

長時間運動時の血中グルコース濃度に及ぼすタウリン投与の影響

石倉 恵 介¹⁾ 宮川 俊 平²⁾ 矢田部 佳 久³⁾
竹 越 一 博⁴⁾ 大 森 肇¹⁾

EFFECT OF TAURINE SUPPLEMENTATION ON BLOOD GLUCOSE CONCENTRATION DURING PROLONGED EXERCISE

KEISUKE ISHIKURA, SHUMPEI MIYAKAWA, YOSHIHISA YATABE,
KAZUHIRO TAKEKOSHI and HAJIME OMORI

Abstract

To determine the effect of taurine on blood glucose concentration during prolonged exercise, fifteen male university students cycled for 120 min at 50% $\dot{V}O_2$ max after 7 days with or without taurine supplementation. Exercise tended to reduce the blood glucose concentration, whereas taurine significantly prevented this decline. Exercise significantly increased plasma glucagon concentrations in both groups to a similar degree. Serum insulin concentrations did not differ during exercise under both conditions. Taurine supplementation respectively significantly inhibited and tended to inhibit the plasma noradrenaline and adrenaline concentrations increased by exercise. These results suggest that taurine supplementation can maintain the blood glucose concentration during prolonged exercise through enhanced catecholamine sensitivity.

(Jpn. J. Phys. Fitness Sports Med. 2008, 57 : 475~484)

key word : taurine, blood glucose, prolonged exercise, catecholamine

I. 緒 言

脳における平常時の唯一のエネルギー源はグルコースである。血中グルコース濃度は健常者ではかなり正確にコントロールされていて、低・中程度の運動において血中グルコース濃度はほとんど変化しない。これは、運動筋における糖の利用と肝からの糖動員のバランスが保たれていることによる。しかし、軽度の運動でも長時間(90分以上)になると、15~30%の血中グルコース濃度の低下が見られる。そして長時間運動時に血中グルコース濃度が低下すると脳組織における糖消費つまりエネルギー消費量が低下することで、正常な脳機能を維持することが困

難になり、疲労困憊に至る可能性がある。

一方、中程度の運動における運動前、運動中の糖質の摂取は血中グルコース濃度の低下を防ぎ、筋グリコーゲンの減少を遅らせることによって疲労を遅延させることができ、持久性パフォーマンスを改善するとの報告がある。

タウリンは、哺乳動物の中樞神経組織や心臓、骨格筋など多くの組織に存在する含硫アミノ酸の一つであり、生体内においては大部分がタンパク質に取り込まれない遊離の状態が存在し、その他のアミノ酸よりも高濃度である。タウリンは、血圧降下^{1~5)}、抗動脈硬化⁶⁾、膜安定化^{7~9)}、抗不整脈¹⁰⁾、神経調節(抑制)^{11,12)}など多様な生理作用が報告されて

¹⁾筑波大学大学院 人間総合科学研究科 運動生化学
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

Doctoral Program in Physical Education, Health and Sports Sciences, Graduate Course of Comprehensive Human Science, University of Tsukuba

²⁾筑波大学大学院 人間総合科学研究科 スポーツ医学
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

Doctoral Program in Sports Medicine, Graduate Course of Comprehensive Human Science, University of Tsukuba

³⁾総合守谷第一病院
〒302-0102 茨城県守谷市松前台1-17

Moriya Daiichi General Hospital

⁴⁾筑波大学大学院 人間総合科学研究科 臨床病理学
〒305-8574 茨城県つくば市天王台1-1-1

Molecular Laboratory Medicine, Graduate School of Comprehensive Human Sciences, University of Tsukuba

いる。運動パフォーマンスの改善に及ぼすタウリン投与の効果に関しても、抗酸化作用^{13~15)}、心機能の増強^{16~20)}、疲労性筋障害の予防^{21,22)}などによる走行時間の延長などが報告されている。

さらに、糖尿病動物にタウリンを投与すると、血中グルコース濃度の低下²³⁾、インスリン感受性の改善^{24,25)}など血中グルコース濃度のコントロールに有効であるとの報告がある。一方、糖質の摂取と同様に、マウスへタウリンを投与し、強制遊泳・走行をさせると運動後に低下する血中グルコース濃度が維持されたとの報告がある²⁶⁾。これらのことから、タウリンの糖代謝への効果が考えられる。しかしながら、これらのメカニズムについては不明な点が多く、長時間運動に伴う血中グルコース濃度の低下への効果はヒトでは検証されていない。

そこで、ヒトの長時間運動に伴う血中グルコース濃度の低下に及ぼすタウリンの影響について、代謝内分泌応答を観察し検討することを目的とした。

II. 方 法

A. 被検者

被検者は、日常的に持久性トレーニングを行っていない健康な男子大学生15名(19.9±1.4歳)とした。身長は170.9±4.8 cm, 体重は59.2±7.1 kg, 最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)は54.2±6.6 ml/min/kgであった。すべての被検者に研究の目的・方法、そして途中で辞退できることを説明した上で、文書による実験参加の同意を得た。なお、本研究は筑波大学における「筑波大学大学院人間総合科学研究科研究倫理委員会」の承認を得て実施した。

B. タウリン投与

投与したタウリンには日局タウリンを用い、実験7日前から前日まで、1日6 g(2 g×3回)を経口摂取させた。すべての被検者に対してタウリン投与(With)と非投与(Without)の2条件の実験を実施した。15名の被検者に対して二つの条件が同一順序で行われないように、タウリン投与条件を先に実施する群と非投与条件を先に実施する群に無作為に分けた。各実験を実施するにあたり、タウリン投与を先に実施した被検者は10日間以上、非投与を先に実施した被検者は7日間以上の間隔を空け、次の実験日程を計画した。非投与条件においては薬剤を渡さ

ず、投与条件においては、渡した薬剤がタウリンかどうかは被検者に告知しなかった。

C. 実験プロトコール

本実験に先立って、被検者の最大酸素摂取量($\dot{V}O_2\max$)を規定するために、本実験の10日以上前にオールアウトテストを行った。得られた $\dot{V}O_2\max$ から本実験で用いる50% $\dot{V}O_2\max$ 時の負荷を算出した。

本実験の参加者には前日の午後9時までに食事を摂取させさせるとともにアルコールおよびカフェインの摂取を禁じ、当日は実験終了まで水以外の摂取を禁止した。実験当日に前夜の食事と起床後の飲料を調査し、タウリン投与条件においては7日間の薬剤摂取状況を確認した。両条件において50% $\dot{V}O_2\max$ の強度で自転車エルゴメーター(818, Monark社製)を用い、毎分60回転で2時間の自転車漕ぎ運動を負荷した。なお運動に先立つ10分間のウォーミングアップの後、5分間安静を維持させた。運動開始20分以後、15分ごとに水を任意に摂取させた。

D. 測定項目および測定方法

ウォーミングアップ前と運動直後に肘静脈から血液を採取した。血中のグルコース、乳酸、遊離アミノ酸、遊離脂肪酸、アドレナリン、ノルアドレナリン、インスリン、グルカゴン濃度を測定した。また運動中15分ごとに呼吸交換比(Respiratory Exchange Ratio: RER)を測定した。

ガス分析には代謝計測定器(Oxycon Alpha, JAEGER mijnhardt社製)を用い、breath by breathで得られたデータを30秒間隔で出力した。カテコールアミン、グルカゴン測定のため、それぞれEDTA-2A, 2NAトラジロール入り入り真空採血管に血液を採取し直ちに転倒混和後、速やかに遠心分離(4℃, 3000 rpm, 15分間)を行い、血漿成分を別容器へ移した。また遊離脂肪酸・インスリン測定のため、シリコン入り真空採血管に血液を採取し直ちに転倒混和し、室温で30分間放置した後に遠心分離(18℃, 3000 rpm, 15分間)を行い、血清成分を別容器に移し、測定まで凍結保存した。いずれの測定も株式会社エスアールエルに委託した。さらに遊離アミノ酸測定のため、ヘパリンナトリウム入り真空採

血管に採血し直ちに転倒混和後、速やかに遠心分離（4℃，3000 rpm，15分間）を行った。得られた血漿成分と3%スルホサリチル酸溶液を等量混和し、冷蔵庫で1時間放置した。その後、遠心分離器でタンパク質を分離（4℃，3000 rpm，15分間）させ、上澄み液を0.45 μmのフィルタでろ過し、測定まで凍結保存した。測定は筑波大学研究基盤センター分析部門に委託した。さらに血液サンプルの一部を血中グルコースおよび血中乳酸の測定に供し、それぞれの測定には小型血糖測定器（グルコカードα，アークレイ社製），簡易乳酸測定器（ラクテート・プロ，アークレイ社製）を用いた。

E. 統計処理

結果はすべて平均値±標準誤差で示した。血液生化学成分各指標の実験条件間，運動前後における平均の差を比較するにあたり，対応のあるt検定を行った。呼吸交換比においては経時的变化，実験条件間の比較を二元配置の分散分析を行い，その後

Bonferroniの多重比較検定を行った。すべての統計処理において危険率の有意水準は5%とした。

Ⅲ. 結 果

運動前の血漿タウリン濃度は非投与条件よりタウリン投与条件において有意に高値を示し，非投与条件では運動後に有意に増加した（Fig. 1）。運動後の血中グルコース濃度は非投与条件において低下傾向（ $p=0.06$ ）を示し，タウリン投与条件では非投与条件に比べ低下傾向が有意に抑制された（Fig. 2-A・B）。運動後の血漿ノルアドレナリン濃度の上昇は非投与条件に比べタウリン投与条件において有意に抑制され（Fig. 3），血漿アドレナリン濃度の応答も同様の傾向にあった（Fig. 4）。血漿グルカゴン濃度，血清遊離脂肪酸濃度は運動で有意に上昇したものの，両条件間において有意な差は認められなかった（Table 1）。血清インスリン濃度，血漿分岐鎖アミノ酸濃度，血中乳酸濃度は運動前後および両条件間において有意な差は認められなかった（Table

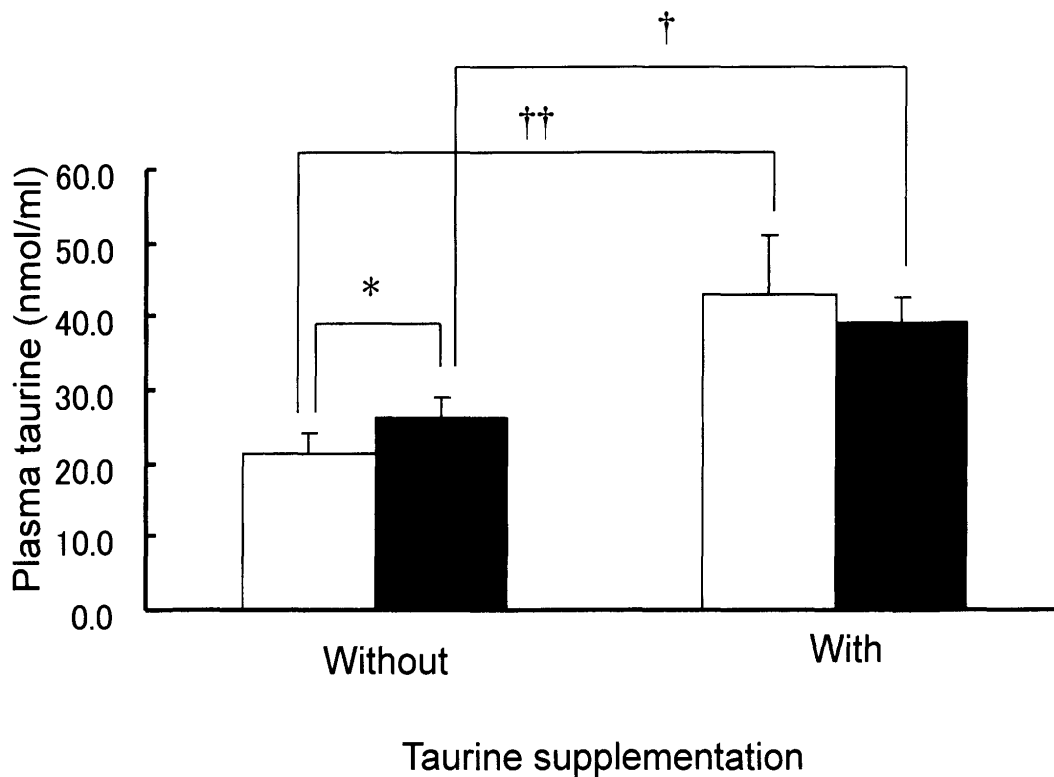


Fig. 1. Changes in plasma taurine concentrations.

Plasma taurine levels were measured after cycling for 120 min at 50% $\dot{V}O_2$ max with or without 7 days of taurine supplementation. □, before exercise; ■, after exercise. Values are means \pm SE (n=15). *, Significant difference between before and after exercise ($p<0.05$). †, Significant difference between without and with taurine supplementation after exercise ($p<0.05$). ††, Significant difference between without and with taurine supplementation before exercise ($p<0.05$; n=15)

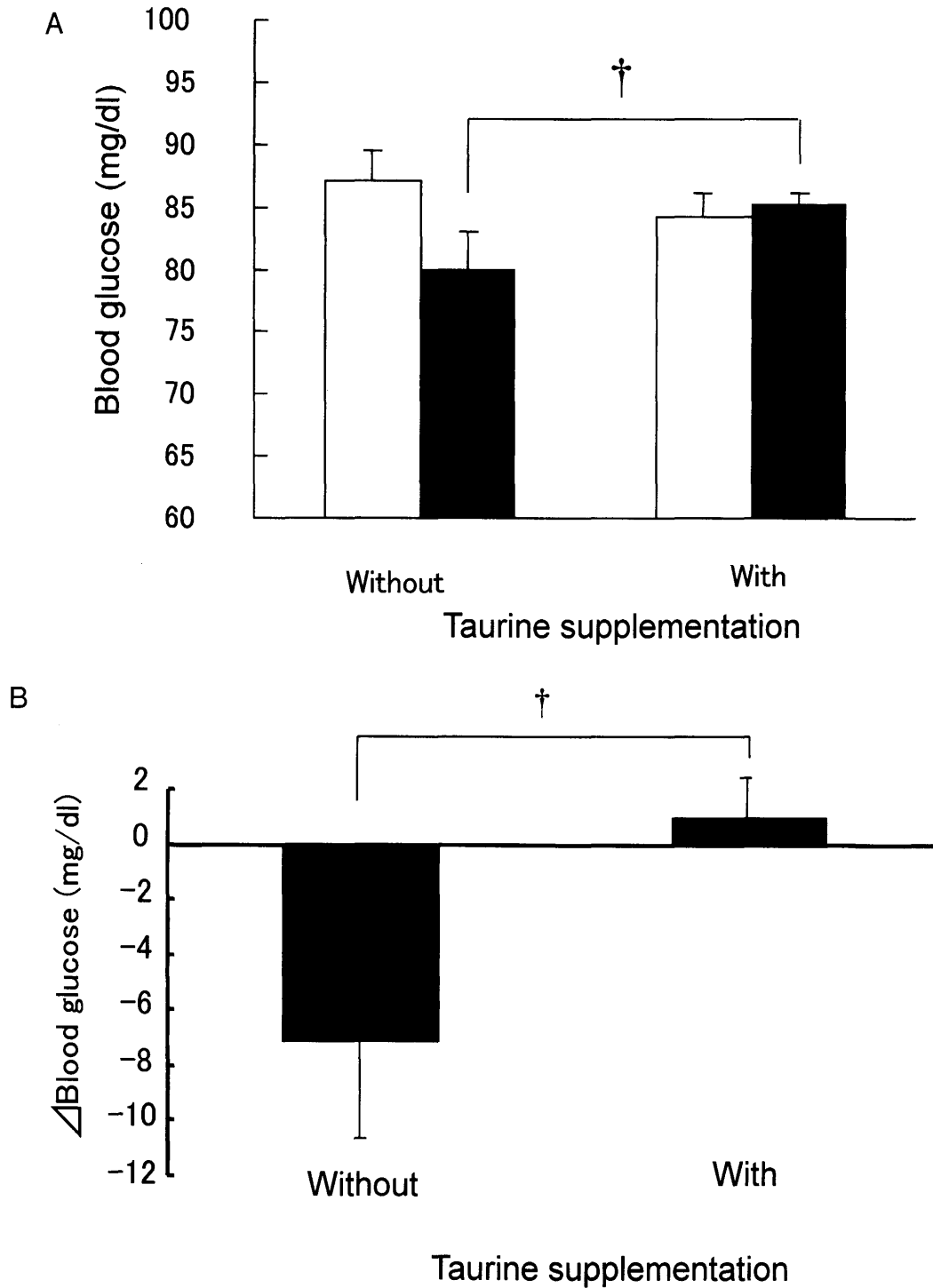


Fig. 2. Changes in blood glucose concentrations.

A. Blood glucose concentrations were measured after cycling for 120 min at 50% $\dot{V}O_2$ max with or without 7 days of taurine supplementation. □, before exercise ; ■, after exercise. Values are means \pm SE. †, Significant difference between without and with taurine supplementation after exercise ($p < 0.05$; $n = 15$).

B. Blood glucose concentrations were measured after cycling for 120 min at 50% $\dot{V}O_2$ max with or without 7 days of taurine supplementation. Values are means \pm SE. †, Significant difference between without and with taurine supplementation ($p < 0.05$; $n = 15$).

1). 呼吸交換比は経時的変化および両条件間において有意な差は認められなかった (Table 2).

IV. 考 察

本研究では, 非鍛錬者にタウリン投与・非投与条件において2時間の自転車漕ぎ運動を行わせ, その

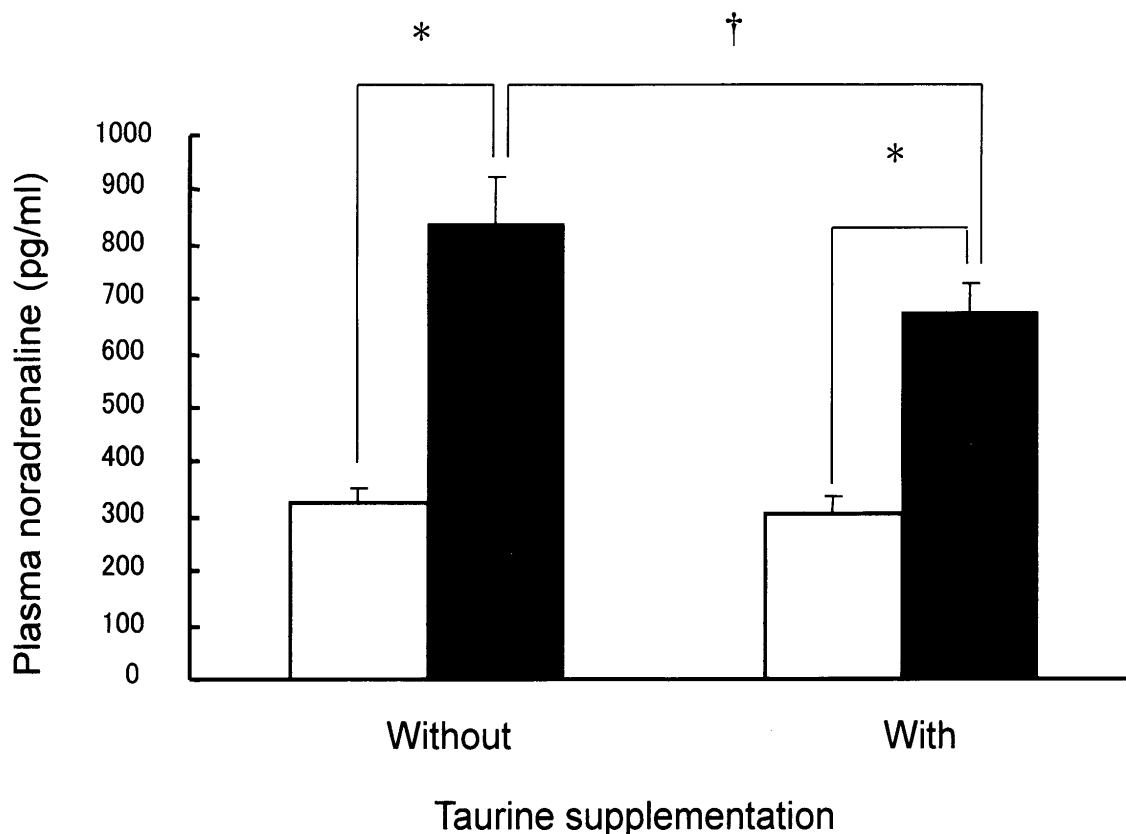


Fig. 3. Changes in plasma noradrenaline concentrations.

Plasma noradrenaline concentrations were measured after cycling for 120 min at 50% $\dot{V}O_2$ max with or without 7 days of taurine supplementation. □, before exercise; ■, after exercise. Values are means \pm SE. *, Significant difference between before and after exercise under each condition ($p < 0.05$). †, Significant difference between without and with taurine supplementation after exercise ($p < 0.05$; $n = 15$).

ときの代謝内分泌応答を比較検討し、長時間運動に伴う血中グルコース低下へのタウリン経口投与の影響を明らかにすることを目的とした。

本研究において、長時間運動に伴う血中グルコースの低下傾向がタウリン投与によって有意に抑制された。久保田と早乙女²⁶⁾は、マウスにランニングまたは遊泳を負荷すると運動後に血中グルコース低下を示すが、タウリン投与をすると血中グルコース低下が抑制されたと報告している。本研究においても久保田と早乙女の報告と同様の結果が得られたことから、ヒトにおいてもタウリンには長時間運動に伴う血中グルコース低下の抑制効果があることが示唆される。特に非投与条件で15%以上の血中グルコース低下を示した5人の被検者は、タウリン投与条件で大幅な改善を示した(Fig. 5)。また非投与条件において運動80分で疲労困憊に至った被検者はその時点で血中グルコースは44(mg/dl)であったが、タウリン投与条件では運動120分まで遂行したにも関わらず、血中グルコースは58(mg/dl)であった。

このような運動による血中グルコース低下を示す被検者にとってタウリン投与は、とくに有効である可能性が推察される。

一方、呼吸交換比、血清遊離脂肪酸は、両条件間で有意な差を認めなかったことから、タウリンが血中グルコース低下を抑制した要因は脂質代謝の亢進ではないことが推察される。

血中グルコースは低・中程度の運動ではほとんど変化しない。これは、運動筋におけるグルコースの利用と肝からのグルコース動員のバランスが保たれているからである。これには、運動によるインスリン分泌の減少、グルカゴン、カテコールアミン分泌の増加が関与している。しかし、本研究において、血清インスリンは変化がなかった。さらに、血漿グルカゴンは運動で上昇を示したものの両条件間における差は認められなかった。運動後の血漿ノルアドレナリンが非投与条件に比べ、タウリン投与条件において有意に低値を示し、血漿アドレナリンも同様の变化をした。非鍛錬者に比べ鍛錬者では、カテコー

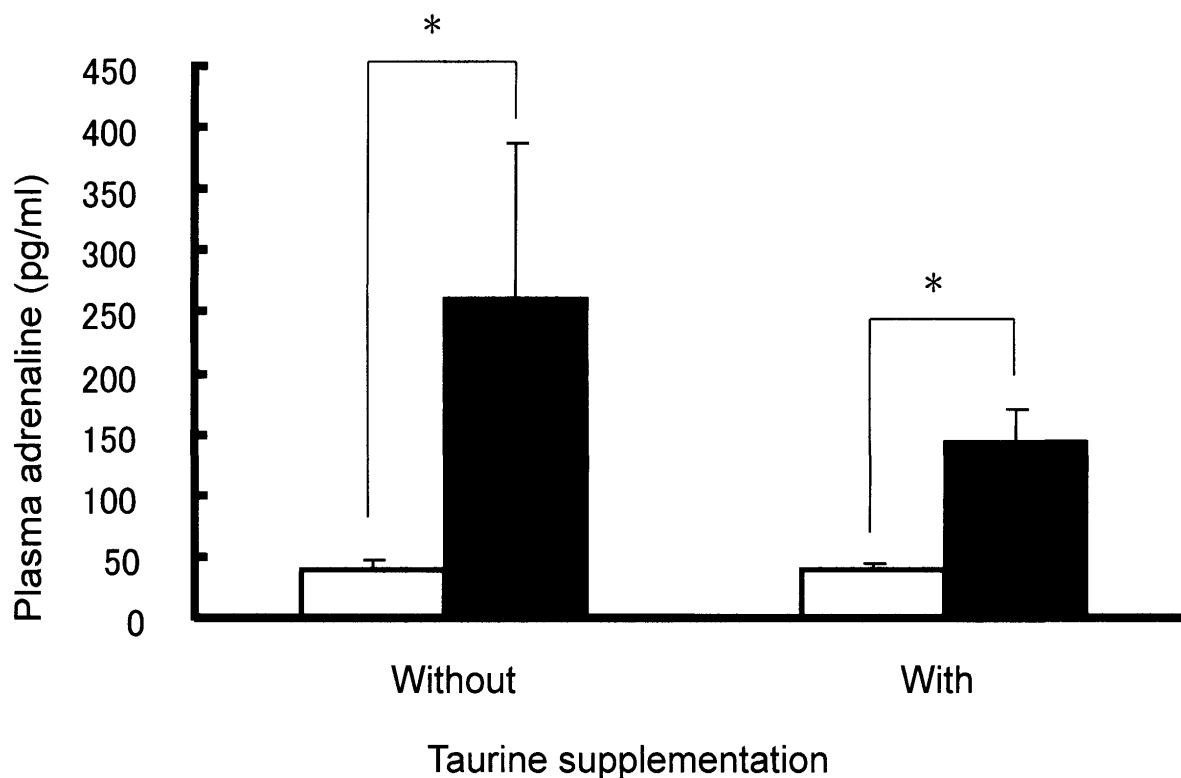


Fig. 4. Changes in plasma adrenaline concentrations.

Plasma adrenaline concentrations were measured after cycling for 120 min at 50% $\dot{V}O_2$ max with or without 7 days of taurine supplementation. □, before exercise ; ■, after exercise. Values are means \pm SE. *, Significant difference between before and after exercise under each condition ($p < 0.05$; $n=15$).

Table 1. Serum FFA and insulin, blood lactate acid and plasma BCAA and glucagon levels before and after cycling for 120 min at 50% $\dot{V}O_2$ max after 7 days with or without taurine supplementation.

	n	Without taurine		With taurine	
		Before exercise	After exercise	Before exercise	After exercise
Serum FFA(mEQ/l)	15	0.38 \pm 0.05	1.49 \pm 0.09*	0.31 \pm 0.03	1.31 \pm 0.11*
Serum insulin(μ IU/ml)	7	6.7 \pm 0.9	5.7 \pm 2.2	6.9 \pm 0.8	7.0 \pm 1.9
Blood lactate(mmol/dl)	15	1.4 \pm 0.2	1.5 \pm 0.2	1.2 \pm 0.1	1.4 \pm 0.1
Plasma BCAA(ng/ml)	15	174.1 \pm 15.3	177.4 \pm 12.3	173.6 \pm 13.2	167.9 \pm 12.5
Plasma glucagon(pg/ml)	7	98.3 \pm 14.6	129.9 \pm 17.9*	116.7 \pm 45.4	147.1 \pm 24.8*

Values are means \pm SE. *, Significant difference compared with value before exercise under each condition ($p < 0.05$). FFA, free fatty acids ; BCAA, branched chain amino acid.

Table 2. Changes in RER while cycling for 120 min at 50% $\dot{V}O_2$ max after 7 days with or without taurine supplementation.

	rest	15min	30min	45min	60min	75min	90min	105min	120min
RER With taurine	0.91 \pm 0.06	0.95 \pm 0.03	0.93 \pm 0.04	0.93 \pm 0.04	0.91 \pm 0.04	0.91 \pm 0.04	0.90 \pm 0.04	0.90 \pm 0.04	0.89 \pm 0.05
RER Without taurine	0.92 \pm 0.07	0.96 \pm 0.04	0.94 \pm 0.04	0.93 \pm 0.04	0.92 \pm 0.04	0.94 \pm 0.04	0.92 \pm 0.04	0.91 \pm 0.04	0.89 \pm 0.05

Values are means \pm SE ($n=12$). RER, respiratory exchange ratio.

ルアミン受容体の感受性が亢進しており, 同一量のホルモンが大きな仕事をするため, 同一強度における運動中のカテコールアミン分泌が抑制される²⁷⁾. 本研究において, タウリン投与によって血中グルコース低下が抑制されたにも関わらず肝からのグル

コース動員を促すカテコールアミンが低値を示したことは, タウリン投与がカテコールアミン受容体の感受性を亢進させ, 血中グルコース維持のホメオスタシスを容易にした可能性が推察される. また, Nakagawa and Kuriyama²⁸⁾, Patel et al.²⁹⁾はそれぞれ

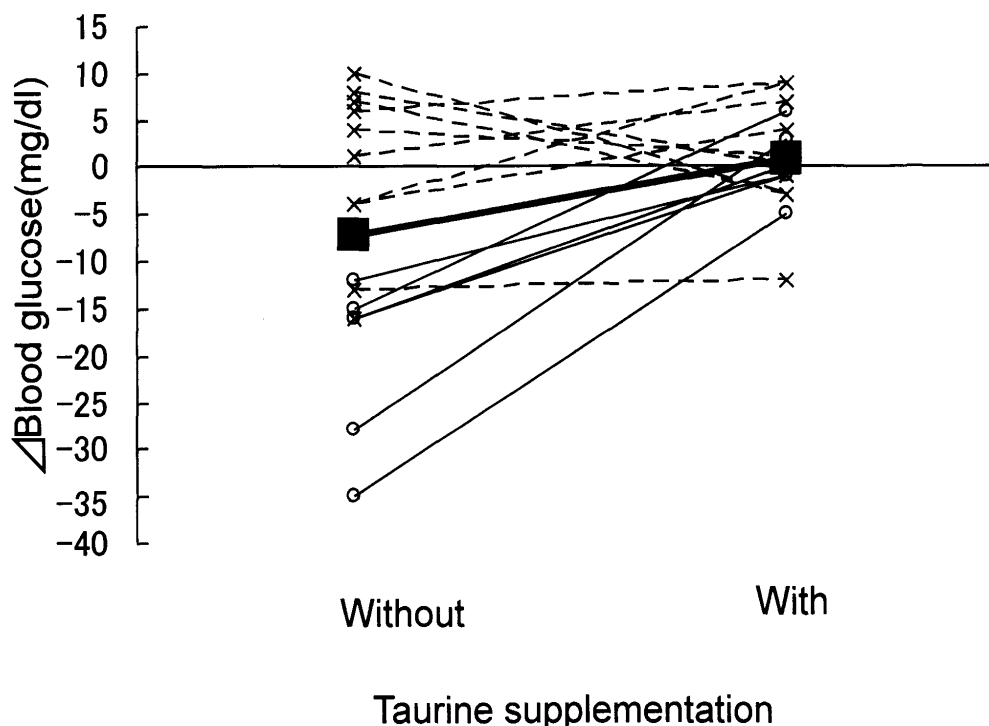


Fig. 5. Individual difference in changes of blood glucose concentrations after cycling for 120 min at 50% $\dot{V}O_2$ max with or without 7 days of taurine supplementation.

■, mean change in blood glucose concentration. ○, individuals with > 15% decrease in blood glucose concentration after exercise under without taurine supplementation. ×, individuals with < 15% decrease in blood glucose concentration after exercise under without taurine supplementation (n=15).

れ拘束寒冷暴露, ピリドキサル誘発性の血中グルコースおよびカテコールアミンの上昇をタウリンが抑制することを報告しており, 今後はタウリンのストレス緩和作用についても検討が必要であると考えられる。

グリコーゲンを枯渇させ中程度の運動を負荷すると, グリコーゲンを枯渇させない通常の場合の方が運動中の血中グルコースは高値を示す³⁰⁾. 他方, タウリン投与によって骨格筋グリコーゲン増強作用も報告されている^{24,31,32)}. 本研究では, 筋バイオプシーによる骨格筋グリコーゲン量の測定を行わなかったものの, タウリン投与時に運動後の血中グルコース低下が抑制されたことは, タウリン投与時に骨格筋グリコーゲンが増強された可能性も推察される。

非鍛錬者に比べ鍛錬者においては, 血中グルコースのホメオスタシスの改善が報告されており³³⁾, 肝臓からの糖新生を促すグルカゴンの感受性が高まっているとしている³⁴⁾. 本研究において両条件間で血漿グルカゴンの差はなかったにもかかわらずタウリン投与時に運動誘発性の血中グルコースの低下

が抑制されたことは, タウリン投与によるグルカゴン感受性が亢進していた可能性も考えられる。

他方, 糖尿病動物にタウリンを投与すると, 血中グルコースの低下²³⁾, インスリン感受性の改善^{24,25)}などの報告があり, タウリンが血中グルコースを正常範囲内に調整する働きがある可能性も推察される. これらのことから, タウリン投与によるカテコールアミン, インスリン, グルカゴン分泌に及ぼす影響のみならず, これらホルモンの感受性への影響, そしてグリコーゲン貯蔵への影響など, グルコースの産生とグルコースの利用について今後の検討が望まれる。

V. ま と め

本研究は, ヒトの長時間運動に伴う血中グルコース低下に及ぼすタウリンの影響について, 代謝内分泌応答を観察し検討することを目的とした. 非鍛錬者である同一被験者を用いて1日6g(2g×3回), 7日間のタウリン投与・非投与条件において50% $\dot{V}O_2$ maxの120分間自転車漕ぎ運動を負荷した. その結果, ヒトへのタウリン経口投与は120分の中強

度自転車漕ぎ運動に伴う血中グルコースの低下傾向を有意に抑制した。また、タウリン投与によって運動によるカテコールアミンの上昇が抑制されたことから、タウリンの血中グルコース低下抑制のメカニズムとしてカテコールアミンの感受性の亢進が推察される。

(受理日 平成20年5月26日)

VI. 文 献

- Nara, Y., Yamori, Y. and Lovener, W. Effect of dietary taurine on blood pressure in spontaneously hypertensive rats. *Biochem. Pharmacol.*, (1978), **27**, 2689-2692.
- 尾崎正若, 丹羽正美, 魏 麗貞, 土山秀夫, 馬渡一雄, 山城勝美, Effect of taurine on blood pressure and fat metabolism in experimental hypertension. *含硫アミノ酸*, (1980), **3**, 115-121.
- 丹羽正美, 川口昭男, 国貞景子, 尾崎正若, 栗原正紀, taurine の高血圧作用(Ⅱ)SHRSPを使った実験. *含硫アミノ酸*, (1981), **4**, 177-181.
- Bousquet, P., Feldman, J., Bloch, R. and Schwartz, J. Central cardiovascular effect of taurine: Comparison with homotaurine and muscimol. *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, (1981), **219**, 213-218.
- Fujita, T. Ando, K., Noda, H., Ito, Y. and Sato, Y. Effect of increased adrenomedullary activity and taurine on young patients with borderline hypertension. *Circulation*, (1987), **75**, 525-535.
- 家森幸男, 奈良安雄, 木原正博, 堀江良一, 大島 章, Arteriolipidosis-prone rats(ALR)における cholesterol 代謝への taurine の関与. *含硫アミノ酸*, (1980), **3**, 107-113.
- Huxtable, R. and Bressler, R. Effect of taurine on a muscle intracellular membrane. *Biochem. Biophys. Acta*, (1973), **323**, 573-583.
- Gruener, R. and Bryant, H. J. Excitability modulation by taurine: Action on axon membrane permeabilities. *J. Pharmacol. Exp. Ther.*, (1975), **194**, 514-521.
- 竹中 優, 山内 淳, 今井圓裕, 浸透圧によるオスモライト輸送体遺伝子の発現制御. *日本臨牀*, (1996), **54**, 2821-2828.
- Read, W. O. and Welty, J. D. Effect of taurine on epinephrine and digoxin induced irregularities of dog heart. *J. Pharmacol.*, (1963), **139**, 283-289.
- Davison, A. N. and Kaczmarek, L. K. Taurine—a Possible Neurotransmitter? *Nature*, (1971), **234**, 107-108.
- Wheler, G. H., Brandford, H. F., Davison, A. N. and Thompson, E. J. Uptake and release of taurine from cerebral cortex slices and their subcellular compartments. *J. Neurochemistry*, (1979), **33**, 331-337.
- Dawson, R., Biasetti, Jr. M., Messina, S. and Dominy, J. The cytoprotective role of taurine in exercise-induced muscle injury. *Amino Acids*, (2002), **22**, 309-324.
- Miyazaki, T., Matsuzaki, Y., Ikegami, T., Miyakawa, S., Doy, M., Tanaka, N. and Bouscarel, B. Optimal and effective oral dose of taurine to prolong exercise performance in rat. *Amino Acids*, (2004), **27**, 291-298.
- Zhang, M., Izumi, I., Kagamimori, S., Sokejima, S., Yamagami, T., Liu, Z. and Qi, B. Role of taurine supplementation to prevent exercise-induced oxidative stress in healthy young men. *Amino Acids*, (2004), **26**, 203-207
- 小野三嗣, 渡辺雅之, 長尾憲樹, 池田道明, 山本隆宣, 小野寺 昇, 田中弘之, 原 英喜, 湊 久美子, 大橋道雄, タウリンの運動時代謝に及ぼす影響. *体力科学*, (1980), **29**, 191-204.
- 小野三嗣, 渡辺雅之, 長尾憲樹, 東原昌郎, 山本隆宣, 春日規克, 田中弘之, 原 英喜, 湊 久美子, 外山寛, 西牧正行, 松山隆一, 野坂和則, 中村恵子, 運動時代謝に及ぼす Taurine の影響. *含硫アミノ酸*, (1981), **4**, 105-110.
- Watanabe, M., Minato, K. and Ono, M. Effects of taurine on the metabolism under physical exercise. *Sulfur Amino Acids*, (1987), **10**, 183-186.
- Geiß, K. R., Jester, I., Falke, W. Hamm, M. and Waag, K. L. The effect of taurine-containing drink on performance in 10 endurance-athletes. *Amino Acids*, (1994), **7**, 45-56.
- Baum, M., Weiß, M. The influence of a taurine containing drink on cardiac parameters before and after exercise measured by echocardiography. *Amino Acids*, (2001), **20**, 75-82.
- Manabe, S., Kuroda, I., Okada, K., Morishima, M., Okamoto, M., Harada, N., Takahashi, A., Sakai, K. and Nakaya, Y. Decrease blood levels of lactate acid and urinary excretion of 3-methylhistidine after exercise by chronic taurine treatment in rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.*, (2003), **49**, 375-380.
- 矢田部佳久, 宮川俊平, 大森 肇, 白木 仁, 向井直樹, 竹村雅裕, 三島 初, 屋嘉育男, 筋疲労・筋障害に対するタウリンの投与効果. *体力科学*, (2005), **54**, 467.
- Kaplan, B., Karabay, G., Zagyapan, R. D., Ozer, C., Sayan, H. and Duyar, I. Effect of taurine in glucose and taurine administration. *Amino Acids*, (2004), **27**, 327-333.
- Harada, N., Ninomiya, C., Osako, Y., Morishima, M., Mawatari, K., Takahashi, A. and Nakaya, Y. Taurine alters respiratory gas exchange and nutrient metabolism in type 2 diabetic rats. *Obesity Research*, (2004), **12**, 1077-1084.
- Nandhini, A. T. A., Thirunavukkarasu, V. and Anuradha, C. V. Taurine modifies insulin signaling enzymes in the fructose-fed insulin resistant rats. *Diabetes Metab.*, (2005), **31**, 337-344.
- 久保田和彦, 早乙女秀雄, Taurine の疲労マウス血糖値低下防止と運動持久性に及ぼす効果. *応用薬理*,

- (1974), **8**, 887-894.
- 27) 堤 達也. 運動が内分泌系に及ぼす効果. 体育の科学, (1985), **35**, 767-771
- 28) Nakagawa, K. and Kuriyama, K. Effect of taurine on alteration in adrenal function induced by stress. Japan. J. Pharmacol., (1975), **25**, 737-746.
- 29) Patel, J. P. and Lau-Cam, C. A. Taurine attenuates pyridoxal-induced adrenomedullary catecholamine release and glycogenolysis in the rat. Advances in Experimental Medicine and Biology, (2006), **583**, 147-156.
- 30) Segal, S. S. and Brooks, G. A. Effect of glycogen depletion and work load on postexercise O₂ consumption and blood lactate. J. Appl. Physiol., (1979), **47**, 514-521.
- 31) 竹倉宏明, 田中弘之, 湊 久美子, 渡辺雅之, Taurine 投与がラット骨格筋代謝特性に及ぼす影響. 含硫アミノ酸, (1985), **8**, 447-452.
- 32) Takekura, H., Tanaka, H., Watanabe, M., Yoshioka, T. and Ono, M. Effects of taurine on glycolytic and oxidative enzyme activities of rat skeletal muscles. 含硫アミノ酸, (1986), **9**, 125-132.
- 33) Brooks, G. A. and Donovan, C. M. Effect of endurance training on glucose kinetics during exercise. Am. J. Physiol., (1983), **244**, E505-512.
- 34) Drouin, R., Lavoie, C., Bourque, J. Ducros, F., Poisson, D. and Chiasson, J. Increased hepatic glucose production response to glucagon in the trained subjects. Am. J. Physiol., (1998), **274**, E23-28.