

原 著

ヒトにおける食酢摂取が運動後の血中乳酸濃度およびアンモニア濃度に及ぼす影響

The efficacy of vinegar on blood lactate and ammonia concentrations after prolonged exercise in humans

内藤祐子*, 武宝愛**

Yuko NAITO * and Houai BU **

ABSTRACT

In the present study, we examined whether glucose intake with vinegar could enhance removal of blood lactate or ammonia after prolonged exercise. Immediately after prolonged exercise on a bicycle ergometer, four healthy subjects (21 ± 0.3 years old) drank glucose (1.5g/kg body weight) solution or glucose with vinegar(1%acetic acid). In this experiment, Chinkoukouzu was used as vinegar. Blood was taken from the subjects just before exercise and at 0, 10, 20, 40, and 60 min after exercise, for measurement of blood lactate, glucose and ammonia concentrations. The increased blood lactate and ammonia concentration following exercise decreased gradually during the recovery period, and the rate of the decrease was promoted by the glucose with vinegar solution compared with the control respectively. Alterations in the concentrations of blood glucose during the recovery period after exercise were not affected by vinegar. These results demonstrate that the intake of glucose with vinegar can more speedily removal of blood lactate and ammonia after exercise than glucose only.

Key words; vinegar, fatigue, blood lactate, blood ammonia

はじめに

近年、食酢の健康増進への効果に注目があつまり、その成分の効果が検討されるようになった。例えば、胃液の分泌亢進や疲労回復、カルシウムの吸収促進などの効果以外にも、血圧上昇予防や肥満防止に対しても効果があると言われている¹⁾。我々も玄米黒酢を継続飲用することで、飲用前に

比べて血液流動性が改善された事を報告した²⁾。中華料理では餅米と麦胚芽米を原料とする鎮江香醋という食酢が用いられる。日本の米酢と比べると熟成期間が半年以上と長いためアミノ酸成分が増加し味もマイルドになる。熟成によるアミノ酸含有量の増加は脂肪燃焼促進、免疫力の増強、血圧上昇予防などの健康増進効果に優れているとされていて、各々の効果が検討されている。

* 国立館大学体育学部スポーツ医科学科 (Department of Sport and Medical Science, Kokushikan University)

** 山西大学体育学部 (Faculty of physical Education, Sanxi University)

一方、身体運動後の疲労回復には產生した乳酸の速やかな除去と消費したグリコーゲンの再充填が求められる。運動後に甘味や酸味への欲求が高まるのは疲労回復の手立てを経験的に知っているからである。酸味を感じさせる物質としてはレモンに含まれているクエン酸や食酢の酢酸などをあげることができる。例えば、ラットに持久的運動を負荷し、その後クエン酸とグルコースを併用投与すると肝臓と筋肉におけるグリコーゲンの再充填が促進されたという報告がある⁶⁾。同様の効果は食酢の主成分である酢酸でも得ることができ。先行研究ではグルコースの単独投与より酢酸を併用することでグリコーゲン合成が促進されること、ラットでの持久運動後の筋肉や肝臓でのグリコーゲン再充填に効果をもたらすことが報告されている³⁾。したがって、食酢を摂取することで筋肉の疲労物質の除去やグリコーゲン回復の促進に効果をもたらす可能性が考えられるが、今のところヒトによる持久運動後の代謝に対する食酢摂取の影響に関する報告はされていない。

そこで本実験では持久運動後のヒトの血中乳酸濃度とアンモニア濃度に及ぼす食酢の影響を検討した。なお、本実験ではアミノ酸含量が多く、味がマイルドな鎮江香醋[®]を食酢として用いた。

方 法

I. 被験者

被験者は運動経験のある健康な体育学部男女大学生4名（年齢21±0.3歳、体重60±5kg、 $\dot{V}O_{2\max}$ 48ml/kg/min）とした。実験はヘルシンキ宣言の原則に基づき、あらかじめ本研究の目的、手順、実験内容の詳細を被験者に説明し実験参加の了解を得た。

II. 実験手順

持久運動は自転車エルゴメーターを用いて実施した。実験に先立ち、各被験者の最大酸素摂取量を自転車エルゴメーター（リーコー社製、Type 905901）を使用した漸増負荷運動試験により測定

した。運動中の換気動態は呼気ガス分析器（ミナト医科学、AE-300S）を用いて測定し、得られた最大酸素摂取量をもとに各被験者の運動強度を決定した。本実験は測定後、一週間以上の期間をあけて実施した。

実験当日の食事はいずれの被験者も同一とし、昼食のあと2時間経過してから運動負荷実験を開始した。運動負荷時間は三宅ら⁵⁾の実験を参考に自転車エルゴメーター上にて2分間の座位安静の後、回転数を60rpmとして50% $\dot{V}O_{2\max}$ で15分間、続いて70% $\dot{V}O_{2\max}$ で45分間の計1時間のエルゴメーター運動を行った。運動終了後直ちに食酢とグルコースによる被験液を摂取させ、その後60分間の休息をとらせた。被験液は500ml溶液とし、体重1kgあたりグルコースとして1.5gの濃度および酢酸は1%になるよう計算した。同一被験者は一週間の間隔をおいてグルコース溶液（コントロール）のみによる同一実験を実施した。本実験で用いた食酢である鎮江香醋[®]の食品成分は100gあたりエネルギー57kcal、炭水化物6g、脂質0g、タンパク質4g、酢酸5gである。

II. 検査項目

採血は運動直前、運動直後（被験液摂取前）、運動後10分、20分、40分、60分の計5回とした。検査項目は乳酸、アンモニア、グルコースの3項目で末梢血を採取して測定した。乳酸にはラクトテートプロ（アーチレイ）、アンモニアはアミチックメーター（アーチレイ、AA-4120）、グルコースは小型血糖測定装置（アキュチェック、ロシュ・ダイアグノスティックス）を用いて測定した。

III. 統計処理

結果は平均値と標準誤差で表示した。データの統計処理はANOVAとFisher's PLSD testを行い、統計学的有意水準は5%未満とした。

結 果

I. 血中乳酸濃度の変動

運動前後とその後の血中乳酸濃度の変化を表1

および図1に示した。運動直前の血中乳酸値は1.9mM未満であったが、運動直後には9.4mMまで上昇した。さらに、運動後には血中乳酸値は徐々に低下し、20分後から運動直後に比べて有意に低下した ($p<0.05$)。

摂取溶液で比較すると運動終了後60分においてコントロール溶液と比較して被験液を摂取した方が乳酸濃度は有意に低下した ($p<0.05$)。

II. 血中アンモニア濃度の変動

疲労関連物質として血中アンモニア濃度への食

酢の影響を調べた。本実験では安静時と比較して運動終了直後は3倍近くもアンモニア濃度が上昇し、その後徐々に低下した(図2)。回復期での血中アンモニア濃度はグルコースと酢の併用摂取のほうが顕著な低下傾向が見られた。特に、運動終了60分後ではコントロール群と比べ濃度の低下は有意であった ($p<0.05$)。

III. 血糖濃度の変動

血糖値は運動により低下し、運動後に被験液を摂取することにより上昇した(表1)。両液とも

Table1. Effect of exercise and ingestion in blood chemical components

	blood lactate concentration(mM)				
	pre	post	after10min	after20min	after40min
control(glucose)	1.9±0.2	9.4±2.7 ⁺	5.2±1.5 ⁺	3.4±1.2 [#]	2.6±0.2 [#]
glucose+vinegar	1.8±0.3	10.9±2.3 ⁺	5.6±2.2 ⁺	3.3±1.9 [#]	2.0±0.2 [#]
blood ammonia concentration(μ g/dl)					
	pre	post	after10min	after20min	after40min
control(glucose)	79.5±0.2	224.5±2.7 ⁺	149.5±1.5 ⁺	132.0±1.2 [#]	142.3±0.2 [#]
glucose+vinegar	73.8±0.3	313.5±2.3 ⁺	172.0±2.2 ⁺	93.5±1.9 [#]	58.8±0.2 [#]
blood glucose concentration(mg/dl)					
	pre	post	after10min	after20min	after40min
control(glucose)	94±8	88±8	110±13	135±26 ⁺⁺	172±24 ⁺⁺
glucose+vinegar	97±8	81±7	103±11	126±15 ⁺⁺	142±30 ⁺⁺

Values are means±S.E. of 4 subjects.

Pre, pre-exercise; Post, post-exercise; after 10, 20, 40, 60 min, after glucose and vinegar ingestion at post-exercise

Significant difference ($p<0.05$); +, vs Pre ; #, vs Post ; *, vs Control

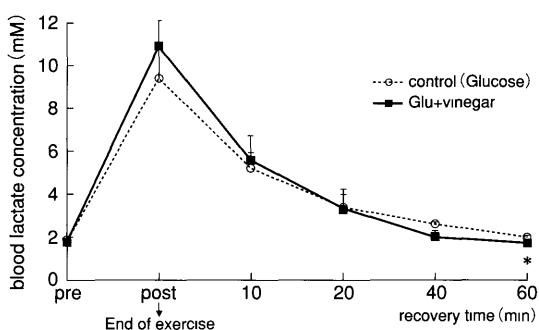


Fig1. Changes in the blood lactate concentration before, immediately after and recovery after exercise.

*Significant differences control vs Glu+vinegar, $p<0.05$.

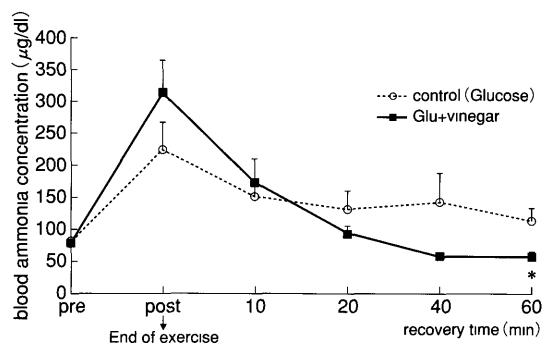


Fig2. Changes in the blood ammonia concentration before, immediately after and recovery after exercise.

*Significant differences control vs Glu+vinegar, $p<0.05$.

摂取後20分を経過すると血糖値は有意に増加する($p<0.05$)傾向が観察された。血糖の上昇はコントロール液と比較して被験液を加えたほうが低かったが、両液間で統計学的な有意な差は見られなかった。

考 察

本実験では持久運動後のヒトにおける血液成分に対する食酢(鎮江香醋[®])の効果について検討を行った。その結果、運動直後にグルコース単独投与するよりも酢の併用投与の方が血中乳酸やアンモニアといった物質の除去が速やかに行われることが明らかとなった。三宅ら⁵⁾は持久運動後のレモン果汁による血中乳酸の除去の促進効果について報告している。しかし、血中乳酸や血中アンモニアに対する食酢の効果は検討されておらず、本研究が初めてとなった。三宅ら⁵⁾は乳酸の分解促進はレモン果汁に含まれるクエン酸がもたらしたもので、その機構として解糖系関連酵素の活性阻害によるグルコース分解の抑制やクエン酸から代謝されたマロニルCoAの生成促進によるピルビン酸や乳酸酸化の促進をあげている。酢酸は食酢の主な成分であり、でんぶんを発酵することで生産される短鎖脂肪酸である。本研究で観察された食酢併用のもたらす血中乳酸の除去促進もレモン果汁と同様であると考えられる。Fushimiら³⁾はグルコースとともに酢酸を併用投与するとクエン酸と同程度なグリコーゲン合成促進作用があったと報告している。これは解糖系に関するglucose-6-phosphataseの活性を阻害することでグルコース分解が抑制されグリコーゲン合成が促進されたとしている。さらにImotoら⁴⁾は酢酸の併用はグルコースの取り込みを増加させると報告している。このようにグリコーゲン合成能が高まるこことは結果的に乳酸生成の抑制をもたらすと推察される。一方、ミトコンドリアにあるacetate thiokinaseによって酢酸は急速にアセチルCoAに代謝される。このアセチルCoA生成增加は細胞内

でのピルビン酸や乳酸の酸化を促進するため乳酸の速やかな消去が考えられる。

疲労物質の指標の一つに乳酸とともに血中アンモニア濃度を挙げることができる。アンモニアは強塩基物質であり神經毒である。生体内のアンモニアはプリンースクレオチド回路においてAMPがIMPに代謝される際に产生される。また、アミノ酸代謝反応での一段階であるアミノ基転移反応においても产生される。運動に伴った血中アンモニア濃度の増加は肝臓での尿素回路によるアンモニア代謝を上回るアンモニアが生体内で產生されていることを示す。筋肉ではアミノ酸、特に分岐鎖アミノ酸(BCAA)が脱アミノ化され、分岐鎖ケト酸となってエネルギーとして利用される。長時間に及ぶ運動ではBCAAの利用も高まることから血中アンモニア濃度も増加すると考えられる。Banisterら¹⁾は運動後の上昇した血中アンモニアは末梢組織だけでなく中枢へも影響を及ぼすとしてアンモニア誘導中枢疲労説を提唱している。本実験では血中アンモニア濃度は安静時に比べて持続的運動の実施により3倍ちかくも増加し、回復期に徐々に低下した。この際、グルコース単独投与より食酢との併用投与はアンモニア除去速度を促進させた。このアンモニア分解促進はレモン果汁やクエン酸との併用ではみられない⁵⁾ため、酢酸特有の効果とも食酢に含まれているほかの成分による効果とも考えられる。さらに、鎮江香醋特有なのかどうかは論議の余地がある。本実験に供した鎮江香醋はアミノ酸の含有量が多いとされているが、このアミノ酸量が血中アンモニア濃度を低下させ、肝臓での尿素転換を促進することを証明するためにはさらに詳細な研究が必要と考えられる。

ま と め

持久運動後のグルコースと食酢の混合液摂取がヒトの血液成分の濃度変化に及ぼす影響について検討を加えた。被験者4名に自転車エルゴメータ

ーによる1時間の運動負荷を実施し、運動終了直後にグルコース（1.5g/kg 体重）と鎮江香醋（酢酸として1%）の混合液500mlを摂取させ、回復期における血液成分の変動を測定した。コントロールとしてはグルコース溶液（1.5g/kg 体重）のみの摂取とした。グルコースとともに酢を併用摂取すると、運動で上昇した血中乳酸濃度の減少速度が促進した。また、血中アンモニア濃度の速やかな回復も観察された。これらの結果より、運動後の食酢と糖質摂取は血中乳酸や血中アンモニアといった疲労物質除去を促進する可能性が示唆された。

引用・参考文献

- 1) Banister E, Cameron B,: Exercise-induced hyperammonemia : peripheral and central effects. *Int J Sports Med*, **11**:S129-142, 1990
- 2) 武宝愛, 永吉英紀, 村岡幸彦, 渡辺剛, 内藤祐子 : 玄米黒酢摂取の継続摂取がヘモレオロジーに及ぼす影響. 国立館大学体育研究所報, **21**:41-47, 2002
- 3) Fushimi T, Tayama K, Fukaya M, et al: The efficacy of acetic acid for glycogen repletion in rat skeletal muscle after exercise. *Int J. Sports Med*, **23**:218-222, 2002
- 4) Imoto S, Namioka S,: Acetate-glucose relationship in growing pig. *J Anim Sci* **56**:867-875, 1983
- 5) 三宅義明, 山本兼史, 長崎大, 下村吉治 : ヒトにおけるレモン果汁およびクエン酸摂取が運動後の血中乳酸濃度に及ぼす影響. 日本栄養・食糧学会誌, **54**:29-33, 2001
- 6) Saito S, Yoshitake Y, Suzuki M,: Enhanced glycogen repletion in liver and skeletal muscle with citrate orally fed after exhaustive treadmill running and swimming. *J Nutr Sci Vitaminol* **29**:45-52, 1983
- 7) 柳田藤治 : 酢の機能性について. 日本醸造協会誌, **85**:135-141, 1990