

中等度運動回復期における水分補給の効果 —純水、糖、クエン酸、食酢の比較—

Effects of fluid replacement after moderate exercise
— Comparison between water, glucose, citric acid and vinegar —

中尾 千登世*	野澤 明子**
佐藤 寿一***	押田 芳治**
山田 恵美子****	深谷 正裕****
塚本 義則****	佐藤 祐造**

Chitose NAKAO*,	Akiko NOZAWA**
Juichi SATO***,	Yoshiharu OSHIDA**
Emiko YAMADA****,	Masahiro FUKAYA****
Yoshinori TSUKAMOTO****,	Yuzo SATO**

It is well known that the ingestion of citric acid with glucose after physical exercise is effective in restoring glycogen in muscles or liver and it contributes to the quick recovery from fatigue. This report describes the effect of acetic acid on the glucose metabolism after exercise for 30 min. at 60%HRmax. The investigation was carried out in five healthy university students. The students drank one of the following four test solutions twice, immediately after and 30 min. after exercise. Each ingestion volume was 250ml at a time. The test solutions prepared were: 1) distilled water (group W), 2) 6% glucose solution (group G), 3) 0.5% citric acid + 6% glucose solution (group C), and 4) 0.5% acetic acid + 6% glucose solution (group V). Six blood samples (before exercise and at 0, 15, 30, 60 and 120 min. after exercise) were drawn. No significant increase in serum lactic acid concentration was observed in all groups immediately after exercise, however group G showed a significant increase at 60 min. after exercise ($p < 0.05$). Blood glucose increased significantly in three groups (G, C and V) after drinking ($p < 0.05$), however the suppression in the increment rate was observed in both groups, C and V. The same tendency was observed in insulin. As for free fatty acids, only group W showed a significant increase after exercise ($p < 0.05$), to the contrary other three groups indicated decreasing tendency. No significant difference in concentration of serum ketone body was shown in all groups. Group C and V showed almost the same tendency throughout the study. The metabolic pathways of citric acid and acetic acid to human body is still uncertain, therefore it is difficult to explain the correlation of the findings obtained from this research. These findings showed that citric acid and acetic acid have almost the same metabolic effects to human body, suggesting the possibility of acetic acid for the use as a component of sports drink.

* 名古屋大学大学院医学研究科健康増進科学 I
** 名古屋大学総合保健体育科学センター
*** 名古屋市立大学医学部公衆衛生学
**** (株)中塾酢店中塾中央研究所
* First Division of Health Promotion Science, Graduate School of Medicine, Nagoya University
** Research Center of Health, Physical Fitness and Sports, Nagoya University
*** Department of Public Health, Nagoya City University Medical School
**** Nakano Central Research Institute, Nakano Vinegar Co., Ltd.

I. 緒 言

近年、健康保持・増進を考える上で、中等度以下の強度での歩行、ジョギング、水泳、自転車運動など、全身的な動的運動の効果が明らかとなり、日常生活における運動実施が広く一般に奨励されている。このような運動形態は、骨・関節性障害や心不全などの発症の危険性が少なく、また、肥満や糖尿病・高血圧をはじめとする生活習慣病の予防・治療に対する有効性が確認されている^{1,2)}。

通常、このような目的でなされる運動は、1回につき15分以上行うのがよいとされるが、かなりの発汗を伴うことも多く、運動中あるいは運動終了後に適度な水分補給を行い、熱中症の予防、循環血液量や体液バランスの維持に努める必要がある。また、運動で使われた肝臓や筋肉のグリコーゲン貯蔵の補充促進や疲労開始の遅延、あるいはその回復を促進させることを目的に、水分以外に運動で利用される糖質や電解質などを含む種々のスポーツドリンクが開発されている。

飲食物による疲労回復効果は、日常生活への健康づくり運動導入・推進を考える上でも関心が持たれる。例えば、クエン酸はTCA回路の中間体であるが、解糖系の律速酵素であるphosphofructokinaseを阻害し、解糖系を抑制する作用をもつ(図1)。運動で使われたグリコーゲンの回復は、このような抑制効果のもとでなされた方がより速やかに行なわれることが報告されている³⁾。このようなことから、しばしば糖質の他にクエン酸に富むオレンジやグレープフルーツなどの柑橘類が、運動後の体内糖質貯蔵の再補充や疲労回復を促す食品として勧められている^{3,4)}。

一方酢酸は、人体内での代謝経路については、acetyl-CoA synthetaseの働きでアセチルCoAとなり、さらにTCA回路に入りクエン酸に変換される経路を含め⁸⁾(図1)、様々な報告がなされている⁵⁻⁷⁾。このような代謝経路から、酢酸がクエン酸と同様の効果を発揮する可能性が期待されるが、酢酸が糖質や脂質の代謝経路

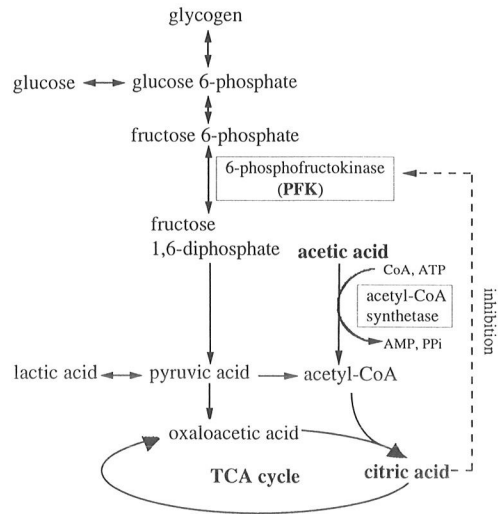


Fig. 1 Metabolic pathways of acetic acid and glucose.

やそれらに関連するホルモン動態に与える影響については検証例が少なく、その薬理的、生化学的機能は十分解明されていない。

酢酸を主成分とする食品として食酢がある。食酢はまた、健康食品としても知られているが、多くは経験的に得られた知識に基づいて取り扱われているようである。従って、食酢がクエン酸と同様の生理効果を有することが確認されれば、食酢がほとんどの家庭で調味料として常備されていることから、運動後の疲労回復を促進する食品として新たな観点から処方することが可能となろう。

そこで本研究は、中等度強度での自転車エルゴメーター運動後の純水、グルコース含有水、クエン酸およびグルコース含有水、食酢およびグルコース含有水の飲水効果について比較検討した。

II. 対象および方法

1. 対象

対象は健常な男子大学生・大学院生5名であった。年齢は 24.3 ± 1.8 (平均 \pm 標準誤差)歳、身長は 173.5 ± 4.8 cm、体重は $69.7 \pm$

7.8kg、BMIは23.2 ± 2.8であった。彼らは、通学時などに15～30分程度の歩行あるいは自転車運動を1日1～2回以上行っており、極端な運動不足状態ではない。

2. 方法

本研究は、1996年6月から10月にかけて実施された。被験者は前日夜9時より絶食し、実験当日朝9時に研究室に来室した。研究室の室温は、検査中21～23℃に維持した。被験者は30分間安静にした後、右あるいは左肘静脈に採血用の留置針を挿入され、自転車エルゴメーターで30分間運動を実施した。負荷は20wより開始し、毎分15wずつ負荷を漸増、60%HRmaxとなるよう負荷を維持した。採血は運動前および直後、運動終了15、30、60、120分後の計6回行われた。また、運動終了直後および30分後（いずれも採血後）に、a) 純水(W群)、b) 6%グルコース(G群)、c) 0.5%クエン酸(6%グルコースを添加：C群)、d) 食酢(0.5%酢酸、6%グルコースを添加：V群)のいずれかを250mlずつ、合計500ml摂取した。各々の被験者がすべての飲水物について検査したが、各実験は1週間以上の間隔をとり、また検査順序および摂取した飲水物の種類は被験者には知らせなかった。

検査項目は、血清乳酸、ヘマトクリット、血清総蛋白、アルブミン、電解質(カリウム、ナトリウム、カルシウム、クロール)、血糖、インスリン、トリグリセライド、遊離脂肪酸、グリセロール、総ケトン体(アセト酢酸、3-ヒドロキシ酪酸)であり、各々の結果についてW、G、C、Vの4群間および時間経過に伴う変動について比較検討した。また、各検査値は運動前値を100%としてグラフ化し、変化率を示した。図中X軸には、運動前を「-30分」、その後運動直後の「0分」から運動終了後の経過時間を示した。なお、統計学的検定には、運動前値と各経過時間値の比較にはunpaired T-testを、飲水種別4群間の比較にはone-way ANOVAおよびPost-hoc testとしてFisher's PLSD法を使用した。有意水準は5%とした。

Ⅲ. 結 果

1. 血清乳酸(図2)

運動直後、全ての群で増大傾向を示したが、運動前値との間に統計的有意差はなかった。W群は運動終了15分後にほぼ運動前値に戻り(101.8%)、さらに運動終了120分後には84.2%まで低下したが、有意な変動ではなかった。G群は運動終了30分後には116.2%まで低下したものの、運動終了60分後には138.1%まで増大し、運動前値に対して有意に高値を示した(p < 0.05)。運動終了120分後には101.8%とほぼ運動前値に戻った。C群、V群は運動終了30分後にはほぼ運動前値に回復し(それぞれ106.3%、104.0%)、再び60分後に増大傾向を示したものの(C群112.5%、V群116.0%)、120分後にはC群87.5%、V群91.0%と運動前値よりも低値を示した。これらの変動に統計的有意差はなかった。

2. ヘマトクリット(図3)

中等度運動後上昇し、飲水後、低下傾向を示したが、いずれも有意ではなく、4群間にも有意差は認められなかった。

3. 血清総蛋白、アルブミン

ヘマトクリットとほぼ同様の動態を示し、4

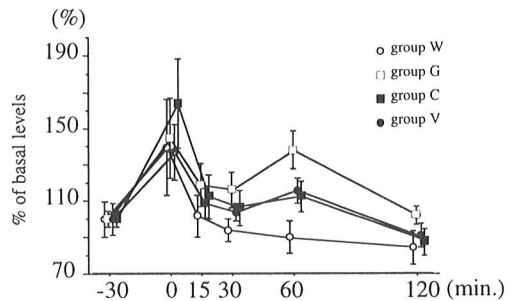


Fig. 2 Changes in serum lactic acid concentration before (-30min.) and at 0, 15, 30, 60 and 120 min. after exercise (mean ± S. E.). Subjects drank one of the four test solutions twice, immediately after and 30 min. after exercise. No significant increase was observed immediately after exercise in all groups. Group G showed a significant increase at 60 min. after exercise (p < 0.05).

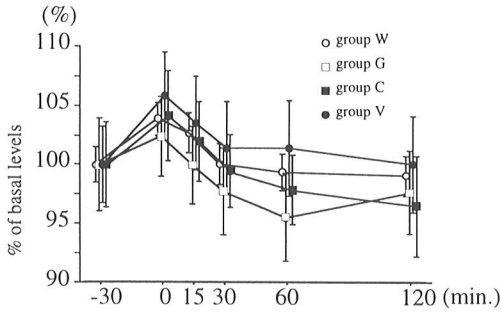


Fig. 3 Changes in hematocrit (mean \pm S. E.). No significant difference was found in all groups.

群とも有意な変動はなかった。

4. 電解質 (カリウム、ナトリウム、カルシウム、クロール)

カリウム (図4) については、運動直後にW群を除く3群に有意な増大を認めた ($p < 0.05$: W群 108.3%, G群 111.8%, C群 107.8%, V群 108.7%)。しかしその他の電解質は、運動および飲水による有意な変動はなかった。

5. 血糖 (図5)

運動直後にW群 90.1%, G群 98.7%, C群 88.7%, V群 92.6%と全ての群で低下傾向を示したものの、統計的有意差はなかった。W群はその後も大きな変動を示さなかった。一方、V群は運動終了15分後以降、G群、C群は運

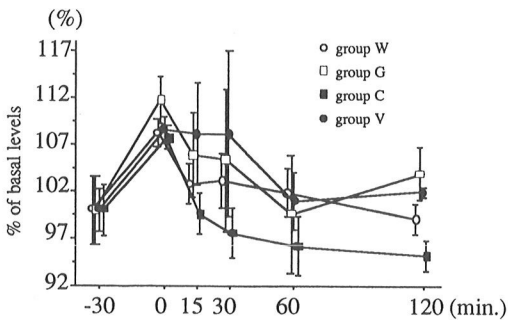


Fig. 4 Changes in potassium (mean \pm S. E.). Significant increases were observed immediately after exercise in three groups ($p < 0.05$), excluding group W, however no significant difference was found after exercise.

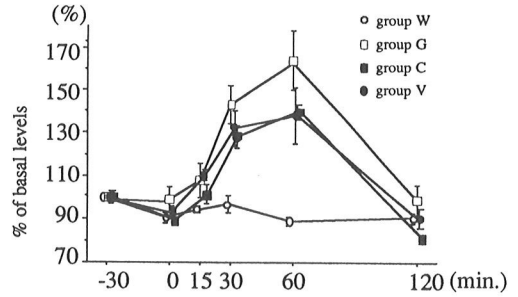


Fig. 5 Changes in blood glucose (mean \pm S. E.). Significant increases were observed in three groups, group G, C and V, after drinking ($p < 0.05$). No significant differences between group G and the two groups, C and V, were found.

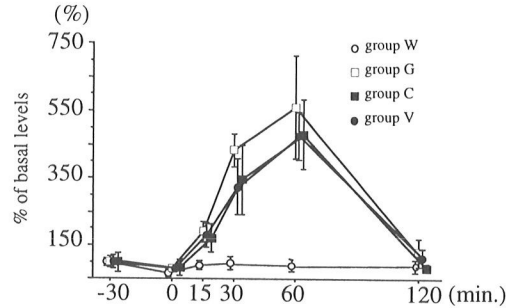


Fig. 6 Changes in serum insulin (mean \pm S. E.). Significant increases were observed in three groups, group G, C and V, after drinking ($p < 0.05$).

動終了30分後以降運動前値に比して有意に高値を示した ($p < 0.05$)。運動終了60分後にこれら3群は最高値を示し (G群 164.2%, C群 139.5%, V群 138.1%), W群 (88.7%) に対して有意差がみられた ($p < 0.05$)。C、V両群はG群に比し上昇が抑制される傾向にあったが、有意差はなかった。運動終了120分後にはG群 (98.7%)、V群 (89.9%) はほぼ運動直後の値に回復したが、運動前値に対してC群は80.9%と有意に低値を示した ($p < 0.05$)。

6. インスリン (図6)

運動直後にW群 66.7%, G群 80.0%, C群 82.9%, V群 80.5%と全ての群で低下傾向を

示したが、統計的有意差はなかった。W群はその後にも有意な変動を示さなかった。G群、V群は運動終了15分後以降、C群は30分以降、運動前値に対して有意に高値を示し ($p < 0.05$)、運動終了60分後に最高値を呈した (G群 559.4%、C群 480.5%、V群 475.6%)。その際、この3群はW群 (89.7%) に比較して有意に高値であったが ($p < 0.05$)、3群間に有意差はなかった。運動終了120分後にはW群 89.7%、G群 130.0%、C群 85.4%、V群 114.7%と、ほぼ運動前値に戻っていた。

7. トリグリセライド (図7)

4群ともに運動実施、飲水に伴う変動は認められず、また、4群間に有意差はなかった。

8. 遊離脂肪酸 (図8)

運動直後にW群 90.9%、G群 77.4%、C群 89.8%、V群 79.1%へと低下し、運動終了15分後にはW群 136.0%、G群 107.7%、C群 111.0%、V群 89.9%へと運動直後より増加したが、いずれも統計的には有意ではなかった。W群は、運動終了30分後に再び118.3%に低下した後、120分後の161.9%まで急激に増加し、60分後以降は運動前値に対して有意な増大を認めた ($p < 0.05$)。他3群は運動終了60分後までは低下し (60分後: G群 49.7%、C群 64.0%、V群 61.2%)、120分後にはG群 59.5%、C群 85.2%、V群 89.1%と上昇傾向を示したが、いずれも有意な変動ではなかった。なお、運動終了60分後以降、W群と他3群の間で有意差が認められた ($p < 0.05$)。

9. グリセロール (図9)

運動終了後、全群で減少傾向を示したが、運動終了60分後以降W群のみ上昇し、120分後には運動前値に比して有意差を示した (120.6%、 $p < 0.05$)。また、運動終了120分後には、W群とC群 (82.2%)、V群 (62.1%) との間に有意差を認めたが ($p < 0.05$)、W群とG群 (88.9%) の間には有意差はなかった。

10. 総ケトン体 (図10)、アセト酢酸、3-ヒドロキシ酪酸

W群は運動終了15分後から30分後に大きく低下し、再び上昇する傾向を示したが、有意で

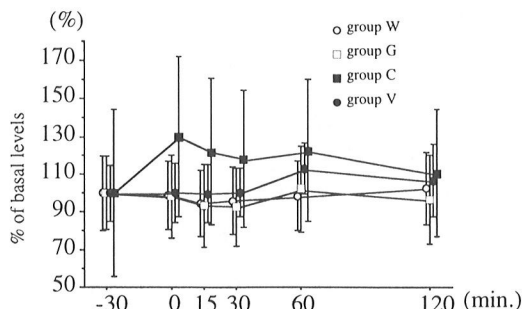


Fig. 7 Changes in triacylglycerol (mean \pm S. E.). No significant difference was found in all groups.

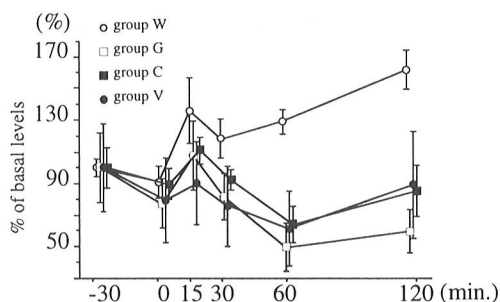


Fig. 8 Changes in free fatty acids (mean \pm S. E.). A significant increase was observed in group W at 60min. and 120min. after exercise.

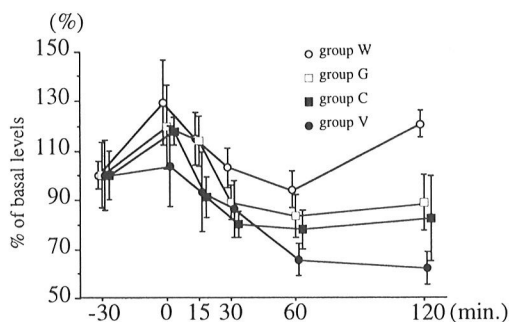


Fig. 9 Changes in glycerol (mean \pm S. E.). A significant increase was observed in group W 120min. after exercise.

はなかった。G群もまた運動終了15分後以降減少したが、有意な変動はなかった。C群、V群は運動終了15分後から60分後まで減少し、120分後に再び増大する傾向を示し、C群の60

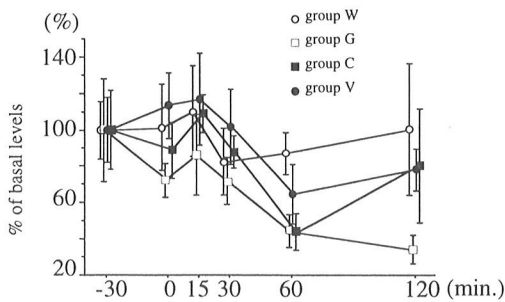


Fig. 10 Changes in total ketone body (mean \pm S. E.). Only a value of group C at 60 min. after exercise showed a significant decrease.

分後値のみ運動前値に対して有意な低値であった ($p < 0.05$)。アセト酢酸および3-ヒドロキシ酢酸についても、総ケトン体とほぼ同様の変動を呈した。

IV. 考 察

本研究は、食酢の疲労回復効果、すなわちスポーツドリンクとしての有効性について検索を加える目的で、純水の他3種の添加物(グルコース、クエン酸、酢酸)を用い、30分間の中等強度の持久運動後の水分補給効果について比較検討を行った。

本研究で用いた60%HRmaxという運動強度は、20歳前後の若者にとっては心拍数にして毎分120拍前後であり、比較的軽い運動とされている。しかし、本研究で30分間運動を継続させた結果、その血中乳酸値は 1.0 ± 0.07 mmol/dlから 1.6 ± 0.63 mmol/dlへと有意ではないものの増大傾向を示した。さらに、全ての被験者が運動時にかなりの発汗を伴っていた。運動に伴う発汗および体液量変動については、本研究ではヘマトクリット値(図3)や血清総蛋白値等から評価した。その結果、これらの数値は運動後に増大傾向を、飲水に伴い低減傾向を示したものの、いずれも有意ではなかった。本研究では30分間と比較的短い運動時間であったため、極度の体水分損失を引き起こさなかったものと思われる。しかし、このような

軽度の脱水であっても、体温調節機能を維持し、食欲低下、運動機能低下などの脱水症状を回復させるために、適度な水分補給は必要とされている。また、発汗に伴う電解質の消失に関して、本研究ではカリウム(図4)のみに運動後に一過性の有意な増大を認めた他には有意な変動は見られなかった。電解質補給が必要とされるのは発汗の総量が2リットルを超えた場合とされ⁹⁾、通常は各栄養素のバランスのとれた食事による補給で十分であるといわれている^{10,11)}。本研究の結果からも、中等度強度で行う30分間程度の運動では血液中の電解質濃度に大きな変動をもたらすことはなく、特に電解質補給に努める必要はないものと思われた。

飲水後の血液生化学成分の変動であるが、乳酸値(図2)は、運動終了30分後にG群が有意な増大を示した。乳酸は乳酸脱水素酵素(LDH)によりピルビン酸から作られるが、LDH活性はミトコンドリアの酸化酵素活性よりも高いため、糖質が代謝されピルビン酸が多量に産生されれば必然的に乳酸が産生されることになる¹²⁾。従って、乳酸産生量は糖質の摂取量と関連が深いと考えられる。糖質を補給したG群に血中乳酸値の高値を招来したのは、このような経緯によるものと考えられた。本研究ではさらに、グルコースとともにクエン酸や酢酸を摂取することにより、糖質補給に伴う血清乳酸上昇の抑制効果が認められた。このことは、これらの有機酸が糖質補給に伴う血中乳酸の増大を抑制することを示し、疲労回復を促進する可能性を示唆している。

血糖値は、運動に伴う変動はなく、飲水後、グルコースを摂取したG群、C群、V群に有意な増大を認めた。また、統計的に有意差は示されなかったが、クエン酸や酢酸の添加により増大率の抑制傾向を示した。血清インスリン濃度も血糖値と同様に、グルコースを摂取した3群に有意な増大を認め、C群、V群の増大率に若干の抑制傾向を示した。

血清遊離脂肪酸は血糖値やインスリン濃度の変動と関連が深く、一般にそれらは相反する動態を示す。本研究では、運動後にグルコース摂

取のなかったW群では運動後に有意な増大を示し、他3群では逆に低下傾向を示した。遊離脂肪酸の顕著な上昇は、不整脈から突然死を招く危険性があるとされている¹³⁾。従って、このような観点からも運動後は水分のみならず糖質の同時摂取が望ましいものと思われる。一方、ケトン体は遊離脂肪酸と同様の変動が予測されたが、本研究ではW群のケトン体濃度は増大せず、他に有意な変動も認めなかった。

糖質の摂取は血糖値の急激な上昇を引き起こすが、本研究からクエン酸や酢酸は糖質補給に伴う血糖値の上昇を抑制する効果を有することが確認された。これまでに、酢酸摂取はグルコース代謝回転には影響しない^{14,15)}、血糖値やインスリンなどのホルモン動態には影響を及ぼさない^{15,16)}といった報告がある一方で、中島ら¹⁷⁾はラットに胃切除術を用い、食酢摂取の血糖上昇緩和作用に胃の存在が影響する可能性を示している。このように、飲食物として酢や酢酸を摂取した際の糖代謝に及ぼす酢酸の作用機構については十分に解明されていない。そのため、本研究でV群に見られた血糖上昇抑制作用のメカニズムを機能的観点から推測することは困難である。クエン酸についても体内のグルコース動態に及ぼす影響については十分に解明されていないため、一層の検討が必要と思われる。

本研究において、C群とV群はともに中等度運動後の糖質補給に伴う血糖値、血清インスリン濃度、遊離脂肪酸濃度の変動を抑制する効果を示した。このように、クエン酸と酢酸の補給により同様の効果を示したことから、食酢についてもクエン酸と同様に、筋肉や肝臓のグリコーゲン再補充や疲労回復を促進する効果を有する可能性は否定できない。今後、さらにその作用機構から検討を加え、食酢のスポーツドリンクとしての有用性について明らかにする予定である。

V. ま と め

- 1) 本研究は健常な男子大学生5名を対象に、純水の他3種の添加物（グルコース、クエ

ン酸、酢酸）を用い、中等度強度の持久運動後の水分補給の効果について比較検討を行った。被験者は30分間の運動終了直後および30分後に水（group W）、グルコース（6%）含有水（group G）、クエン酸（0.5%）とグルコース（6%）含有水（group C）、食酢（酢酸0.5%）とグルコース（6%）含有水（group V）のいずれかを250mlずつ摂取した。また、運動の前後、および運動終了15、30、60、120分後に採血した。

- 2) 運動直後に乳酸の有意な増大は全ての群で認められなかったが、飲水60分後G群のみ有意に増大した。血糖は、飲水後G、C、V群で有意に増大したが、C、V群の増大率は抑制された。インスリンも血糖と同様の変動を呈した。遊離脂肪酸（FFA）は、運動後W群のみ有意に増大したが、他3群は低下傾向を示した。しかし、全群においてケトン体に有意な変動はほとんど認められなかった。
- 3) 本研究ではC群とV群でほぼ同様の変動を示した。クエン酸や酢酸の代謝経路は未だ不明な点が多く、本研究で認められた結果の相互関係を解明することは現在のところ困難である。しかし、酢酸がクエン酸とほぼ同様の結果を示したことは興味深い。以上の事実は、食酢がスポーツ飲料として有用である可能性を示唆している。

参 考 文 献

- 1) 進藤宗洋、田中宏暁、田中守、山内美代子. 高血圧の運動療法. 体育の科学, 39: 105-110, 1989.
- 2) 佐藤祐造. 糖尿病の運動療法. 体育の科学, 39: 111-115, 1989.
- 3) 斉藤慎一. 筋グリコーゲン・ローディング. 臨床スポーツ医学, 8: 747-752, 1991.
- 4) 鈴木正成. スタミナをつける食事学. スポーツの栄養・食事学, 同文書院、東京, pp. 113, 1991.
- 5) Ramos, A., H. Santos. Citrate and sugar cofermentation in *Leuconostoc oenos*, a ¹³C nuclear magnetic resonance study. *Appl. Environ. Microbiol.* 62 (7): 2577-2585, 1996.

- 6) Lewis, E. J., N. Tolchin and J. L. Roberts. Estimation of the metabolic conversion of acetate to bicarbonate during hemodialysis. *Kidney Int.* 18: S-51-S-55, 1980.
- 7) Remesy, C., C. Demigne and C. Morand. Metabolism of short-chain fatty acids in the liver. In: *Physiological and clinical aspects of short-chain fatty acids.* (J. H. Cummings, J.L.Rombeau and T. Sakata, Eds), Cambridge University Press, NY: pp. 171-190, 1995.
- 8) 今堀和友、山川民夫、監修. 生化学辞典. 東京化学同人、東京、1988.
- 9) 飯塚誠市、上田伸男、小林英一、中尾美美子. 食と運動の生理学. 弘学出版、川崎、1993.
- 10) Nathan, J. S. Nutrition. In *Sports Medicine.* (R. H. Strauss Ed.): W. B. Saunders, Philadelphia, 1984.
- 11) 佐藤祐造、大沢功. 運動と食事内容の注意. *臨床スポーツ医学*、6: 1225-1228, 1989.
- 12) 八田秀雄. 乳酸の産生と除去のLTとの関係. *臨床スポーツ医学*、9 (7): 745-750, 1992.
- 13) 佐藤祐造. 運動処方の実際. *スポーツ医学の基礎* (万木良平 監修)、朝倉書店、東京、pp. 230, 1993.
- 14) Scheppach, W., H. S. Wiggins, D. Halliday, R. Self, J. Howard, W. J. Branch, J. Schrezenmeir, and J. H. Cummings. Effect of gut-derived acetate on glucose turnover in man. *Clin. Sci.*, 75: 363-370, 1988.
- 15) Akanji, A. O., T. D. R. Hockaday. Acetate tolerance and the kinetics of acetate utilization in diabetic and nondiabetic subjects. *Am. J. Clin. Nutr.* 51: 112-118, 1990.
- 16) Wolever, T. M. S., P. Spadafora and H. Eshuis. Interaction between colonic acetate and propionate in humans. *Am. J. Clin. Nutr.*, 53: 681-687, 1991.
- 17) 中島昭、海老原清. ラットの血中グルコース応答に対する食酢長期摂取の影響. *栄養食糧誌*、41: 487-489, 1988.

(1996年12月9日受付)