 | 174 ± 20 | 185 ± 14 | 173 ± 17 | 166 ± 18 | 170 ± 20 |
| 血清クレアチニン " | 0.93 ± 0.09 | 0.99 ± 0.10 | 1.11 ± 0.12 | 1.07 ± 0.09 | 1.05 ± 0.09 | 1.02 ± 0.07 |
| 尿素窒素 " | 16.4 ± 2.3 | 17.7 ± 2.8 | 18.0 ± 2.5 | 18.5 ± 2.7 | 18.9 ± 2.1 | 18.0 ± 2.6 |
| 血清逸脱酵素 GOT mU / ml | 13.8 ± 1.1 | 13.6 ± 1.5 | 15.0 ± 0.8 | 14.6 ± 2.0 | 13.4 ± 1.5 | 13.2 ± 1.8 |
| " GPT " | 4.8 ± 2.3 | 4.8 ± 1.5 | 2.5 ± 1.7 | 3.6 ± 1.7 | 4.2 ± 1.9 | 5.2 ± 2.7 |
| " LDH " | 188 ± 31 | 210 ± 64 | 207 ± 78 | 230 ± 49 | 208 ± 56 | 217 ± 40 |
| " CPK " | 65 ± 19 | 78 ± 22 | 78 ± 19 | 82 ± 21 | 79 ± 21 | 78 ± 21 |
| W | | | | | | |
| 血 糖 mg / dl | 72 ± 4 | 77 ± 11 | 81 ± 14 | 65 ± 6 | 68 ± 7 | 66 ± 12 |
| 乳 酸 " | 8.7 ± 1.8 | 14.7 ± 2.9 | 18.4 ± 3.9 | 8.9 ± 1.5 | 8.5 ± 1.8 | 7.7 ± 1.2 |
| 中性脂肪 " | 76 ± 29 | 84 ± 27 | 105 ± 36 | 79 ± 30 | 80 ± 23 | 81 ± 31 |
| 遊離脂肪酸 mEq / l | 0.38 ± 0.09 | 0.59 ± 0.20 | 1.03 ± 0.28 | 0.75 ± 0.28 | 0.85 ± 0.18 | 1.03 ± 0.37 |
| 尿 酸 mg / dl | 6.1 ± 1.6 | 6.6 ± 1.7 | 7.2 ± 1.8 | 7.3 ± 1.9 | 7.1 ± 1.6 | 7.2 ± 1.8 |
| 総コレステロール " | 160 ± 8 | 176 ± 12 | 186 ± 13 | 173 ± 10 | 173 ± 20 | 172 ± 10 |
| 血清クレアチニン " | 0.88 ± 0.09 | 1.00 ± 0.13 | 1.14 ± 0.19 | 1.08 ± 0.18 | 1.05 ± 0.15 | 1.02 ± 0.13 |
| 尿素窒素 " | 16.5 ± 2.2 | 17.0 ± 2.7 | 17.9 ± 2.9 | 17.5 ± 4.0 | 17.9 ± 2.8 | 17.7 ± 3.1 |
| 血清逸脱酵素 GOT mU / ml | 14.0 ± 3.5 | 15.0 ± 3.5 | 16.2 ± 3.3 | 14.6 ± 3.5 | 15.2 ± 4.2 | 14.4 ± 3.9 |
| " GPT " | 4.5 ± 1.7 | 5.2 ± 1.9 | 5.8 ± 2.8 | 5.4 ± 1.3 | 5.0 ± 2.0 | 4.8 ± 2.1 |
| " LDH " | 238 ± 73 | 225 ± 93 | 239 ± 102 | 246 ± 69 | 250 ± 62 | 263 ± 50 |
| " CPK " | 79 ± 32 | 100 ± 38 | 107 ± 40 | 98 ± 37 | 95 ± 38 | 93 ± 32 |
| S | | | | | | |
| 血 糖 mg / dl | 71 ± 4 | 78 ± 8 | 83 ± 8 | 122 ± 7 | 73 ± 16 | 73 ± 10 |
| 乳 酸 " | 8.5 ± 1.9 | 14.1 ± 2.9 | 15.0 ± 2.7 | 15.5 ± 4.4 | 14.2 ± 2.2 | 7.5 ± 2.3 |
| 中性脂肪 " | 99 ± 45 | 132 ± 49 | 116 ± 28 | 93 ± 31 | 90 ± 35 | 81 ± 33 |
| 遊離脂肪酸 mEq / l | 0.43 ± 0.12 | 0.80 ± 0.26 | 0.97 ± 0.17 | 0.56 ± 0.09 | 0.50 ± 0.34 | 0.59 ± 0.09 |
| 尿 酸 mg / dl | 5.6 ± 0.2 | 6.8 ± 1.7 | 7.3 ± 1.7 | 7.0 ± 1.3 | 7.2 ± 1.7 | 7.4 ± 1.5 |
| 総コレステロール " | 161 ± 14 | 171 ± 10 | 179 ± 14 | 167 ± 17 | 164 ± 18 | 164 ± 17 |
| 血清クレアチニン " | 0.90 ± 0.10 | 1.01 ± 0.17 | 1.09 ± 0.15 | 1.11 ± 0.13 | 1.05 ± 0.11 | 0.98 ± 0.13 |
| 尿素窒素 " | 16.6 ± 2.4 | 17.0 ± 1.9 | 17.9 ± 1.3 | 18.1 ± 1.4 | 17.8 ± 1.9 | 17.6 ± 1.9 |
| 血清逸脱酵素 GOT mU / ml | 16.3 ± 4.7 | 18.5 ± 7.1 | 18.2 ± 5.2 | 17.8 ± 6.0 | 16.8 ± 4.4 | 17.0 ± 6.0 |
| " GPT " | 5.8 ± 3.5 | 6.8 ± 4.5 | 5.4 ± 1.7 | 6.8 ± 2.6 | 6.0 ± 1.6 | 6.0 ± 1.6 |
| " LDH " | 240 ± 49 | 207 ± 60 | 249 ± 63 | 242 ± 37 | 257 ± 37 | 227 ± 40 |
| " CPK " | 176 ± 141 | 183 ± 179 | 190 ± 165 | 170 ± 142 | 167 ± 142 | 162 ± 142 |

表中数字は、平均±標準偏差を示した。

ツドリンク摂取実験時では、回復30分および60分時でも安静値より、それぞれ1%および0.1%水準で有意に高値を示した。

血清遊離脂肪酸は各実験とも運動直後に有意に上昇した。対照実験時は、回復30分、60分、120分時にそれぞれ安静値より $0.51 \pm 0.23 \text{ mEq/l}$ (P < 0.05)まで低下し

<0.01)、 $0.59 \pm 0.29 \text{ mEq/l}$ (P < 0.05)、 $0.71 \pm 0.40 \text{ mEq/l}$ (P < 0.05)だけ高値を示した。これに比較し、スポーツドリンク摂取実験時には、摂取後30分時にほぼ安静値レベルまで低下し、以後このレベルを持続した。水を摂取した実験では、水摂取後30分時に $0.75 \pm 0.28 \text{ mEq/l}$ まで低下し

表Ⅱ-10 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

| N | 安 静 時 | 運動30分後 | 運動60分後 | 回 復 30 分 | 回 復 60 分 | 回 復 120 分 |
|-----------------------------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|-------------|
| 赤 血 球 数 $\times 10^4/\text{mm}^3$ | 476 ± 12 | 496 ± 14 | 513 ± 18 | 497 ± 18 | 496 ± 18 | 492 ± 19 |
| 白 血 球 数 $\times 10^3/\text{mm}^3$ | 5.3 ± 1.3 | 6.5 ± 2.0 | 6.7 ± 2.0 | 5.8 ± 1.6 | 6.1 ± 1.4 | 8.7 ± 3.5 |
| ヘマトクリット値 % | 42.1 ± 1.4 | 43.7 ± 2.2 | 45.3 ± 1.8 | 43.8 ± 1.6 | 43.8 ± 1.7 | 43.5 ± 2.1 |
| ヘモグロビン値 g/dl | 14.4 ± 0.5 | 15.0 ± 0.6 | 15.5 ± 0.6 | 15.0 ± 0.5 | 14.9 ± 0.5 | 14.8 ± 0.8 |
| MCHC % | 33.8 ± 0.6 | 34.2 ± 0.9 | 33.8 ± 0.5 | 33.9 ± 0.06 | 33.8 ± 0.5 | 33.7 ± 0.4 |
| MCV μ^3 | 87.8 ± 2.1 | 87.3 ± 3.0 | 87.3 ± 2.1 | 87.3 ± 1.5 | 87.3 ± 2.1 | 87.5 ± 2.4 |
| MCH pg | 29.7 ± 0.9 | 30.2 ± 0.3 | 30.0 ± 0.4 | 30.1 ± 0.5 | 30.0 ± 0.5 | 29.8 ± 0.8 |
| Stab % | 7.3 ± 3.0 | 5.8 ± 2.8 | 3.8 ± 3.0 | 6.5 ± 3.4 | 7.3 ± 4.0 | 8.8 ± 1.3 |
| Seg " | 50.8 ± 8.5 | 46.3 ± 7.0 | 49.0 ± 10.8 | 52.8 ± 10.9 | 56.3 ± 11.1 | 62.0 ± 11.9 |
| Eosino " | 3.0 ± 2.5 | 1.5 ± 1.0 | 1.0 ± 0 | 3.7 ± 1.2 | 3.3 ± 2.5 | 2.3 ± 1.2 |
| Baso " | — | 1 ± 0 | 1.8 ± 1.0 | 2 ± 0 | 1.5 ± 0.7 | 1 ± 0 |
| Mono " | 1.7 ± 0.6 | 1.8 ± 1.0 | 1.7 ± 0.6 | 1.7 ± 0.6 | 2 ± 0 | 1 ± 0 |
| Lymph " | 40.3 ± 4.6 | 41.8 ± 7.0 | 41.8 ± 9.0 | 36.3 ± 9.2 | 32.0 ± 8.8 | 26.5 ± 10.5 |
| W | | | | | | |
| 赤 血 球 数 $\times 10^4/\text{mm}^3$ | 467 ± 22 | 506 ± 23 | 520 ± 32 | 490 ± 26 | 503 ± 44 | 494 ± 26 |
| 白 血 球 数 $\times 10^3/\text{mm}^3$ | 5.0 ± 0.9 | 6.1 ± 1.1 | 6.9 ± 1.2 | 7.1 ± 2.2 | 7.7 ± 2.2 | 9.2 ± 2.5 |
| ヘマトクリット値 % | 41.2 ± 2.0 | 44.7 ± 2.2 | 45.0 ± 3.3 | 43.1 ± 2.4 | 44.4 ± 4.3 | 43.8 ± 2.5 |
| ヘモグロビン値 g/dl | 14.3 ± 0.9 | 15.4 ± 0.8 | 15.8 ± 0.9 | 15.0 ± 0.8 | 15.1 ± 1.4 | 15.0 ± 0.8 |
| MCHC % | 34.2 ± 0.7 | 34.0 ± 0.5 | 34.2 ± 0.8 | 34.4 ± 0.7 | 33.8 ± 0.4 | 33.8 ± 0.7 |
| MCV μ^3 | 87.6 ± 0.9 | 87.8 ± 1.1 | 87.8 ± 1.6 | 87.2 ± 1.6 | 87.6 ± 1.3 | 88.0 ± 1.9 |
| MCH pg | 30.4 ± 0.7 | 30.2 ± 0.5 | 30.3 ± 0.3 | 30.5 ± 0.7 | 30.0 ± 0.3 | 30.1 ± 0.7 |
| Stab % | 3.4 ± 1.7 | 5.2 ± 2.9 | 6.0 ± 1.7 | 7.0 ± 3.4 | 8.4 ± 2.6 | 9.2 ± 2.7 |
| Seg " | 48.4 ± 4.4 | 46.6 ± 12.0 | 46.4 ± 13.2 | 58.8 ± 7.8 | 60.0 ± 8.5 | 68.8 ± 4.8 |
| Eosino " | 2.4 ± 0.9 | 3.8 ± 1.9 | 2.0 ± 1.4 | 2.0 ± 1.4 | 2.3 ± 0.6 | 2.5 ± 0.7 |
| Baso " | 1 ± 0 | 2.5 ± 2.1 | 2 ± 0 | 2 ± 0 | 1 ± 0 | 1 ± 0 |
| Mono " | 1.5 ± 0.6 | 2.0 ± 1.0 | 1 ± 0 | 1 ± 0 | 2.3 ± 0.5 | 1.6 ± 0.6 |
| Lymph " | 43.8 ± 5.3 | 46.8 ± 14.6 | 44.2 ± 14.0 | 30.8 ± 9.3 | 28.0 ± 8.9 | 19.4 ± 5.9 |
| S | | | | | | |
| 赤 血 球 数 $\times 10^4/\text{mm}^3$ | 468 ± 19 | 504 ± 18 | 514 ± 18 | 480 ± 18 | 480 ± 19 | 486 ± 15 |
| 白 血 球 数 $\times 10^3/\text{mm}^3$ | 5.5 ± 1.3 | 6.5 ± 1.9 | 7.2 ± 1.7 | 6.1 ± 1.6 | 6.6 ± 1.7 | 7.7 ± 2.4 |
| ヘマトクリット値 % | 41.2 ± 1.9 | 44.6 ± 2.0 | 45.5 ± 2.0 | 42.5 ± 1.5 | 42.4 ± 1.8 | 42.8 ± 1.9 |
| ヘモグロビン値 g/dl | 14.3 ± 0.7 | 15.3 ± 0.6 | 15.6 ± 0.7 | 14.6 ± 0.6 | 14.5 ± 0.6 | 14.7 ± 0.6 |
| MCHC % | 34.5 ± 0.5 | 34.1 ± 0.6 | 34.0 ± 0.2 | 34.1 ± 0.4 | 34.0 ± 0.3 | 33.9 ± 0.5 |
| MCV μ^3 | 87.2 ± 1.9 | 87.8 ± 1.9 | 87.6 ± 1.8 | 87.6 ± 1.5 | 87.4 ± 1.3 | 87.4 ± 1.8 |
| MCH pg | 30.5 ± 0.6 | 30.3 ± 0.5 | 30.2 ± 0.6 | 30.3 ± 0.5 | 30.1 ± 0.4 | 30.0 ± 0.5 |
| Stab % | 5.0 ± 3.0 | 4.2 ± 1.3 | 5.8 ± 3.7 | 7.5 ± 1.3 | 5.8 ± 2.1 | 6.8 ± 3.9 |
| Seg " | 46.8 ± 12.0 | 47.2 ± 12.0 | 42.6 ± 9.6 | 53.5 ± 11.9 | 53.8 ± 13.1 | 65.8 ± 3.6 |
| Eosino " | 3.0 ± 1.8 | 3.0 ± 2.7 | 3.2 ± 1.3 | 3.0 ± 1.4 | 2.7 ± 2.1 | 1.0 ± 0.7 |
| Baso " | 2.8 ± 1.7 | 2.3 ± 0.6 | 2 ± 0 | 1 ± 0 | 2.5 ± 2.1 | 1.5 ± 0.6 |
| Mono " | 2.0 ± 0.8 | 1.7 ± 0.6 | 2.0 ± 0.7 | 2.7 ± 2.1 | 3.3 ± 0.6 | 1 ± 0 |
| Lymph " | 42.2 ± 11.7 | 44.6 ± 12.1 | 45.6 ± 8.5 | 33.3 ± 11.9 | 34.0 ± 11.9 | 23.0 ± 4.2 |

表中数字は、平均±標準偏差を示した。

たが、回復60分時には $0.85 \pm 0.18 \text{ mEq/l}$ ($P < 0.05$)、120分時で $1.03 \pm 0.37 \text{ mEq/l}$ に再び上昇した。

血清中性脂肪および総コレステロール値は運動

後に上昇し、回復期では徐々に低下する変動パターンであった。また、三実験間の変動パターンには著明な差異は認められなかった。

血清尿酸値は三実験ともに運動直後から有意に

上昇し、回復期においても有意に高値を持続し、回復2時間後も安静値には回復しなかった。

血清クレアチニン値は三実験時とも運動直後に有意に上昇した。

血清尿素窒素は、対照実験時には運動直後から有意に上昇し、回復120分時でも 18.0 ± 2.6 mg/dlの有意な($P < 0.05$)高値であったが、スポーツドリンクおよび水摂取実験時では著明な変化を認めなかった。

血清逸脱酵素活性のうちGOT, GPT, LDH, CPK活性値は、三実験間に著明な差異は認めなかつた。

(7) 血球数および血液像

血球数および血液像の結果については表II-10に示した。

白血球数は運動後に上昇したが、とくに水を摂取した実験時では回復期にも上昇し、120分時には 9.2 ± 2.5 ($\times 10^3/\text{mm}^3$)であった。対照実験およびスポーツドリンク摂取実験時には、回復30分時に一時減少するものの再び徐々に上昇し、回復120分時には対照実験では 8.7 ± 3.5 ($\times 10^3/\text{mm}^3$)、スポーツドリンク摂取実験では 7.7 ± 2.4 ($\times 10^3/\text{mm}^3$)の高値を示した。

赤血球数、ヘモグロビン値およびヘマトクリット値とも運動後に有意に上昇したが、回復期には低下する変動パターンであった。しかし、いずれも回復120分時でも安静値に比較し有意な高値であり、三実験間に著明な差異は認められなかつた。

血液像の中でも、分葉核白血球数の割合は運動直後に減少し、回復期には徐々に上昇した。対照実験では、回復120分時に安静値より $11.3 \pm 8.1\%$ 、水を摂取させた実験では、 $20.4 \pm 5.7\%$ ($P < 0.01$)、スポーツドリンク摂取実験では、 $21.3 \pm 10.1\%$ ($P < 0.05$)の高値であり、水分を摂取した場合高い上昇率を示した。

リンパ球は運動により若干上昇傾向を示したが、回復期では減少し、回復120分時には対照実験では安静値に比較し $-13.8 \pm 6.7\%$ ($P < 0.05$)、水摂取実験では -24.4 ± 8.0 ($P < 0.01$)、スポーツドリンク摂取実験では、 $-20.3 \pm 9.5\%$ ($P < 0.05$)であり、水分を摂取した場合の減少が著明であった。

IV 考察

著者らの先行研究²⁾において、暑熱環境下での運動時には水分摂取が有効であろうことが示唆された。しかし、現在のところ摂取水分の成分、摂取量、摂取時期などについては必ずしも明確な根拠があるわけではない。摂取水分の浸透圧については、Costill D.L と B.Saltin⁷⁾ の報告によれば、体液のはば $2/3$ の浸透圧が最も有効に吸収される、という。水分の摂取時期については、運動中に摂取した報告^{8), 9)} がみられ、この場合には運動時の体温上昇を抑制する効果があった、と述べられている。

運動時の水分摂取については、運動時の外部環境条件、運動の強さと持続時間および水分摂取によって何を期待するかなどで、摂取条件が異なることは言うまでもない。

本実験では、室温約33°C、湿度55%の条件下で60~70% $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ 強度のトレッドミル走を60分間負荷し、運動後は5分以内に10°Cに冷した市販スポーツドリンク 500 ml または水道水を摂取させ、回復過程に及ぼすこれら水分摂取の影響を、血圧、腋窩温、血中電解質、浸透圧および体液の恒常的維持や血圧調節に関与すると言われるホルモン(アルドステロン、アンギオテンシンⅡ)の動態および尿量や尿中生化学成分の変化を指標として調べた。

本実験で負荷したトレッドミル走時の平均酸素摂取量は、水分を摂取しなかつた、いわゆる対照実験では、 29.7 ± 1.5 ml/kg/min、水を摂取した実験では、 29.8 ± 1.9 ml/kg/min、市販スポーツドリンク摂取実験では、 30.4 ± 2.0 ml/kg/minであり、それぞれ個々人の $\dot{V}\text{O}_2\text{max}$ の 63.0%，63.1%，64.4% であった。また、運動中の平均心拍数は対照実験では 160.5 ± 8.9 拍/分、水摂取実験で 162.7 ± 9.9 拍/分、スポーツドリンク摂取実験で 160.5 ± 8.9 拍/分であり、いずれも三実験間に有意な差は認められなかつた。したがって、水分摂取前の運動負荷条件および運動環境条件は三者間はほぼ等しかつた、との前程に立って、水分摂取後の各パラメーターの動態から、水分摂取の影響について考えてみたい。

本実験のような高温環境下での運動時には酸素摂取量の増加は著明ではない²⁾が、心拍数の上昇は顕著である。一般的には、本実験の被検者の年齢では 60~65% $\dot{V}O_2$ max 相当強度の運動時的心拍数は 130~140 拍/分と報告⁶⁾されているが、本実験の運動時平均心拍数はそれより約 20 拍/分も高くなっている。これは、はじめにも述べたように、本実験のような 33℃ という高温下での運動時には、皮膚血流量などが増大し、Stroke Volume が減少し、その代償として心拍数が増加した¹⁾ものと考えられる。

本実験において、運動後すなわち水分摂取後に観察された種々の測定値のうち、とくに对照実験、水摂取およびスポーツドリンク摂取実験の三実験間で差異の認められたものは、次のような点であった。ここでは、これらの諸点を基にして運動後の水分摂取の影響について考察することにする。

① 回復期の心拍数は、対照および水摂取実験に比較し、スポーツドリンク摂取時には速やかに回復し、有意に低値であった。

② 対照実験時の運動負荷および回復 2 時間後の体重差は平均 1.94 kg であったが、水およびスポーツドリンク摂取実験ではそれぞれ 1.63 kg, 1.56 kg であり、スポーツドリンク摂取時の体重減少が最も少なかった。

③ 回復期の拡張期血圧は、対照実験では運動前値以下に低下する傾向であったが水分摂取とくにスポーツドリンク摂取時には低下が抑制され对照時のそれに比較し有意に高値であった。

④ 血清浸透圧は、対照実験では運動時漸次上昇し、運動後も回復せず回復 60 分時では安静値より 6.2 mOsm/kg·H₂O の有意な高値であった。しかし、水摂取後では安静値以下に低下した。スポーツドリンク摂取後には、安静値より高値となり回復 30, 60 分時にはそれぞれ 7.0, 2.4 mOsm/kg·H₂O だけ有意な高値を示した。

⑤ 血清電解質とくに Na 濃度は、対照実験では運動後も回復せず、運動後 120 分でも平均 2.6 mEq/l だけ有意に高値であった。しかし、水およびスポーツドリンク摂取時には摂取 30 分後からほぼ安静値レベルに回復した。

⑥ 血漿アルドステロン濃度は運動後いずれも著しい上昇を示したが、対照および水摂取実験時には運動後でも回復せず、安静値に比較し有意に高値であった。スポーツドリンク摂取時には回復 30 分後に安静値に回復した。アンギオテンシンⅡ 濃度もアルドステロンと同様の変動傾向であった。

⑦ 血糖および乳酸値は、スポーツドリンク摂取 30 分後に有意に上昇したが前者では安静値以下に低下した。しかし、遊離脂肪酸は、いずれも運動後上昇したが対照および水摂取時には回復 120 分まで漸次上昇を続け、安静値のほぼ 3 倍の高値であった。スポーツドリンク摂取後では、速やかに回復し摂取 30 分後には安静値に回復し、以後それを持続した。

⑧ 白血球数は、いずれも運動後に上昇したが回復期の変動様相は三者三様であった。しかし、分葉核は運動直後減少し回復期には上昇したが、対照実験では回復 120 分には安静値に比較し 11.3 % 上昇したにすぎなかったが、水およびスポーツドリンク摂取時にはそれぞれ 20.4% ($P < 0.01$), 21.3% ($P < 0.05$) の高値であった。

リンパ球は運動直後上昇傾向を示すが、それ以後は回復し、対照実験では回復 120 分時には安静値に比較し、-13.8% ($P < 0.05$)、水摂取時では -24.4% ($P < 0.01$)、スポーツドリンク摂取時は -20.3% ($P < 0.05$) の低下であった。

⑨ 尿量は三実験とも運動直後有意に低下したが回復 60 分後にはいずれも安静値レベルに回復し以後それを維持し、三者間に特異な変動の差異はなかった。また、尿中電解質濃度および排泄量にも尿量と同様三者間に大きな差異はなかった。

⑩ 尿浸透圧はいずれも運動直後または 30 分後に最も低下するが、スポーツドリンクを摂取した場合には回復期の尿浸透圧の低下が最も僅少であった。

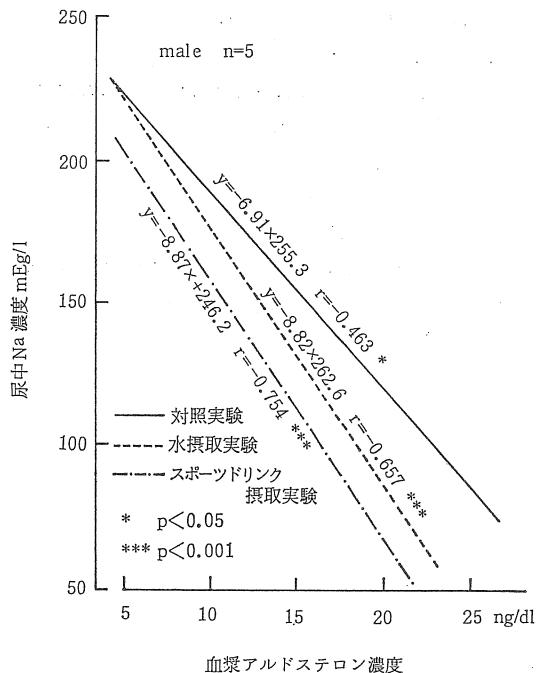
本実験で得られた結果のうち、三実験間で差異の認められたもの、または差異が予想されたにもかかわらずまったく差異がなかったものなど特徴的結果は上記 10 項目であった。

スポーツドリンク摂取時の血糖、乳酸および遊離脂肪酸の動態は、スポーツドリンク中に糖質が

1.9 g/dl の濃度で含まれていたための影響であろう。運動時の白血球数およびその分画像の変動機序については明確な説明がなされていないが、塩田ら¹⁰⁾は2時間のトレッドミル走の途中で20%庶糖液300~500ml経口投与することにより、上昇していた白血球数が速やかに減少し、この同時に測定したc-AMPや成長ホルモンも同様に低下した、ことを報告している。これは、力源としての糖質が補給されたため糖動員ホルモンが分泌低下したことによるのだろう。しかし、白血球数および分葉核またはリンパ球との関連は明らかにはされてはいないが、糖質が補給されたことに関連のあることには疑いない。したがって、本実験での白血球数や分画像の動態はスポーツドリンク中に含まれる糖質の影響によるものだろう。

運動後に一過性に尿量が減少するが、回復60分後にはいずれも安静値レベルに回復した。対照実験においても二者と比較し、尿量の不足がみられなかつたことは、かなりの細胞外液の余剰があつたことを裏付けるものであり¹¹⁾、これによって尿量を維持したものと思われる。しかし、体液水分量やNa量が不足していたことは、血清浸透圧や血漿アルドステロン濃度の高値持続によって知られる。

高温環境下での運動後に、対照実験時には拡張期血圧の降下がおこり、回復期にも回復しなかつた。この場合、アンギオテンシンⅡやアルドステロンの分泌が著しく亢進していた。これは、体水分量の不足から循環血液量の低下をきたし、これに対し、尿細管において水やNaの再吸収を促進し、末梢血管の収縮によって血圧や循環血液量を維持しようとの反応であろう。単なる水道水よりも電解質や糖質などを含んだスポーツドリンクを摂取した場合に血漿アルドステロンやアンギオテンシンⅡの分泌が僅少であったことは、少なからず水分や電解質補給に貢献したことを意味するものであり、図II-5にみられるように、尿中Na濃度と血漿アルドステロン濃度との関連はスポーツドリンク摂取時に最も密接であった。このことは、スポーツドリンク摂取によって比較的体水分や電解質(Na)の不足が緩和されており、アルドステロンの機能が効率よく発揮される状況にあったこ



図II-5 血漿アルドステロン濃度と尿中Na濃度との関連

とを示すものであろう。スポーツドリンク摂取時には、尿量や尿中電解質排泄量は他二者と差はなかつたが、アルドステロン分泌は他二者に比較し少なかつた。

これらのことから、高温環境下での運動後には、何も摂取しなかつたり、単に水道水を摂取するよりは、電解質や糖質を含んだ水溶液を摂取した方が、拡張期血圧降下の防止、不足した体水分量および電解液の補給という点からも好ましいと思われる。

文 献

- Rowell, L. B., K. K. Kvaningii, J. W. Kennedy and T. O. Evans : Central circulatory responses to work in dry heat before and after acclimatization. *J. Appl. Physiol.* 22 : 509-518. 1967
- 鈴木 政登他：種々の環境条件下で運動時事故死の原因を考える。デサントスポーツ科学。2 : 127-133. 1981.
- 黒田 善雄：XXI World congress in sports medicine, Brasilia, Brazil. September 7-12 1978.
- Nicholson, R. M. and K. W. Somerville : Heat

- stroke in a "run for fun". British Medical Journal 10 : 1525-1526, 1978.
- 5) VUORI, I., M. Makarainen and A. Jaaskelainen : Sudden death and physical activity. Cardiology 63 : 287-304, 1978.
- 6) 体育科学センター編：健康づくりと運動カルテ。講談書。東京。1976。
- 7) Costill, D. L and B. Saltin : Factors limiting gastric emptying during rest and exercise. J. Appl. Physiol. 37 : 679-683 1974.
- 8) Gisolfi, C. V. and J. R. Copping : Thermal effects of prolonged treadmill exercise in heat. Medicine and Science in Sports. 6 : 108-113, 1974.
- 9) 堀田 昇他：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 8 : 89-95, 1980.
- 10) 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.
- 11) 桜井 豊他：心不全と脈管作用物質、最新医学, 35, 1, 40-45, 1980.

III 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

(スポーツ選手に高温環境下で1時間走(約70% $\dot{V}O_2 \text{ max.}$ 強度)をさせ、終了後 500 ml (10°C) のスポーツ飲料を摂取させた場合)

執筆者 伊藤 朗
研究協力者 金丸 哲志¹⁾ 三上 俊夫¹⁾
栗林 徹¹⁾ 角田 聰¹⁾
丹 信介¹⁾

緒言

運動時の水分摂取は、種々の目的でなされているが、要約すると以下の如くなる。

1) 発汗による水分喪失を補う^{12),13)}。2) 発汗に伴う塩分喪失を補う¹⁵⁾。3) 体温調節への直接間接的補助^{12),14)}。4) 栄養物添加による栄養源の補給。5) 精神的ストレスの解消¹⁶⁾。6) パフォーマンス低下防止¹⁷⁾。7) 疲労の回復などが考えられている。しかし、水分摂取の時間、量、混合物等によっては、効果的に作用せず、逆にマイナスに作用する場合があり得る。

特に混合物については、調製がはん雑であるため、最近各種のスポーツ飲料が発売されているが、これらを運動時に摂取させた研究は、上記7項目に関与するもので占められている。

しかし、運動終了後に摂取する水分に関する研究は、直接パフォーマンスに影響しないためか、従来からほとんど実施されていない。また、運動による血液濃縮や代謝の高進に伴い血中化学成分は著しく変化するため、運動後に摂取する水分の影響は無視できない。それに発汗や運動代謝、腎

機能が関与するため複雑になり、尿化学成分に関する研究も重要である。

本研究では、上記をふまえて、高温環境下での長時間走後のスポーツ飲料摂取が、血液、尿化学成分に如何なる影響を及ぼすかについて検討することとした。

I 研究方法

被検者

被検者は、筑波大学体育専門学群男子学生5名で、年齢は19.7~21.5歳、スポーツ歴は5~11年、最大酸素摂取量は48.6~57.6 ml/kg/min である(表Ⅲ-1)。

測定項目及び方法

測定項目及び方法は、血液浸透圧値(冰点降下法、VOGEL 社製 OSMOMETER, OM 801 使用)、血清総蛋白値(屈折法、ATAGO 社製屈折計)、血中水分値(血清総蛋白値より算出)¹²⁾、血糖値(酵素法)、血中乳酸値(UV法)、血清尿酸値(酵素法)、血清クレアチニン値(フォーリン・

表Ⅲ-1 被検者の身体特性とスポーツ歴

| | スポーツ歴 | 年齢 (才) | 身長 (cm) | 体重 (kg) | 最大酸素摂取量 (ml/kg/min) | 体表面積 (m ²) | ローレル指數 |
|------|-------------|-----------|------------|------------|------------------------|---------------------------|--------|
| T.C. | サッカー 11yrs. | 20.7 | 175.0 | 70.0 | 48.6 | 1.86 | 131 |
| T.S. | サッカー (5.5) | 21.5 | 171.0 | 67.0 | 59.4 | 1.80 | 134 |
| K.O. | 三段跳 (5) | 20.5 | 175.2 | 69.0 | 55.1 | 1.85 | 128 |
| Y.S. | 走高跳 (8) | 19.8 | 172.0 | 65.0 | 54.8 | 1.78 | 128 |
| Y.M. | 棒高跳 (8) | 19.7 | 174.5 | 68.0 | 49.9 | 1.84 | 129 |
| MEAN | | 20.4 | 173.5 | 67.9 | 53.6 | 1.83 | 130 |
| S.D. | | 0.7 | 1.9 | 1.9 | 3.9 | 0.04 | 3 |

¹⁾筑波大学

ウ一法), 血清CPK活性値(酵素法), 血清尿素窒素値(ウレアーゼ・インドフェノール法), 血清Na値(炎色法), 血清K値(炎色法), 血清Cl値(クロライドメーター), 血清Ca値(OCPC法), 血清Mg値(ディシリチルブルー法), 血清P値(パラメチル・アミノフェノール還元法)。尿中尿酸排泄量(酵素法), 尿中クレアチニン排泄量(フオーリン・ウ一法), 尿比重(屈折法), 尿pH(試験紙法), 尿中Na排泄量(炎色法), 尿中K排泄量(炎色法), 尿中Cl排泄量(クロライドメーター), 尿中Ca排泄量(OCPC法), 尿中Mg排泄量(ディシリチルブルー法), 尿中P排泄量(パラメチル・アミノ・フェノール還元法)等で, 合計25項目である。

運動中及び回復過程の心拍数は, 胸部双極誘導法により導出し, ホクバン社製HD101型PULSE COUNTERで30秒間毎に算出させた。同じく直腸温は, 日本光電社・NOMSTETH07A.B.P.M.により測定した。運動中の酸素摂取量は, ダグラスバッグに採氣し, サンプルをANALYTICAL INSTRUMENTS製RAS-31, RAS-41で分析して算出した。

スポーツ飲料について

実験に供したスポーツ飲料は, 米国SVC社のライセンス処方に則って作られた雪印社製品で, その成分は表III-2に示した。これを冷蔵庫に保存して10℃とし, 500mlを運動終了3分後の採

表III-2 スポーツ飲料の成分分析値
(500ml中)

| | |
|---------------------|-------|
| 水 分(g) | 470.5 |
| 灰 分(g) | 0.5 |
| Na (mg) | 225 |
| K (mg) | 75 |
| P (mg) | 55 |
| 有機酸(g) | 1.5 |
| ビタミン | |
| B ₁ (mg) | 0.75 |
| B ₂ (mg) | 0.50 |
| C (mg) | 40.0 |
| 糖 質(g) | 27.5 |
| 浸透圧(mosM/l) | 285.6 |
| pH | 3.02 |
| カロリー(Kcal) | 220 |

血採尿終了後できる限りすみやかに摂取させた。以下これをスポーツ飲料実験と呼ぶこととする。

また, 対照実験としてスポーツ飲料のかわりに10℃の蒸溜水を同様に摂取させた。以下これを水摂取実験と呼ぶこととする。更に対照実験として, 何も摂取させない実験を行ったが, これを無摂取実験と呼ぶこととする。

運動負荷法

被検者には, 前もってトレッドミル速度漸増法, 傾斜角5度にて最大酸素摂取量の測定を行った。それをもとに約70% VO₂max. 強度のトレッドミル走を30分間負荷し, 10分間の休息をおいて更に30分間負荷した。トレッドミルの傾斜角は0度である。

約70% VO₂max. 強度の維持には, 心拍数とRPE(主観的運動強度設定法)により行ない, 換気量をもとに約70% VO₂max. になるようトレッドミル速度を隨時調節した。

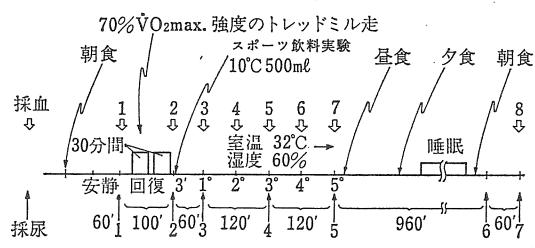
実験は環境制禦室内で行い, 室温32℃, 湿度60%, 1気圧とし, 回復5時間後までは臥位安静を保持させた。その後は自室に帰り, できる限り安静を保持するように指示した。

食事

実験前日の夕食は, 食事時間のみを規定し, 8時には終了するよう指示した。また実験当日の朝食は, 実験開始2時間前に規定食{クラッカー(マーガリン), 牛乳, チーズ, ソーセージ入りオムレツ}をとらせ, 昼食はチャーハン, みそ汁, 冷奴, コンビーフとジャガイモの炒めものに規定した。また夕食は, ご飯, みそ汁, ハンバーグ, 野菜サラダ, バナナに規定し, 夕食から翌朝の採血採尿までの飲水量は1lとした。

採血・採尿

被検者は図III-1の実験プロトコールに示したごとく, 実験開始1時間前に実験室に集合させ, 完全排尿させた。第1回目の採血採尿は椅坐安静を保持させた後, 運動前に行った。その後は直ちに運動負荷実験に入り, 終了3分後に第2回目の採血採尿を行ない, その後は, 1, 2, 3, 4, 5, 22時間後の8回の採血を実施した。また採尿は,

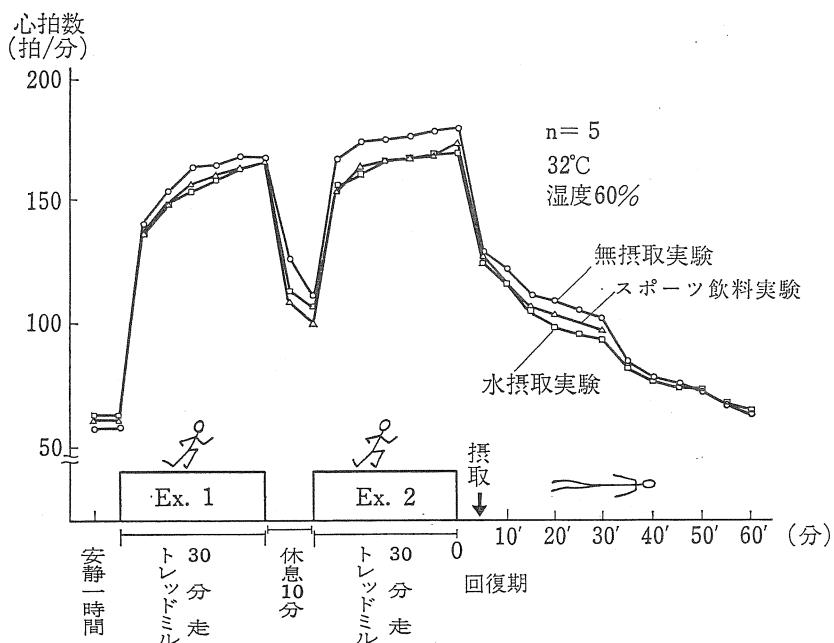


図III-1 実験手順

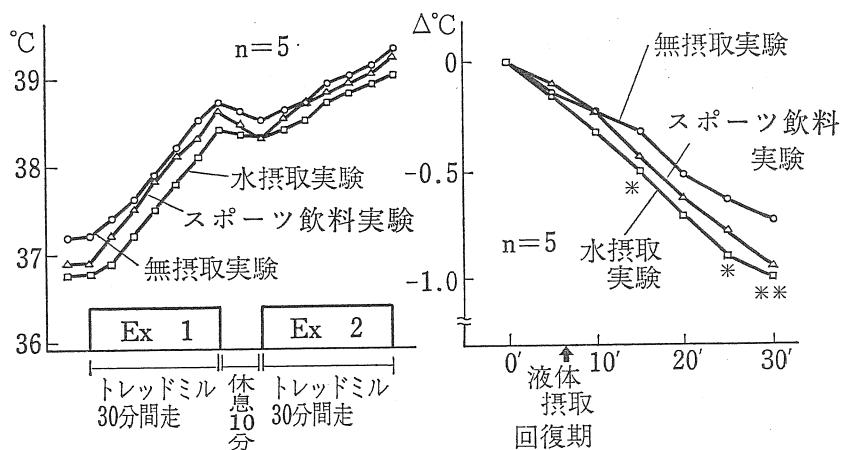
1, 3, 5, 21, 22 時間後の 7 回行った。採血は、すべて肘静脈より行った。

実験期日

実験は 1981 年 9 月中旬から 11 月中旬にかけて
行ない、3 種の実験の間隔は最低でも 1 週間とし
た。



図III-2 32°C, 湿度 60% 環境下でのトレッドミル1時間走の心拍数の変化



図III-3 32°C、湿度60%環境下でのトレッドミル1時間走中の直腸温の変化と、運動終了直後の直腸温を0°Cとした場合の回復期の減少温度の変化

II 結 果

1. 心 拍 数

運動中及び回復1時間後までの心拍数の平均値は、図III-2に示したごとく3種の実験において、ほとんど差が認められなかった。前半30分間のトレッドミル走終了時の心拍数の平均偏差は、無摂取実験 167.7 ± 8.1 拍/分、水摂取実験 165.4 ± 11.5 拍/分、スポーツ飲料実験 167.2 ± 9.0 拍/分であり、3種の実験には有意差がなかった。後半30分間走の終了時の心拍数の平均偏差は、無摂取実験 180.3 ± 5.4 拍/分、水摂取実験 170.0 ± 13.0 拍/分、スポーツ飲料実験 173.4 ± 11.1 拍/分であり、前半後半とも有意差が認められなかった。

また、回復期の心拍数は、すみやかに低下したが3種の実験には有意差が認められなかった。

2. 直腸温

運動中の直腸温の変化は、前半30分間のトレッドミル走においても直線的に上昇し、途中10分間の休息では一時低下するが、後半の30分間走でも直線的な上昇を示し、3種の実験間には有意差がなかった(図III-3)。

回復期の直腸温については、1時間走終了直後を 0°C としたときの減少温度で示した。無摂取実験との比較では、30分後から水摂取実験で有意な低下($P < 0.05 \sim 0.01$)を示したが、水摂取実験とスポーツ飲料実験との比較では有意な差が認められなかった。

3. 酸素摂取量

運動中の酸素摂取量の平均値は、最低が水摂取実験後半30分間走の32.04、最高が無摂取実験前

表III-3 32°C湿度60%環境下でのトレッドミル1時間走行中の酸素摂取量、% $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$

| (ml/kg/min) (%) | 前半30分 間走平均 | 後半30分 間走平均 | 全体平均 |
|---|---------------------------------------|---------------------------------------|---------------------------------------|
| スポーツ飲料実験 % $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ | 35.12 ± 6.86 65.52 ± 10.71 | 32.94 ± 6.19 61.51 ± 8.86 | 34.03 ± 5.95 63.61 ± 10.15 |
| 水摂取実験 % $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ | 34.88 ± 5.74 65.57 ± 12.28 | 32.04 ± 2.67 60.23 ± 3.49 | 33.46 ± 4.24 62.81 ± 9.48 |
| 無摂取実験 % $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ | 38.38 ± 6.21 72.14 ± 12.38 | 36.62 ± 7.01 68.83 ± 14.20 | 37.50 ± 5.98 70.50 ± 13.45 |
| 全体平均 % $\dot{V}\text{O}_{2\text{max}}$ | 36.13 ± 5.84 67.81 ± 12.26 | 33.87 ± 5.40 63.44 ± 10.61 | 35.00 ± 5.74 65.59 ± 11.68 |

表III-4 32°C湿度60%環境下でのトレッドミル1時間走後にスポーツ飲料を摂取させた場合の血清
浸透圧値、総蛋白値、水分値の変化

| | | 運動前 安静値 | 運動 直後値 | 回復 1時間値 | 回復 2時間値 | 回復 3時間値 | 回復 4時間値 | 回復 5時間値 | 回復 22時間値 |
|---------------------------------------|----------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 浸透圧値 (mosM/kg H ₂ O) | スポーツ飲料実験 | 299.4 ± 3.0 | 311.8 ± 3.8 | 303.8 ± 4.6 | 301.6 ± 4.6 | 302.0 ± 2.8 | 303.4 ± 2.7 | 304.2 ± 4.0 | 303.0 ± 4.8 |
| | 水摂取実験 | 297.6 ± 7.1 | 307.4 ± 6.5 | 303.5 ± 4.4 | 301.6 ± 4.0 | 302.0 ± 5.1 | 302.6 ± 3.6 | 302.0 ± 6.0 | 304.8 ± 5.0 |
| | 無摂取実験 | 300.0 ± 2.1 | 312.4 ± 4.3 | 306.2 ± 4.1 | 303.0 ± 6.1 | 302.2 ± 5.5 | 304.0 ± 2.4 | 305.6 ± 2.8 | 309.7 ± 3.8 |
| 総蛋白値 (g/dl) | スポーツ飲料実験 | 7.64 ± 1.09 | 8.06 ± 0.36 | 7.22 ± 0.70 | 7.04 ± 0.57 | 6.92 ± 0.43 | 7.00 ± 0.46 | 7.12 ± 0.46 | 7.02 ± 0.15 |
| | 水摂取実験 | 6.74 ± 0.26 | 7.90 ± 0.39 | 7.24 ± 0.31 | 7.04 ± 0.23 | 6.86 ± 0.24 | 6.88 ± 0.24 | 7.02 ± 0.30 | 7.04 ± 0.56 |
| | 無摂取実験 | 7.64 ± 0.56 | 8.82 ± 0.58 | 8.52 ± 0.22 | 8.14 ± 0.36 | 8.26 ± 0.27 | 8.30 ± 0.32 | 8.40 ± 0.43 | 7.50 ± 0.76 |
| 水分値 (%) | スポーツ飲料実験 | 95.08 ± 1.22 | 94.60 ± 0.41 | 95.52 ± 0.79 | 95.76 ± 0.64 | 95.88 ± 0.50 | 95.78 ± 0.55 | 95.64 ± 0.50 | 95.78 ± 0.15 |
| | 水摂取実験 | 96.06 ± 0.26 | 94.78 ± 0.43 | 95.52 ± 0.36 | 95.74 ± 0.26 | 95.94 ± 0.24 | 95.92 ± 0.24 | 95.74 ± 0.34 | 95.72 ± 0.62 |
| | 無摂取実験 | 95.08 ± 0.64 | 93.78 ± 0.65 | 94.08 ± 0.22 | 94.50 ± 0.41 | 94.40 ± 0.32 | 94.34 ± 0.36 | 94.24 ± 0.47 | 95.22 ± 0.84 |

表Ⅲ-5 32°C 湿度60%環境下でのトレッドミル1時間走後にスポーツ飲料を摂取させた場合の
血糖値、乳酸値、尿酸値、尿素窒素値、クレアチニン値、CPK活性値の変化

| | | 運動前 安静値 | 運動 直後値 | 回復 1時間値 | 回復 2時間値 | 回復 3時間値 | 回復 4時間値 | 回復 5時間値 | 回復 22時間値 |
|---|----------|-----------------|-------------------|--------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|------------------|
| 血 糖 (mg / dl) | スポーツ飲料実験 | 87.68 ± 9.24 | 109.14 ± 12.90 | 110.32 ± 22.90 | 91.00 ± 13.06 | 89.76 ± 13.78 | 87.92 ± 15.22 | 87.56 ± 15.43 | 90.32 ± 14.63 |
| | 水摂取実験 | 90.02 ± 9.61 | 106.06 ± 7.86 | * 90.86 ± 3.18 | 90.04 ± 3.71 | 86.80 ± 16.10 | 85.78 ± 7.93 | 86.90 ± 7.11 | 99.10 ± 17.38 |
| | 無摂取実験 | 80.98 ± 7.58 | 99.66 ± 15.04 | * 93.08 ± 16.35 | 83.98 ± 15.47 | 84.44 ± 14.35 | 86.60 ± 12.80 | 85.56 ± 15.61 | 90.53 ± 29.08 |
| 血 中 乳 酸 (mg / dl) | スポーツ飲料実験 | 14.94 ± 3.45 | 25.46 ± 4.66 | 18.50 ± 3.54 | 12.68 ± 4.71 | 10.06 ± 2.43 | 10.46 ± 2.47 | 10.32 ± 2.50 | — |
| | 水摂取実験 | 13.58 ± 3.70 | 24.80 ± 7.08 | 11.06 ± 2.31 | 11.34 ± 3.09 | 10.22 ± 2.95 | 10.20 ± 2.60 | 9.70 ± 2.35 | — |
| | 無摂取実験 | 15.34 ± 6.11 | 29.32 ± 6.69 | 14.08 ± 4.15 | 12.41 ± 4.13 | 11.60 ± 3.08 | 13.72 ± 5.43 | 13.76 ± 3.60 | — |
| 血 清 尿 酸 (mg / dl) | スポーツ飲料実験 | 5.48 ± 0.58 | 6.06 ± 0.45 | 5.82 ± 0.65 | 5.64 ± 0.67 | 5.54 ± 0.67 | 5.46 ± 0.75 | 5.46 ± 0.77 | 5.02 ± 0.34 |
| | 水摂取実験 | 5.32 ± 0.92 | 5.78 ± 0.95 | 5.60 ± 0.96 | 5.64 ± 1.01 | 5.66 ± 1.00 | 5.66 ± 1.01 | 5.68 ± 1.00 | 5.50 ± 0.95 |
| | 無摂取実験 | 5.58 ± 0.98 | 6.00 ± 1.11 | 6.24 ± 1.21 | 6.24 ± 1.17 | 6.10 ± 1.22 | 5.96 ± 0.96 | 5.96 ± 0.84 | 5.28 ± 0.75 |
| 血 清 尿 素 窒 素 (mg / dl) | スポーツ飲料実験 | 15.60 ± 2.95 | 17.66 ± 2.69 | 17.60 ± 3.06 | 17.86 ± 2.83 | 17.40 ± 2.04 | 17.26 ± 2.86 | 16.72 ± 3.29 | 18.68 ± 3.77 |
| | 水摂取実験 | 13.38 ± 1.54 | 15.00 ± 2.10 | 15.66 ± 1.92 | 15.64 ± 2.78 | 15.84 ± 2.57 | 15.90 ± 2.39 | 15.48 ± 2.53 | 14.92 ± 2.04 |
| | 無摂取実験 | 15.70 ± 4.47 | 17.22 ± 4.37 | 17.64 ± 3.96 | 18.28 ± 3.86 | 18.58 ± 4.51 | 18.32 ± 4.49 | 17.96 ± 4.37 | 19.40 ± 4.91 |
| 血 清 ク レ ア チ ニ ン (mg / dl) | スポーツ飲料実験 | 1.16 ± 0.18 | 1.30 ± 0.12 | 1.30 ± 0.14 | 1.18 ± 0.13 | 1.10 ± 0.14 | 1.12 ± 0.13 | 1.06 ± 0.13 | 1.14 ± 0.15 |
| | 水摂取実験 | 1.18 ± 0.25 | 1.40 ± 0.24 | 1.32 ± 0.18 | 1.20 ± 0.12 | 1.18 ± 0.13 | 1.12 ± 0.08 | 1.08 ± 0.05 | 1.12 ± 0.05 |
| | 無摂取実験 | 1.16 ± 0.15 | 1.26 ± 0.13 | 1.30 ± 0.14 | 1.26 ± 0.15 | 1.18 ± 0.21 | 1.20 ± 0.19 | 1.24 ± 0.17 | 1.24 ± 0.15 |
| 血 清 CPK (IU/m1) | スポーツ飲料実験 | 88.4 ± 49.4 | 115.2 ± 64.2 | 106.6 ± 57.3 | 102.2 ± 53.5 | 100.0 ± 51.5 | 95.4 ± 49.3 | 94.6 ± 48.1 | 97.4 ± 76.5 |
| | 水摂取実験 | 65.0 ± 7.7 | 85.6 ± 8.6 | 78.6 ± 8.7 | 72.6 ± 6.4 | 70.8 ± 5.5 | 68.4 ± 5.1 | 67.8 ± 5.4 | 66.4 ± 25.5 |
| | 無摂取実験 | 62.8 ± 29.0 | 87.2 ± 44.0 | 85.0 ± 43.3 | 81.6 ± 44.0 | 81.2 ± 44.3 | 78.8 ± 42.8 | 78.4 ± 41.5 | 72.0 ± 45.5 |

半30分走の38.38 ml/kg/min. であった。全体平均では水摂取実験が 33.46 と最低、無摂取実験が 37.50 ml/kg/min. と最高であった。% $\dot{V}O_2$ max. では全体的に前半が高く、後半が低かった。全体としては、目標の 70% $\dot{V}O_2$ max. をやや下まわる 65.79% であった(表Ⅲ-3)。

4. 血中化学成分値

血清中の浸透圧値、総蛋白値及び水分値の平均値と偏差を表Ⅲ-4に示した。

表Ⅲ-5には、血糖値、乳酸値、尿酸値、尿素窒素値、クレアチニン値、CPK活性値を示した。

表Ⅲ-6には、血清電解質値(Na, K, Cl, Ca,

Mg, P) の平均値と偏差を示した。

5. 1時間走直後の変化

5人の被検者には、3種の実験を日を改めて実施している。従って3重測定を実施したことになり、貴重な資料である。

図Ⅲ-4-1に血清水分値、時間当たり尿量、血清浸透圧値を示した。血清水分値は、運動前に比し△-1.0% を示し、血清浸透圧値は逆に△+11.5 mOs mol/kg/H₂O であり、3.8%の増加率に相当する。水分喪失を少なくして体水分量を保持するため、尿量は減少している。運動前の1時間の安静時の尿量は 51.48 ml であったが、運動中の1

表III-6 32°C湿度60%環境下でのトレッドミル1時間走を後にスポーツ飲料を摂取させた場合の血清電解質値の変化

| | | 運動前 安 静 値 | 運動 直 後 値 | 回復 1時間値 | 回復 2時間値 | 回復 3時間値 | 回復 4時間値 | 回復 5時間値 | 回復 22時間値 |
|---------------------------------------|----------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|-----------------|------------------|-----------------|
| 血 清 Na (mEq/l) | スポーツ飲料実験 | 145.6 ± 3.36 | 148.0 ± 3.81 | 146.4 ± 3.36 | 145.8 ± 1.92 | 145.8 ± 1.79 | 147.6 ± 4.34 | 149.8 ± 7.12 | 147.6 ± 1.82 |
| | 水摂取実験 | 146.8 ± 1.92 | 148.6 ± 1.34 | 146.8 ± 1.64 | 146.6 ± 1.82 | 146.8 ± 1.48 | 147.2 ± 1.48 | 146.6 ± 1.14 | 146.2 ± 0.84 |
| | 無摂取実験 | 143.2 ± 2.17 | 145.8 ± 2.86 | 144.6 ± 3.65 | 142.8 ± 3.90 | 143.2 ± 3.77 | 143.2 ± 4.66 | 147.8 ± 10.28 | 147.2 ± 9.68 |
| 血 清 K (mEq/l) | スポーツ飲料実験 | 4.50 ± 0.37 | 4.62 ± 0.16 | 4.40 ± 0.23 | 4.36 ± 0.22 | 4.28 ± 0.23 | 4.28 ± 0.22 | 4.38 ± 0.16 | 4.64 ± 0.15 |
| | 水摂取実験 | 4.40 ± 0.25 | 4.72 ± 0.33 | 4.44 ± 0.26 | 4.34 ± 0.32 | 4.30 ± 0.37 | 4.36 ± 0.36 | 4.30 ± 0.37 | 4.32 ± 0.65 |
| | 無摂取実験 | 4.30 ± 0.34 | 4.54 ± 0.13 | 4.46 ± 0.30 | 4.38 ± 0.29 | 4.40 ± 0.25 | 4.38 ± 0.26 | 4.52 ± 0.43 | 4.58 ± 0.19 |
| 血 清 Cl (mEq/l) | スポーツ飲料実験 | 103.0 ± 1.73 | 105.2 ± 1.48 | 105.2 ± 1.48 | 104.8 ± 2.17 | 104.6 ± 1.67 | 104.4 ± 2.07 | 103.4 ± 3.21 | 103.8 ± 1.92 |
| | 水摂取実験 | 103.4 ± 1.67 | 105.2 ± 0.84 | 105.4 ± 1.52 | 105.2 ± 2.17 | 104.4 ± 1.67 | 104.0 ± 1.00 | 104.2 ± 1.30 | 102.6 ± 1.86 |
| | 無摂取実験 | 102.4 ± 3.21 | 106.0 ± 4.00 | 105.8 ± 3.56 | 105.4 ± 4.51 | 104.2 ± 6.61 | 104.4 ± 5.94 | 104.0 ± 6.93 | 103.3 ± 6.29 |
| 血 清 Ca ²⁺ (mEq/l) | スポーツ飲料実験 | 9.52 ± 0.63 | 10.28 ± 0.54 | 9.90 ± 0.70 | 9.74 ± 0.56 | 9.52 ± 0.50 | 9.52 ± 0.50 | 9.58 ± 0.63 | 9.74 ± 0.55 |
| | 水摂取実験 | 9.28 ± 0.63 | 10.52 ± 0.98 | 9.88 ± 0.67 | 9.64 ± 0.71 | 9.56 ± 0.65 | 9.44 ± 0.59 | 9.40 ± 0.58 | 9.28 ± 0.93 |
| | 無摂取実験 | 10.02 ± 0.40 | 11.08 ± 0.39 | 10.66 ± 0.47 | 10.36 ± 0.58 | 10.36 ± 0.62 | 10.34 ± 0.71 | 10.12 ± 0.52 | 9.80 ± 0.91 |
| 血 清 Mg (mEq/l) | スポーツ飲料実験 | 2.06 ± 0.06 | 2.20 ± 0.24 | 2.16 ± 0.11 | 2.04 ± 0.11 | 2.04 ± 0.11 | 2.02 ± 0.13 | 1.98 ± 0.11 | 2.10 ± 0.10 |
| | 水摂取実験 | 2.00 ± 0.19 | 2.08 ± 0.22 | 2.02 ± 0.18 | 1.92 ± 0.11 | 1.92 ± 0.15 | 1.96 ± 0.15 | 1.96 ± 0.22 | 2.02 ± 0.08 |
| | 無摂取実験 | 2.10 ± 0.07 | 2.08 ± 0.15 | 1.98 ± 0.16 | 1.96 ± 0.21 | 2.00 ± 0.12 | 2.08 ± 0.13 | 2.06 ± 0.09 | 2.38 ± 0.63 |
| 血 清 P (mg/dl) | スポーツ飲料実験 | 2.00 ± 0.37 | 2.50 ± 0.45 | 2.10 ± 0.38 | 2.08 ± 0.36 | 2.14 ± 0.31 | 2.14 ± 0.31 | 2.14 ± 0.24 | 2.18 ± 0.27 |
| | 水摂取実験 | 2.12 ± 0.33 | 2.52 ± 0.33 | 2.20 ± 0.41 | 2.26 ± 0.34 | 2.42 ± 0.41 | 2.38 ± 0.36 | 2.40 ± 0.32 | 2.08 ± 0.25 |
| | 無摂取実験 | 1.80 ± 0.28 | 2.22 ± 0.19 | 1.94 ± 0.30 | 1.92 ± 0.26 | 2.10 ± 0.21 | 2.18 ± 0.27 | 2.20 ± 0.31 | 2.16 ± 0.74 |

時間では 28.94 ml であり、△-22.54 ml となり、減少率は 43.8% に相当する。

図 III-4-2 に血糖値、血清尿酸値、血清クレアチニン値、血清尿素窒素値について示した。血糖値は △+18.4 mg/dl で、増加率は 21.3% に相当する。血清尿酸値は △+0.49 mg/dl で、増加率は 9.0% に相当する。血清クレアチニン値は △+0.15 mg/dl で 12.8% の増加率に相当する。血清尿素窒素値は △+1.7 mg/dl で 11.4% の増加率に相当する。

図 III-4-3 に血清 CPK 活性値、尿酸時間当たり排泄量、尿酸クリアランス、尿クレアチニン時間当たり排泄量を示した。血清 CPK 活性値は、+23.9 IU/ml で 33.1% の増加率に相当する。尿酸の時

間当たり排泄量は -4.12 mg/hr で減少率は 18.5% に相当する。尿酸クリアランスは、3.17 ml/min で減少率は 43.1% に相当する。尿クレアチニン時間当たり排泄量は -8.3 mg/dl で減少率は 11.3% に相当する。

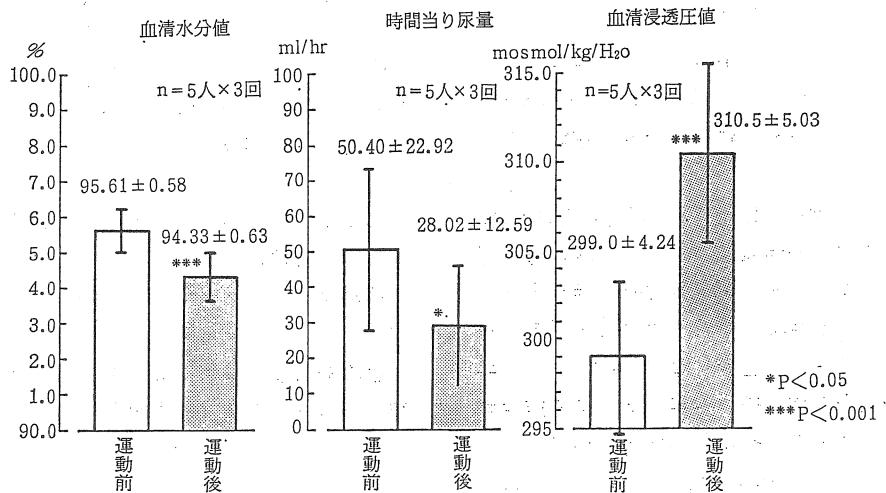
図 III-4-4 にクレアチニクリアランス、尿の pH を示した。クレアチニクリアランスは -18.8 ml/min で減少率は 21.7% に相当する。尿の pH は 0.21 の酸性化であった。

図 III-4-5 に血清 Na 値と尿中 Na 時間当たり排泄量、血清 Cl 値と尿中 Cl 時間当たり排泄量を示した。血清 Na 値は +2.3 mEq/l の増加で 1.6% の増加率に相当する。尿中 Na 排泄量は逆に -4.94 mEq/hr で 50% の減少率であった。血清 Cl 値は、+

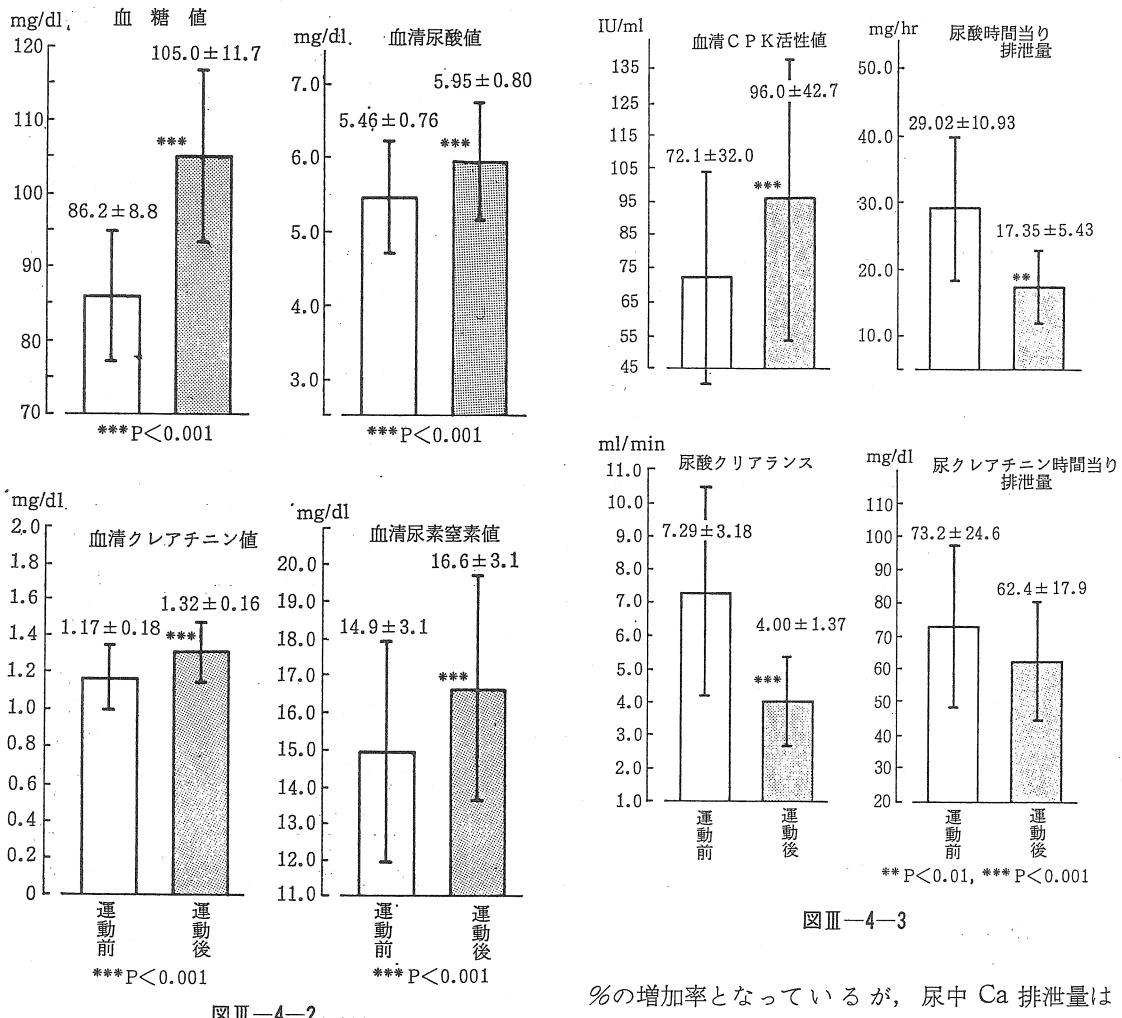
表III-7 32°C, 湿度60%環境下でのトレッドミル1時間走後にスポーツ飲料を摂取させた場合の尿酸及びクリアチニン・クリアランス、尿酸再吸収量、尿pH、尿比重の変化

| | | 運動前 安靜値 | 運動終 了後値 | 1時間後値 | 3時間後値 | 5時間後値 | 22時間後値 |
|------------|----------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|-------------------|
| 尿酸クリアランス | スポーツ飲料実験 | 7.24 ± 3.35 | 3.22 ± 0.90 | 3.85 ± 1.08 | 6.52 ± 1.91 | 5.92 ± 2.27 | 8.23 ± 3.71 |
| | 水摂取実験 | 7.92 ± 2.94 | 4.12 ± 1.31 | 4.96 ± 2.41 | 5.86 ± 0.67 | 5.36 ± 1.48 | 7.98 ± 3.84 |
| | 無摂取実験 | 6.32 ± 2.77 | 4.18 ± 1.79 | 3.44 ± 1.39 | 4.28 ± 2.28 | 4.29 ± 1.26 | 9.02 ± 1.59 |
| クリアチニアラン・ス | スポーツ飲料実験 | 72.3 ± 27.7 | 59.5 ± 12.8 | 96.4 ± 15.4 | 97.5 ± 32.6 | 96.6 ± 17.2 | 74.2 ± 29.6 |
| | 水摂取実験 | 104.6 ± 36.6 | 68.2 ± 15.9 | 112.8 ± 37.5 | 114.9 ± 22.5 | 101.8 ± 11.5 | 96.4 ± 13.3 |
| | 無摂取実験 | 83.4 ± 25.3 | 69.0 ± 36.6 | 91.0 ± 47.2 | 81.8 ± 31.8 | 84.5 ± 24.4 | 96.6 ± 45.2 |
| 尿酸再吸収量 | スポーツ飲料実験 | 3.47 ± 1.49 | 3.69 ± 0.60 | 5.40 ± 1.21 | 5.00 ± 1.73 | 5.01 ± 1.01 | 3.30 ± 1.36 |
| | 水摂取実験 | 4.99 ± 1.68 | 3.87 ± 1.17 | 5.79 ± 1.15 | 6.01 ± 1.06 | 5.37 ± 0.73 | 4.77 ± 0.77 |
| | 無摂取実験 | 4.13 ± 1.17 | 3.88 ± 2.31 | 5.12 ± 1.83 | 4.45 ± 1.33 | 4.69 ± 1.29 | 4.70 ± 2.66 |
| 尿pH | スポーツ飲料実験 | 7.3 ± 0.58 | 6.6 ± 0.79 | 5.9 ± 0.49 | 5.7 ± 0.30 | 5.8 ± 0.43 | 6.5 ± 0.27 |
| | 水摂取実験 | 6.2 ± 0.16 | 6.2 ± 0.87 | 5.6 ± 0.37 | 5.5 ± 0.25 | 5.8 ± 0.25 | 6.0 ± 0.59 |
| | 無摂取実験 | 6.7 ± 0.97 | 6.6 ± 0.79 | 5.4 ± 0.15 | 5.4 ± 0.09 | 5.4 ± 0.09 | 6.6 ± 0.71 |
| 尿比重 | スポーツ飲料実験 | 1.027 ± 0.0037 | 1.029 ± 0.0046 | 1.036 ± 0.0013 | 1.032 ± 0.0013 | 1.031 ± 0.0018 | 1.031 ± 0.0031 |
| | 水摂取実験 | 1.027 ± 0.0015 | 1.027 ± 0.0029 | 1.032 ± 0.0032 | 1.031 ± 0.0029 | 1.031 ± 0.0013 | 1.031 ± 0.0026 |
| | 無摂取実験 | 1.030 ± 0.0021 | 1.028 ± 0.0030 | 1.033 ± 0.0044 | 1.032 ± 0.0040 | 1.034 ± 0.0030 | 1.031 ± 0.0034 |

※ 単位省略



図III-4-1 32°C, 湿度60%環境下でのトレッドミル1時間走前後の諸測定値の比較



図III-4-3

%の増加率となっているが、尿中 Ca 排泄量は 0.29 mEq/l で 55.8% の減少率に相当する。血清 Mg 値はわずかに増加傾向を示したにすぎなかつたが、尿中 Mg 排泄量は -0.25 mEq/hr で 49.0 % の減少率に相当する。

2.6 mEq/l で、その増加率は 2.5% に相当する。尿中 Cl 排泄量は逆に -5.14 mEq/hr で 46.5% の減少率となり、Na の動きと非常に類似している。

図 III-4-6 に血清 K 値と尿中 K 時間当たり排泄量、血清 P 値と尿中 P 排泄量を示した。血清 K 値の増加は 0.23 mEq/l で 5.2% の増加率に相当する。尿中 K 時間当たり排泄量は、わずかに減少傾向を示したにすぎなかった。血清 P 値の増加は、0.44 mEq/l で 22.3% の増加率に相当する。尿中排泄量は 1.09 mEq/hr で 減少率は 64.88% に相当する。

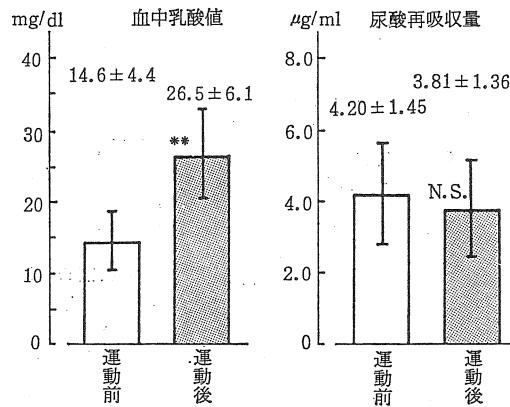
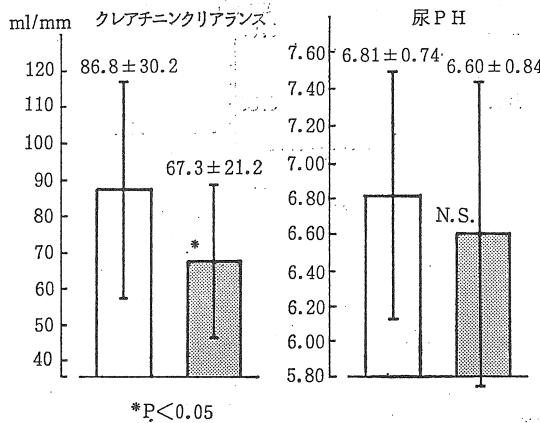
図 III-4-7 には、血清 Ca 値と尿中 Ca 時間当たり排泄量、血清 Mg 値と尿中 Mg 時間当たり排泄量を示した。血清 Ca 値は、1.91 mEq/l の増加で 19.9

6. 運動後のスポーツ飲料摂取の影響

1) 血清尿酸値

運動後のスポーツ飲料摂取の影響が著明にあらわれたのは、血清尿酸値であった。

血清尿酸値の運動による動態は、対照の無摂取実験にみられるように運動終了 1 ~ 2 時間後で最高値を示し、その後徐々に低下していくのが通常である。しかしながら、水摂取実験では、運動終了直後に上昇したままで、その後はプラトー化する動態を示した。スポーツ飲料実験では、その

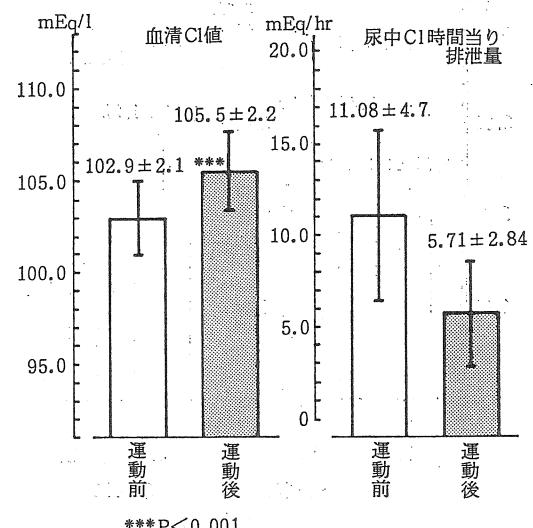
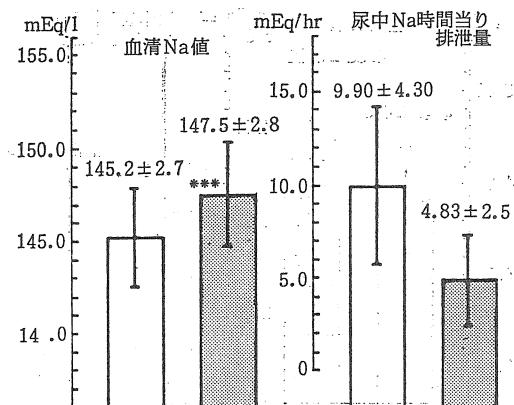


図III-4-4

差が一層明確になり、運動終了直後のスポーツ飲料摂取後は、徐々に低下する動態を示した。

運動後にスポーツ飲料を摂取させてからの経過時間別に対照実験の無摂取実験と比較すると、1時間後値では 0.48 mg/dl の有意($P < 0.05$)な低値を示し、2時間後値では 0.66 mg/dl と更に大きな低値($P < 0.02$)を、3時間後値では 0.60 mg/dl の低値($P < 0.01$)、4時間後値では 0.64 mg/dl の低値($P < 0.05$)であり、5時間後でも 0.64 mg/dl の低値であった。しかし、22時間後値では 0.32 mg/dl の低値であったが有意差は認められなかった。

運動後に水を摂取させてからの経過時間別に対照実験と比較してみると、1時間後値では 0.42 mg/dl の有意な($P < 0.05$)低値を示し、2時間後値では 0.38 mg/dl の有意な($P < 0.05$)低値を示した。しかし、その後は両実験に有意な差は



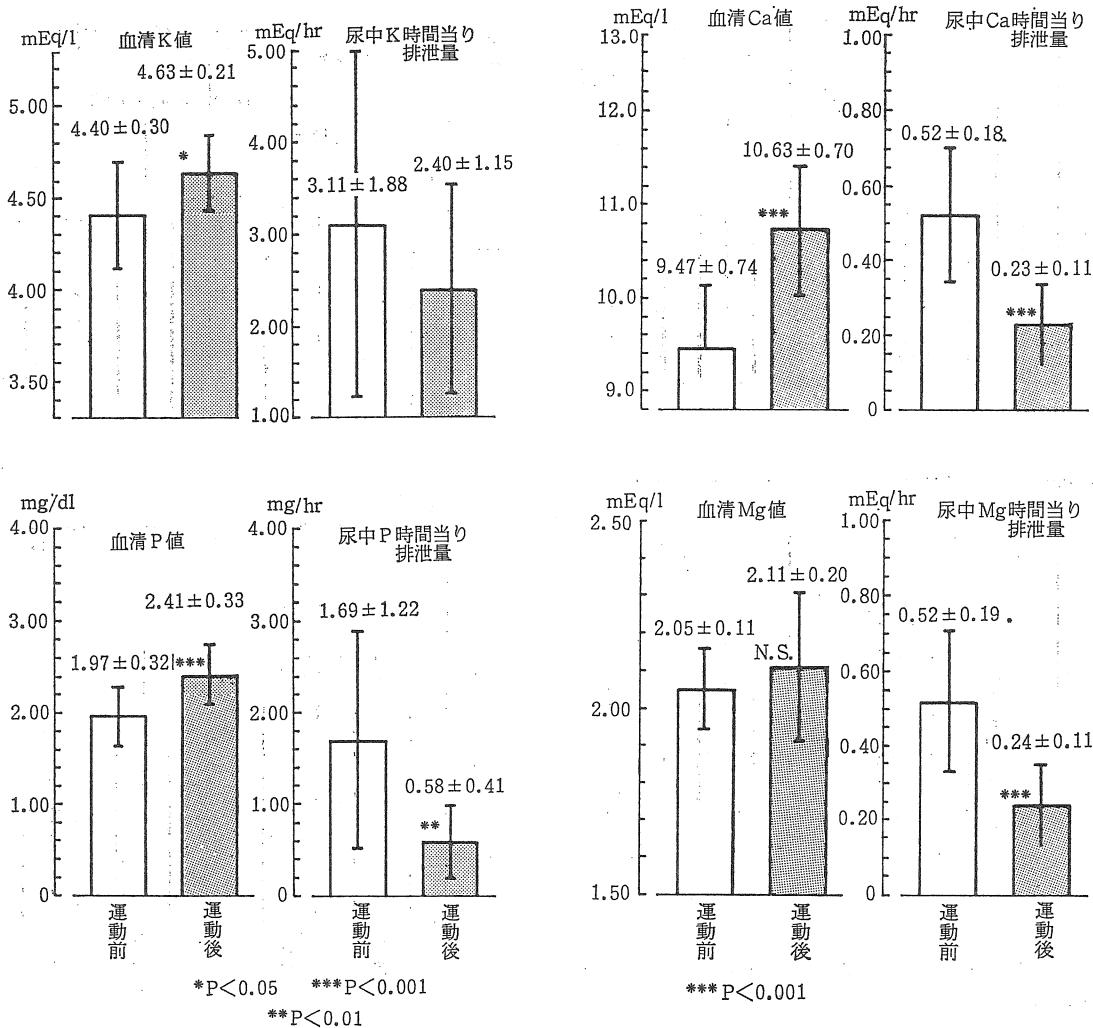
図III-4-5

認められなかった。

運動後に水を摂取させた場合と、スポーツ飲料を摂取させた場合を比較すると、1時間後、2時間後値では有意差がなかったが、3時間後値でスポーツ飲料実験が 0.40 mg/dl の有意な($P < 0.05$)低値、4時間後では $0.48/\text{dl}$ の有意な($P < 0.05$)低値、5時間後では 0.50 mg/dl の有意な($P < 0.05$)低値を示した。また、翌朝の22時間後においては、 0.76 mg/dl の有意な($P < 0.05$)を示している。

2) 血清尿素窒素値

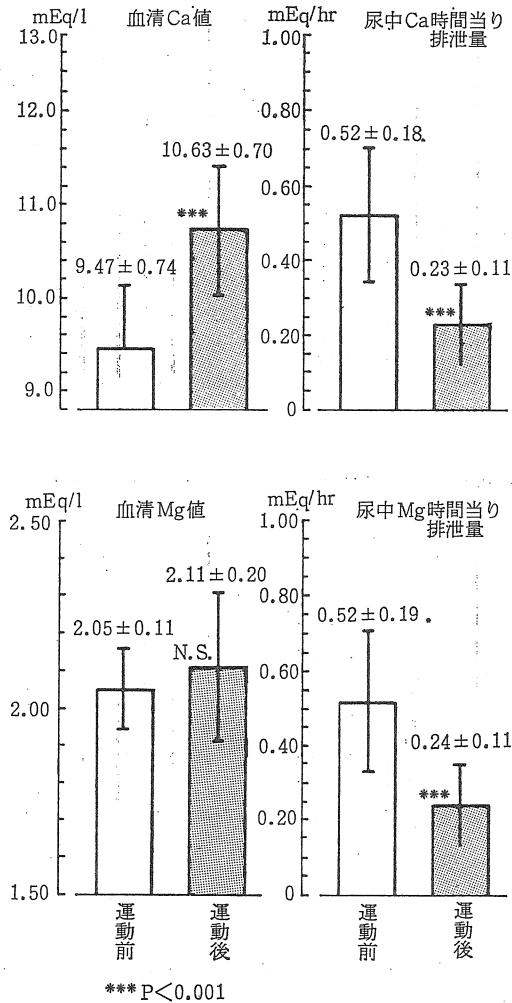
血清尿素窒素値については、図III-6に示した。



図III-4-6

その動態は、対照の無摂取実験の場合、運動終了直後よりも回復過程に入つてから徐々に上昇し、翌朝の22時間後も高値であった。しかし、スポーツ飲料を摂取させた実験では、運動終了直後値からわずかに上昇するがプラトー化している。これに比し、水摂取実験の場合は、運動終了直後から2時間後にかけてはプラトー化しているが、その後はむしろ低下している。

運動後の経過時間別にみると、スポーツ飲料実験では、無摂取実験との間に有意な差がいずれの時間帯にも認められなかった。しかし、水摂取実験では、無摂取実験との間に、回復3時間値で1.51 mg/dl の有意な低値 (P < 0.05) を認め、4時間

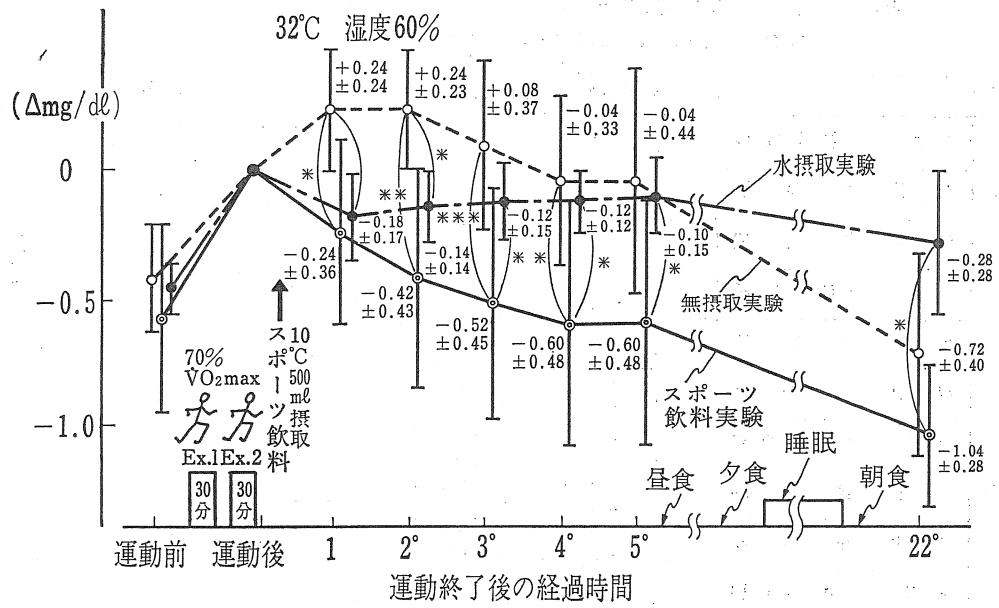


図III-4-7

後値では 1.46 mg/dl の有意な低値 (P < 0.01) を認め、5時間後値では 1.70 mg/dl の有意な低値 (P < 0.01) を認めた。更に翌朝の22時間後値では 2.25 mg/dl の有意な低値を認めた。スポーツ飲料実験と水摂取実験の間には、いずれの時間帯においても有意差が認められなかった。

3) 血清水分値

血清水分値の動態について図III-7に示した。運動終了直後には、1.14~1.56% の減少を示すが、その後はスポーツ飲料実験の回復が最も著しく、ついで水摂取実験、無摂取実験の順となつた。



図III-5 32°C, 湿度 60% 環境下でのトレッドミル1時間走後のスポーツ飲料摂取が
血清尿酸値に及ぼす影響

運動後の経過時間別にみると、スポーツ飲料実験では回復2時間後値において+0.46%の有意差($P < 0.05$)を認めた。また水摂取実験においては、回復2時間後直に+0.27%の有意差($P < 0.01$)を認めた。

4) 尿量

尿量の動態について図III-8に示した。水摂取実験とスポーツ飲料実験の尿量累積値をみても、ほとんど差が認められなかった。しかし、無摂取実験と比較すると増加傾向であったが有意差は認められなかった。

5) 尿中尿酸排泄量及び尿酸クリアランス

尿中尿酸排泄量の動態については、図III-9に示した。スポーツ飲料実験は、対照の無摂取実験と比較すると当初から増加傾向であったが、水摂取実験とは当初ほとんど差がなかった。しかし、20~22時間後においては、スポーツ飲料実験の方が、水摂取実験より増加傾向になった。

3 実験の尿酸クリアランスについて図III-10に示した。無摂取実験に比し、スポーツ飲料実験で

は回復が著しく、次いで水摂取実験の順となっている。回復時間別にみるとスポーツ飲料実験では3~5時間値で有意な($P < 0.05$)高値を示した。また水摂取実験では1~2時間値が有意な高値を示した($P < 0.05$)。

7. 体重

実験開始前の体重から、回復時間後までの減少

表III-9 32°C, 湿度 60% 環境下でのトレッドミル1時間走後のスポーツ飲料摂取と体重の減少量
(運動前値-運動終了5時間後値)

| | スポーツ飲料実験 | 水摂取実験 | 無摂取実験 |
|-----------|----------|---------|---------|
| T.C. | 1.45 kg | 1.70 kg | 2.20 kg |
| T.S. | 1.15 | 1.20 | 1.55 |
| K.O. | 0.90 | 0.95 | 1.15 |
| Y.S. | 1.25 | 1.35 | 2.00 |
| Y.M. | 0.95 | 1.05 | 1.50 |
| \bar{x} | 1.140 | 1.250 | 1.680 |
| SD | 0.201 | 0.263 | 0.375 |

* * * = $p < 0.01$

表III-8 32°C, 湿度 60% 環境下でのトレッドミル1時間走後のスポーツ飲料摂取が
尿中電解質排泄量に及ぼす影響(累積値)

| | | 1 時間後 | 3 時間後 | 5 時間後 | 21 時間後 | 22 時間後 |
|----|----------|----------------|----------------|----------------|-----------------|-----------------|
| Na | スポーツ飲料実験 | 3.4 ± 1.1 | 17.9 ± 3.2 | 30.6 ± 6.2 | 154.5 ± 22.6 | 163.0 ± 23.6 |
| | 水摂取実験 | 4.8 ± 1.1 | 20.3 ± 2.0 | 33.3 ± 2.5 | 141.9 ± 22.3 | 150.7 ± 24.0 |
| | 無摂取実験 | 4.1 ± 2.1 | 16.5 ± 7.3 | 28.3 ± 9.8 | 132.8 ± 19.9 | 141.8 ± 21.8 |
| K | スポーツ飲料実験 | 1.9 ± 0.2 | 7.5 ± 1.6 | 13.3 ± 2.4 | 52.6 ± 12.6 | 54.0 ± 11.9 |
| | 水摂取実験 | 2.7 ± 0.9 | 8.5 ± 2.1 | 13.4 ± 3.9 | 44.7 ± 16.4 | 48.1 ± 16.9 |
| | 無摂取実験 | 2.5 ± 1.5 | 8.3 ± 4.1 | 14.2 ± 5.0 | 52.6 ± 12.3 | 57.1 ± 12.8 |
| Cl | スポーツ飲料実験 | 3.9 ± 1.4 | 22.2 ± 3.9 | 38.6 ± 9.6 | 160.6 ± 36.2 | 170.4 ± 36.0 |
| | 水摂取実験 | 5.8 ± 2.2 | 24.6 ± 6.1 | 44.5 ± 13.8 | 142.7 ± 27.2 | 151.8 ± 26.6 |
| | 無摂取実験 | 5.7 ± 2.8 | 19.5 ± 9.7 | 32.8 ± 12.1 | 133.4 ± 24.8 | 141.8 ± 24.6 |
| Ch | スポーツ飲料実験 | 5.0 ± 1.5 | 13.4 ± 2.8 | 20.7 ± 6.1 | 27.2 ± 8.1 | 36.0 ± 10.9 |
| | 水摂取実験 | 4.2 ± 0.9 | 14.2 ± 3.9 | 18.7 ± 7.7 | 27.0 ± 8.7 | 36.6 ± 14.5 |
| | 無摂取実験 | 3.5 ± 2.0 | 10.8 ± 3.6 | 16.2 ± 3.9 | 22.4 ± 4.8 | 30.6 ± 9.9 |
| Mg | スポーツ飲料実験 | 5.4 ± 1.5 | 13.2 ± 3.1 | 19.1 ± 4.5 | 26.4 ± 5.7 | 33.4 ± 7.6 |
| | 水摂取実験 | 5.3 ± 0.9 | 12.5 ± 2.6 | 18.0 ± 4.2 | 24.5 ± 7.3 | 31.0 ± 8.5 |
| | 無摂取実験 | 5.4 ± 1.9 | 12.4 ± 2.9 | 18.8 ± 3.0 | 26.8 ± 5.6 | 33.7 ± 6.3 |
| P | スポーツ飲料実験 | 17.0 ± 14.9 | 40.2 ± 24.6 | 87.9 ± 33.9 | 138.1 ± 45.4 | 180.2 ± 79.5 |
| | 水摂取実験 | 5.7 ± 2.0 | 21.0 ± 8.6 | 54.4 ± 21.0 | 94.8 ± 49.7 | 120.7 ± 63.9 |
| | 無摂取実験 | 11.4 ± 12.8 | 32.0 ± 36.4 | 63.2 ± 53.9 | 106.7 ± 64.6 | 141.4 ± 72.7 |

※ 単位省略

量について、表III-9に示した。対照の無摂取実験に比し、スポーツ飲料実験では、0.54 kg の有意な低値($P < 0.01$)を、水摂取実験では 0.43 kg の有意な低値($P < 0.01$)を示した。しかし、スポーツ飲料実験と水摂取実験の間には有意な差が認められなかった。

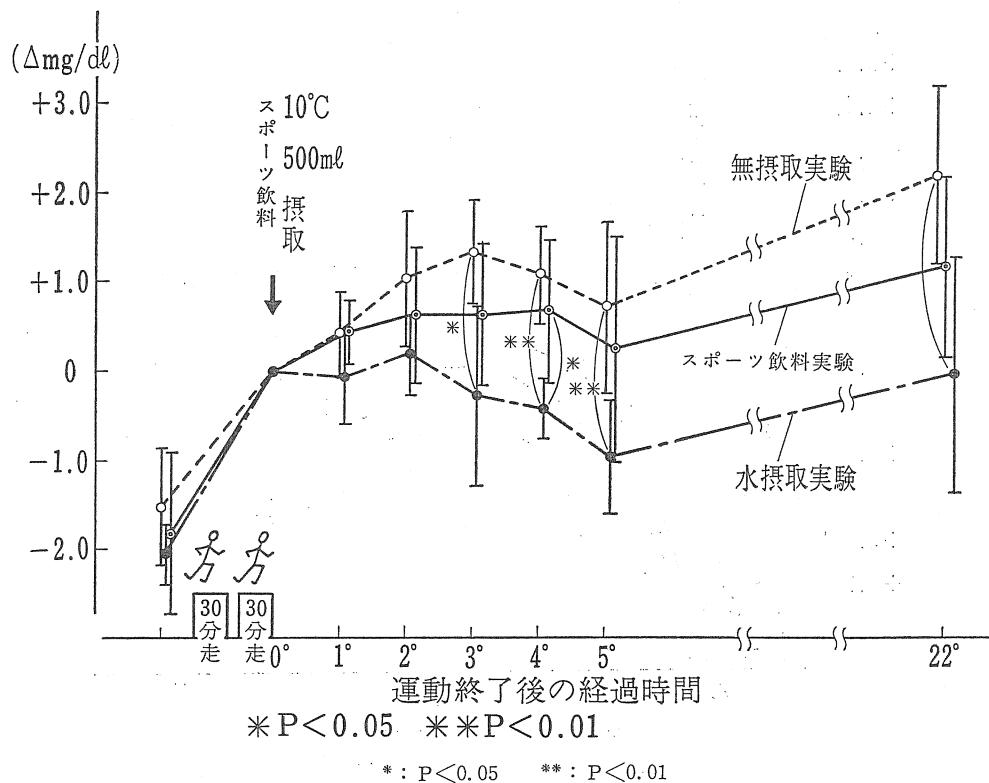
III 考 察

当該研究では、単に水分を摂取しない場合を対照実験するのではなく、何も含まない蒸溜水を摂取させた場合も対照実験として検討した。このような実験構成をした研究は、森本らが¹⁵⁾行ってい

るが、水およびスポーツ飲料の温度を発汗負荷中に体温と同じに保ち、回復期は 15°C と変えている。また測定項目も非常にかたより、腎機能からの検討をかいしている。

また堀田ら¹⁶⁾は、実験構成を無摂取、水摂取、スポーツ飲料と本研究と同様にしてトレッドミル走を 70% $\dot{V}O_2 \text{ max.}$ で 45 分間 2 セット行っている。しかし測定項目が血糖、FFA、血中乳酸、血清水分などに限られている。また運動後の採血が 1 回であり、本研究との対比ができるのが残念である。

本研究において、対照実験と有意差が認められ



図III-6 32°C, 湿度 60% 環境下でのトレッドミル1時間走後にスポーツ飲料を摂取した場合の血清尿素窒素値の変化

なかったのは、心拍数、血清及び尿中電解質(Na, K, Cl, Ca, Mg, P), 血清・尿中クレアニチン, 血清CPK活性値, 血清浸透圧, 尿酸再吸収量, 尿pH, 尿比重, クレアチニン・クリアランス等であった。

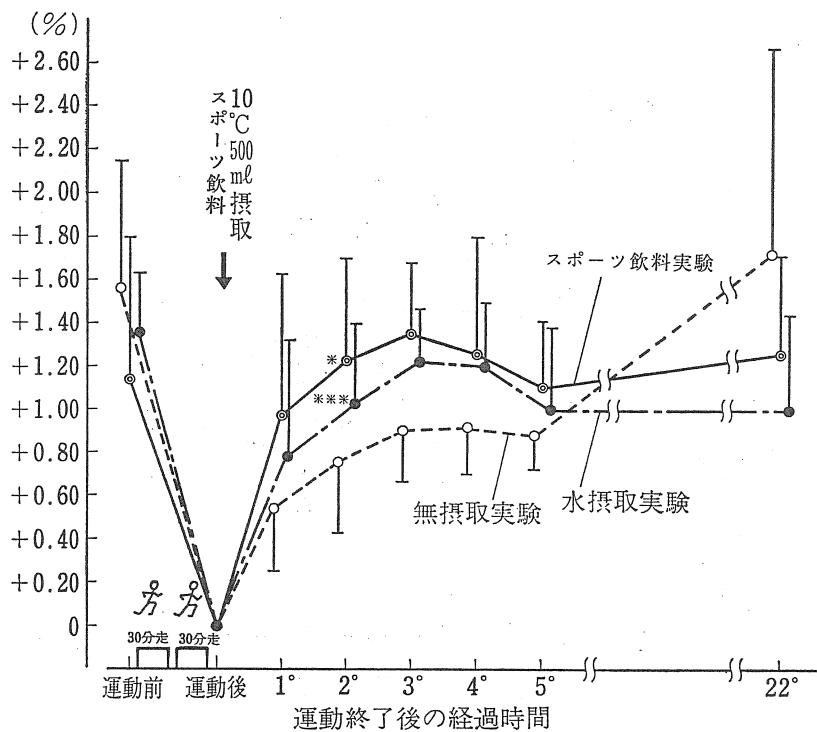
森本ら¹⁵⁾の発汗量は、平均 1,600 g で水分摂取による差が認められていないが、本実験では体重減少量に有意差が生じている。このような差は、本実験においては、運動後にスポーツ飲料及び水を摂取しているためで、発汗がほとんどなくなつてからの飲水に起因しているものであろう。つまり、無摂取実験での体重減少量は 1,680 g であるが、これから水の重量 500 g を引くと 1,180 g となり、スポーツ飲料実験の 1,140 g, 水摂取実験の 1,250 g とほとんど差がなくなってしまう。体重計測時までの尿排泄量は、スポーツ飲料実験 146 g, 水摂取実験 170 g, 無摂取実験 145 g であるから、これを差し引くと 994 g, 1,070 g,

1,045 g となり、更に 3 実験間の差が小さくなってくる。しかし、その後の尿量がスポーツ飲料実験の場合多くなり、摂取水分の排泄がよくなっている。

森本ら¹⁵⁾の結果では、脱水実験で血中Clイオン、水負荷実験で血中Kイオンの有意の上昇を認めているが、本実験では発汗量が少ないためか、スポーツ歴の長い現役選手で毎日の練習の積み重ねの中で、腎再吸収のしくみがよくなっているためか、血中・尿中電解質すべてに有意差が認められなかった。

有意差の認められた項目には、1) 直腸温, 2) 血糖値, 3) 血清水分値, 4) 血清尿素窒素値, 5) 血清尿酸値, 6) 尿酸クリアランス値などがある。

このうち、直腸温に有意差が生じたのは当然で、直腸温は32°Cという高温環境下での1時間走後39°C前後まで上昇している。そこで10°Cの水分



図III-7 32°C, 湿度 60% 環境下でのトレッドミル1時間走後のスポーツ飲料摂取が血清水分値に及ぼす影響

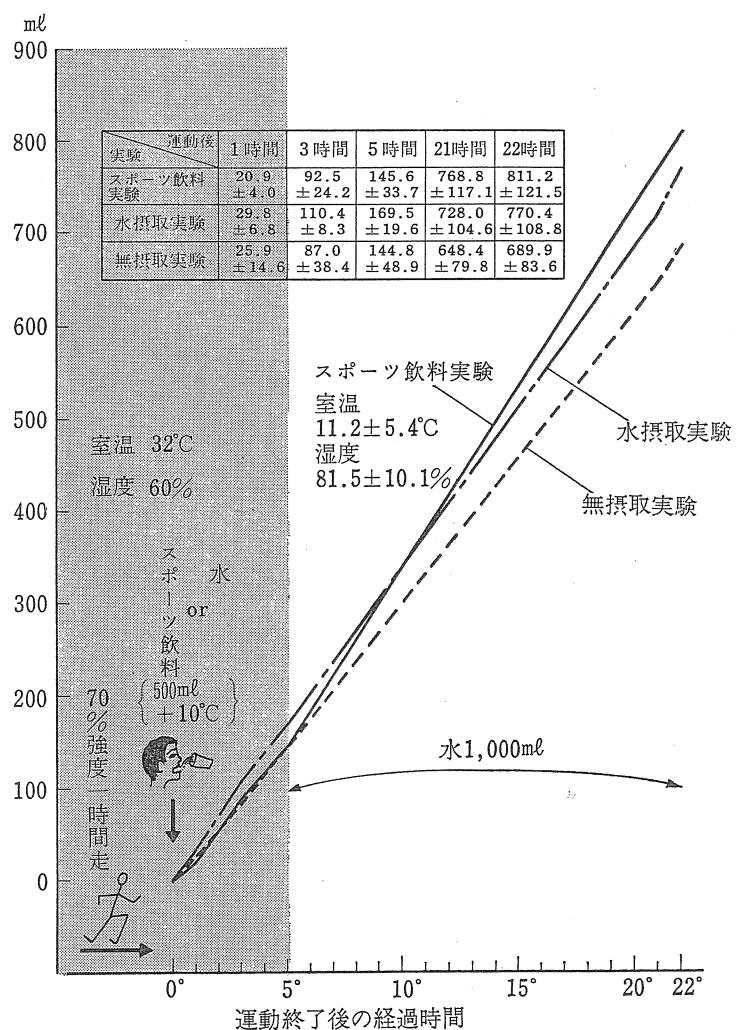
を 500 ml も摂取させたわけであるから、腸温にもっとも影響がみられるわけである。この場合、水摂取実験の方がスポーツ飲料実験より低下が大きいのは、直腸で計測しているサーミスターの位置まで、水分が多量に到達しているためと考えられ、水摂取実験の方が腸管からの水分の吸収が悪くなっていることが示唆される(図III-3)。事実、血清水分値の回復は、スポーツ飲料実験がもっともよく、次いで水摂取実験となっている(図III-7)。

血糖値に有意差が生じたのは、糖経口負荷試験を行っているのと同様であり当然のことである。糖量は27.5 g であり、糖尿病検査における50 g 投与の半分を越える量である。

血清尿素窒素値は、水摂取実験で有意な低値を示し、スポーツ飲料実験では低値傾向を示したが有意差は認められなかった(図III-6)。血液中の尿素成分の排泄を高進しようとする傾向が認められ、著者の³⁾従来の検討では尿酸値の動態ほどシャープではないが、同じような動態を示すことを

報告している。これをより明確に示しているのが尿酸で、血清尿酸値は、水分摂取でも低値を示している。御巫は⁶⁾、高尿酸血症者に水摂取をすすめているが、腎からの排泄促進をねらっているわけである。当該研究でも尿酸クリアランスが高進しているが、スポーツ飲料と水摂取実験には有意な差が生じないものと予測していた。實際には両者間にも有意な差が生じている。これは、摂取水分の浸透圧が血液の浸透圧とほぼ等張液であるか否かが関係しているものと考える。

運動性高尿酸血症については、西岡ら⁹⁾はプロ野球選手で34%を認めているが、これは一般人の5~7倍に相当する。また重量挙選手の平均値が7.5 mg/dl、柔道の世界選手権大会の11名の日本代表選手中7名が高尿酸血症である⁵⁾。また1964年の東京オリンピック日本代表選手の第4回健康診断(1981年1月)では、男性70名の受診者中48.6%が、女性16名中43.8%が異常値を示している。



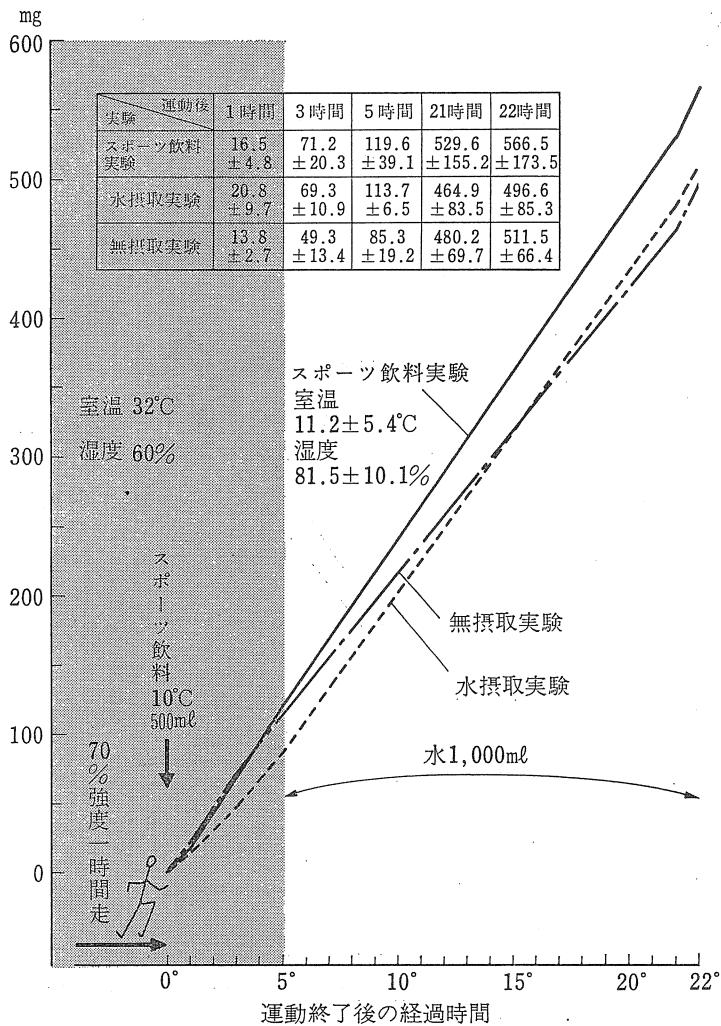
図III-8 32°C, 湿度 60% 環境下でのトレッドミル 1時間走後のスポーツ飲料摂取が尿量に及ぼす影響（累積値）

一過性の運動について伊藤らは^{1),2),3)}、非鍛錬男子学生11名に、早朝空腹時に自転車エルゴメーターによる約10分間のオールアウト運動を実施し、負荷前の $5.8 \pm 1.3 \text{ mg/dl}$ から終了後2時間値で $10.9 \pm 1.7 \text{ mg/dl}$ の高値を認めている。しかもその後わずかながら減少を示すものの21時間後の翌朝においても9.9%の有意な高値を示したことを報告している。

長時間の運動負荷では、重量挙選手4名に20,000m走行させた例があるが、血清尿酸値は平均で 6.3 mg/dl から 8.4 mg/dl へと上昇したという報告がある⁴⁾。

練習を積み重ねていくとどうなるかということであるが、重量挙選手16名の15日間の合宿前後の比較がある⁴⁾。この場合は平均値が $7.0 \rightarrow 8.4 \text{ mg/dl}$ へと上昇し、開始時には10名のみ異常値であったが、終了時には全員が異常値となっている⁴⁾。

このようなスポーツ選手の高尿酸血症の発現機序としては、プリン体含有食品の過剰摂取が考えられる。事実力士やスポーツ選手の食事が美食であることは周知である。著者は¹⁾また逆に運動不足も高尿酸血症を発症させることを大穂町住民の3カ年間の縦断的研究で認めている。また、運動によるプリン代謝の高進や筋細胞の崩壊なども影



図III-9 32°C, 湿度 60% 環境下でのトレッドミル 1時間走後のスポーツ飲料摂取が尿中尿酸排泄量に及ぼす影響（累積値）

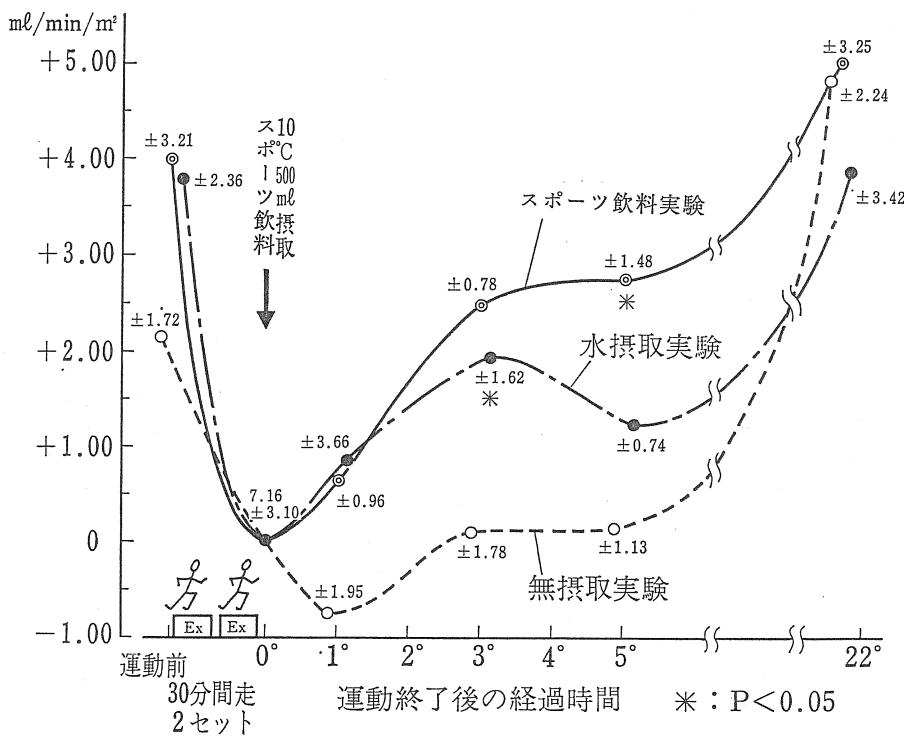
響しているといわれている。更には、運動による血中乳酸及びケトン体の増加が腎機能を低下せしめ尿酸の排泄を阻害しているという説もある。事実、激運動後の血中乳酸の増加が著しい場合に腎血流量が低下しているという報告がある¹⁰⁾。本実験では、血中乳酸値が 14.6mg/dl から 26.5 mg/dl へと上昇し、腎からの排泄量の低下と産生の高進により、血清尿酸値は 5.46→5.95 mg/dl へとわずかな増加をしているにすぎない。しかし激運動においては尿酸の増加が著しいため、運動後には本実験のような等張液の摂取が望ましい。特にスポーツ選手の場合は練習を毎日続けていること

でもあり、合宿などの強化練習においては、コーチはむろん選手個人における積極的な努力が望まれる。

IV まとめ

運動後の回復過程に、スポーツ飲料を摂取させた場合、血液・尿化学成分値にいかなる影響を及ぼすかについて検討した。被検者は年齢 19.7~21.5 才の男性で、スポーツ歴 5~11 年で $\dot{V}O_2 \text{ max}$ が 48.6~59.4 ml/kg/min. の現役の大学スポーツ選手である。

運動負荷は、室温 32°C, 湿度 60%, 1 気圧の環



図III-10 32°C, 湿度 60% 環境下でのトレッドミル1時間走後にスポーツ飲料を摂取させた場合の尿酸クリアランスの変化

境制禦室内でトレッドミル30分間走を2回、10分間の休息をはさんで、傾斜角0度で実施した。

スポーツ飲料は、運動終了3分後の採血後、直ちに10°Cに冷やしたスポーツ飲料500mlを摂取させた。対照は同条件の蒸溜水と、なにも飲まない場合について検討した。回復5時間後までは環境制御室内に、その後は自室にかえし(気温11.2±5.4°C、湿度81.5±10.1%)、その間の飲水量は1lとした。食事は全実験を通じて同一とした。

その結果は次の如く要約される。

(1) 有意差が認められなかった項目

心拍数、血清及び尿中電解質(Na, K, Cl, Ca, Mg, P) 血清及び尿中クレアチニン、血清CPK活性値、血清浸透圧値、尿酸再吸収量、尿pH、尿比重、クレアチニン・クリアランス等である。

(2) 有意差が認められた項目

1) 直腸温が摂取30分後から、無摂取実験に比し水摂取実験で低下($P < 0.05 \sim 0.01$)を示し、水摂取とスポーツ飲料実験間には有意差がなかつた。

た(図III-3)

2) 血糖値が、スポーツ飲料摂取1時間後に対照実験より有意な高値を示した。

3) 血清水分値の回復1時間値が、スポーツ飲料実験、水摂取実験において高値($P < 0.05 \sim 0.01$)を示した(図III-7)

4) 血清尿素窒素値が、水摂取3, 4, 5, 22時間後において低値($P < 0.05 \sim 0.02$)を示し、スポーツ飲料実験では低値傾向を示したが有意差は認められなかった(図III-6)。

5) 血清尿酸値が、スポーツ飲料実験回復過程全体で低値($P < 0.05 \sim 0.02$)を示し、また水摂取実験と比較しても回復3, 4, 5時間後に低値($P < 0.005$)を示した(図III-5)。

6) 尿量、尿中尿酸排泄量が、スポーツ飲料実験で増加傾向(図III-8, 9)にあったが、尿酸クリアランス値については、回復3~5時間において高値を示した。また水摂取実験においては回復1~3時間において無摂取実験よりも高値を示した。

7) 体重減少量は、スポーツ飲料、水摂取実験において無摂取実験より低値($P < 0.01$)であった。

文 献

- 1) ITO, A., HORIUCHI, T., SUGIURA, T., FUJITA, S., SUMIDA, S., IKAWA, S.: Uric acid metabolism at exercise in Hyperuricemia men. *J. Physiol Soc. Japan*, 42, : 364, 1980.
- 2) ITO, A., FUJITA, S., MIKAMI, T., YAMADA, T., KURIBAYASHI, T., SUMIDA, S. and IKAWA, S.: URIC ACID METABOLISM AT EXERCISE IN HYPERURICEMIA (2nd report) *J. Physiol Soc. Japan*, 43, : 426, 1981.
- 3) 伊藤 朗, 井川幸雄:環境因子, とくに食事・運動の検査値におよぼす影響, 運動の諸測定値におよぼす影響, 臨床病理, 22(臨増号): 82-101, 1974.
- 4) 昭和55年度日本体育協会スポーツ医・科学研究報告: No. 2 競技種目別競技力向上に関する研究, 第4報ウェ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
- 5) 同上, 柔道
- 6) 御巫清允: 痛風の病理と最新療法, 毎日ライフ, 66~78, 1977
- 7) 藤田定彦, 山田哲雄, 角田聰, 栗原 徹, 三上俊夫, 伊藤 朗, 井川幸雄: 高尿酸血症の予防・改善のための運動処方に関する研究, 体力科学, Vol. 29, No.4.: 265, 1980.
- 8) 昭和55年度, 日本体育協会スポーツ科学研究会報告: No. VI, 東京オリンピック記念体力測定, 第4回測定報告
- 9) 西岡久寿樹, 広瀬和彦, 大井淋雄, 御巫清允, 中山年正, 北村元仕: 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, 1977.
- 10) 井川幸雄, 鈴木政登, 塩田正俊, 中島孝之: 運動強度と腎血流量 および腎機能, 体力科学, Vol. 29, No. 4 : 316. 1980.
- 11) 御巫清允, 北村元仕: 尿酸, その数値をどう読むか, 日本臨床, 34(秋季増刊号), 92-98, 1976.
- 12) 石河利寛: 運動中の水分摂取の是非について, 新体育, Vol. 50, No. 7 : 520~524, 1980.
- 13) 井上太郎: 生体における水分代謝のメカニズム, 新体育, Vol. 50, No. 7 : 526~533, 1980.
- 14) 万木良平: 高温下での体温調節と水分補給, 新体育, Vol. 50, No. 7 : 534~540, 1980.
- 15) 森本武利, 三木健寿, 能勢 博, 山田誠二, 平川和文, 松原周信: 発汗時の水分塩分摂取と体液組成の変化, 日生気誌 18(1): 31~39, 1981.
- 16) 堀田 昇, 青木純一郎, 高岡郁夫, 村岡 功: トレッドミル持久走に及ぼす液体摂取の影響
- 17) 伊藤 朗: 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, 1980.

