

運動後低血圧は糖質飲料の種類によって違いが生じるか —運動直後にフルクトースあるいはグルコース含有飲料を 摂取した後の血行動態に着目して—

県立広島大学 福場 良之
(共同研究者) 同 遠藤(山岡)雅子
同 鍛島 秀明

The Effect of Oral Ingestion of Drinks Containing Either Fructose or Glucose on Post-Exercise Hypotension

by

Yoshiyuki Fukuba, Masako (Yamaoka) Endo, Hideaki Kashima
*Department of Exercise Science and Physiology,
School of Health Sciences, Prefectural University of Hiroshima*

ABSTRACT

The aim of present study was to examine the effects of ingestion of either glucose or fructose beverage following moderate bicycle exercise on central and peripheral hemodynamic responses. Seven healthy male subjects ingested orally 350 cc drink containing either glucose (G trial), fructose (F trial), or water (C trial) as a control, just 15min after the cessation of 30 min exercise at 65% of $\dot{V}O_{2\max}$ and kept rest for 2 hours. During the protocols, heart rate (HR), mean blood pressure (MAP), the blood flow (BF) and its vascular conductance (VC) in superior mesenteric (SMA) and femoral artery (FA) were measured. In the G trial, MAP was significantly decreased against prior-exercise baseline value, but not changed in the F trial. VC_{SMA} were significantly greater for G trial than those for F and C trials at 30 and 60 min after ingestion of drink. Our results suggest that the ingestion of fructose beverages after exercise blunted the post-exercise hypotension due to insufficient visceral vascular vasodilation.

要 旨

中等度の脚自転車運動後のグルコースあるいはフルクトース含有飲料摂取がその後の血行動態に及ぼす影響について比較検討した。健康な若年男性7名は、半仰臥位の姿勢で15分間の安静後、65% of $\dot{V}O_{2max}$ の強度で30分間の脚自転車こぎ運動を行った。運動終了15分後に、350 ccのグルコース含有飲料（G条件）、フルクトース含有飲料（F条件）、あるいは水（C条件）のいずれかを摂取し、その後2時間、半仰臥位の姿勢で安静を保った。運動の前後、および飲料摂取後に、心拍数、血圧、上腸間膜動脈（SMA）と右大腿動脈（FA）の血流量（BF）を測定した。各動脈の血管コンダクタンス（VC）はBFを平均血圧（MAP）で除して算出した。G条件では、MAPは運動前ベースライン値に対して有意に低下したが、F条件では変化しなかった。VC_{SMA}は、飲料摂取30および60分後で、G条件がF条件およびC条件に比べて高かった。運動回復期の糖質含有飲料摂取は、その内容によって、その後の中心および末梢の血行動態に違いを生じさせることが示唆された。

緒 言

10年余り前より、米国では、コーンシロップやショ糖のようなフルクトース（果糖）を含む清涼飲料の過剰摂取と肥満・糖尿病といった生活習慣病の関連性が社会問題となり、シンポジウムやワークショップが次々と開催された^{1,2)}。本邦でも、特に若い世代で、清涼飲料（主成分：フルクトース）を摂取する人が多くなってきている実感は、誰もが有している。グルコース摂取に比して、フルクトースの生体への急性な影響や生活習慣病への関連についての情報はまだ限られたものしかない。例えば、フルクトースはグルコースと比較して、その代謝過程において肝臓での中性脂肪合成を増加させ³⁾、永年の過剰摂取が生活習慣病へ

の引き金になると想定されつつある^{4,5)}。

フルクトース含有飲料摂取が血圧に及ぼす急性や慢性の影響については、まだよくわかっていない⁶⁾。そこで我々は、安静時の健常者におけるフルクトース飲料摂取後の血行動態を検討し、急性な昇圧作用を有していることを明らかにした⁷⁾。

一般的にフルクトースを含有した清涼飲料を頻繁に摂取する場面としては、運動中のみならず運動後がよくイメージされる。例えば、学童のスポーツクラブ活動後、いわゆるコンビニでの店先などで摂取している姿は、実際によく目にする光景である。このような本邦の現状を考えると、前述の安静時と同様、運動直後のフルクトース含有飲料摂取が血圧に対してどのような影響を及ぼすか、非常に興味を持たれるが、まだその詳細は解明されていない⁸⁾。そこで本研究の目的は、運動直後のフルクトース含有飲料摂取が、その後の血行動態、特に血圧へどのような急性的な影響を及ぼすかを検討することとした。

1. 実験方法

健康な男性7名（20-24歳）が実験に参加した。すべての被験者は、実験の目的、方法、リスク等について説明を受け、その内容に同意した上で実験に参加した。本研究は所属機関の倫理委員会の承認をえた上で行われた。実験開始前2時間の食べ物や水分の摂取、ならびに激しい運動は禁止とした。

被験者毎の運動強度を決定するために、リカレント式の脚自転車エルゴメーター（Angio, Lode製）を用いて、運動強度が毎分20Wずつ漸増するランプ負荷試験を半仰臥位の姿勢で実施した。各被験者の疲労困憊時における酸素摂取量を最大酸素摂取量（ $\dot{V}O_{2max}$ ）として、65% of $\dot{V}O_{2max}$ となる運動強度を各被験者に設定した。

次に本実験として、運動終了後に飲料を摂取するプロトコルを行った。被験者は上述のリカン

ベント式の脚自転車エルゴメーターに半仰臥位の姿勢で15分間の安静を保った後、脚サイクリング運動を65% of $\dot{V}O_{2max}$ の強度で30分間行った。その後、再び約2時間の安静を保った。運動終了15分後に、各350ccの12.5% グルコース溶液 (G条件)、12.5% フルクトース溶液 (F条件)、あるいは水 (C条件：人工甘味料で甘味を調整) のいずれかを摂取した。これら3つの飲料摂取プロトコルは、ランダムな順序で少なくとも3日以上の間隔をあけて行った。実験室内の温度は20～23℃になるように調整した。

以下の項目を、運動前安静時、運動終了後ならびに飲料摂取後に定期的な間隔で測定した。平均血圧 (MAP) と心拍数 (HR) は自動血圧計 (BP-88S, コーリン製) を用いて測定した。上腸間膜動脈 (Superior Mesenteric Artery : SMA) および右の大腿動脈 (Femoral Artery : FA) の血流速度 (Blood Velocity : BV) は、デジタル超音波診断装置 (LOGIQ S6, GE Yokogawa Medical Systems 製) を用いて、超音波パルスドップラー法により測定した。SMA と FA の BV 測定には、コンベックスプローブ (3.3 MHz) とリニアプローブ (5 MHz) をそれぞれ用いた。血流測定は、標的血管に対してドップラービームの入射角度が60°以下となるように設定し、同じ位置で行った。えられたデータは我々が開発したシステムにより解析した⁹⁾。BV 測定と同時に SMA と FA の血管径を測定し、各血管断面積 (Cross Sectional Area : CSA) を算出した。各血管における血流量 (Blood Flow : BF) は BV と CSA から算出した。各血管の収縮/拡張の程度を示す指標である血管コンダクタンス (Vascular Conductance : VC) は、BF を MAP (mean blood pressure) で除して求めた。

データは、全て平均値 ± 標準誤差で示した。全ての測定項目に対して、二元配置分散分析 (経過時間 × プロトコル) を行い、時間に対して有意性が認められた場合、事後検定として

Dunnett の多重比較を行い、安静時との比較を行った。また、プロトコルに対して有意性が認められた場合、事後検定として Tukey の多重比較検定を行った。統計解析ソフトには SPSS ver.12 を用い、有意水準は全て危険率5%未満とした。

2. 結 果

図1にHRとMAPの結果を示す。運動終了後、HRがまだ高値である状態で、3種類の飲料のいずれかを摂取し、その後のHRをみると、G条件とC条件では摂取後30～90分目で、F条件では30～120分目で、それぞれ運動前安静時と比べて有意に高かった。MAPは、G条件で飲料摂取後60～90分目に運動前安静時から有意に低下した。一方、F条件では飲料摂取30分後ならびに120分後に有意な上昇がみられ、摂取後2時間後まで高いまま推移する傾向が認められた。C条件では、運動前安静時からの変化は認められな

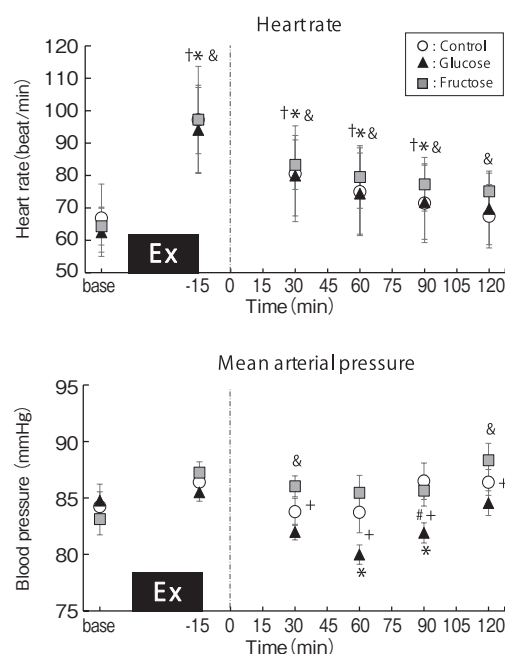


図1 運動後の異なる糖質含有飲料摂取後の心拍数および平均血圧の推移。平均値 ± 標準誤差。点線は飲料摂取終了時点を示す

†, * and &: vs. baseline (base) in the control, glucose and fructose trials, respectively, $P < 0.05$. #: control vs. glucose trials, $P < 0.05$. +: glucose vs. fructose trials, $P < 0.05$.

かった。また F 条件の MAP は G 条件と比べて摂取後 30 – 120 分目の間は有意に高く、C 条件も、G 条件と比べて飲料摂取 90 分後には有意に高かった。

消化吸収にかかわる内臓血流の BF_{SMA} は、運動終了後に低下傾向が認められたが、飲料摂取後は、G 条件で 30 – 60 分目に運動前安静時と比べて有意に高く、F 条件と C 条件で変化が認められなかった (図 2)。内臓血管の収縮・拡張の程度を示す VC_{SMA} は、G 条件で飲料摂取 30 – 60 分後に運動前安静時と比べて有意に高く、F 条件と C 条件で変化がなかった (図 3)。また G 条件では、F 条件、C 条件と比較して、30 – 60 分後で有意に高く、血管拡張が顕著であった。

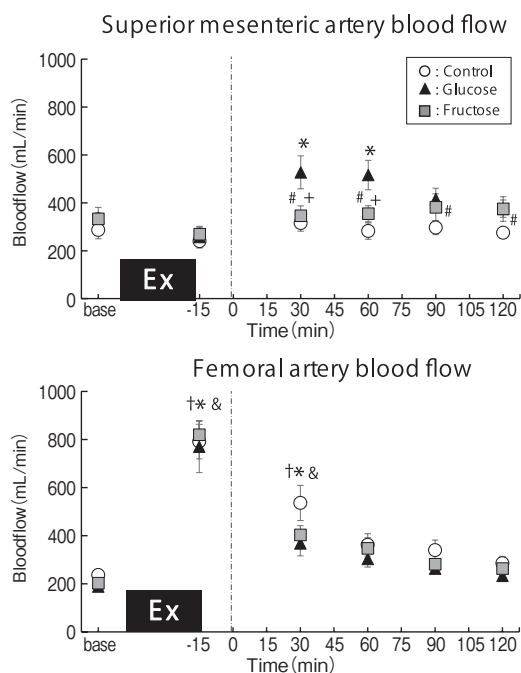


図2 運動後の異なる糖質含有飲料摂取後の上腸間膜動脈および大腿動脈の血流変化。

平均値±標準誤差。点線は飲料摂取終了時点を示す。†, * and &: vs. baseline (base) in the control, glucose and fructose trials, respectively, $P < 0.05$. #: control vs. glucose trials, $P < 0.05$. +: glucose vs. fructose trials, $P < 0.05$.

一方、運動肢への血流である BF_{FA} は、運動前安静時と比べて、3 条件共に、運動終了後には高値を示し、飲料摂取後 30 分目でもまだ有意に高

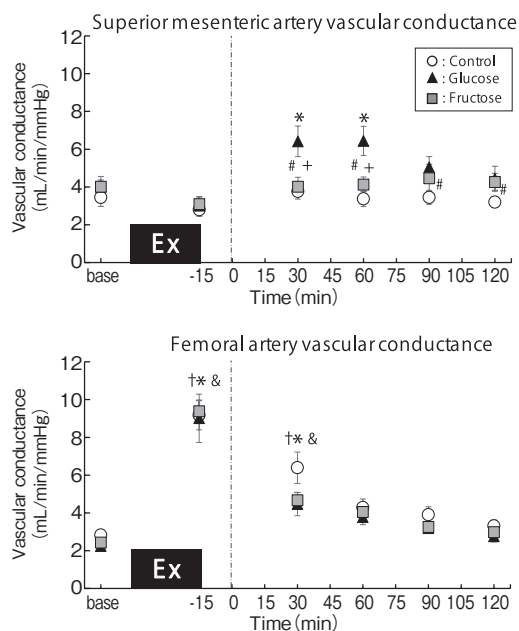


図3 運動後の異なる糖質含有飲料摂取後の上腸間膜動脈および大腿動脈の血管コンダクタンスの変化。

平均値±標準誤差。点線は飲料摂取終了時点を示す。†, * and &: vs. baseline (base) in the control, glucose and fructose trials, respectively, $P < 0.05$. #: control vs. glucose trials, $P < 0.05$. +: glucose vs. fructose trials, $P < 0.05$.

いレベルにあったが、その後は回復していった (図 2)。 VC_{FA} は、全ての条件で運動直後および飲料摂取後 30 分目に運動前安静時と比べて有意に高かったが、3 条件間の違いは認められなかった (図 3)。

3. 考 察

本研究では、運動終了直後の異なる糖質含有飲料摂取がその後の血行動態、特に血圧に及ぼす影響を検討した。運動終了 15 分後にグルコース飲料を摂取すると、60 – 90 分後に MAP が運動前安静時に比べて有意に低下した。一方、フルクトース飲料の摂取では、60 – 90 分後で MAP は変化せず、30 分後と 120 分後にわずかに上昇した。また、対照とした水の摂取では、その後の血圧は変化しなかった。以上のことから、運動直後に摂取する糖質飲料の種類に応じて、運動後の血圧推

移は異なることが明らかとなった。

自転車こぎのような全身性の動的運動を行うと、運動後の血圧が安静時（運動前）の値より数時間以上にわたって低下する現象が一般的に生じることが知られている⁷⁾。このような運動後に一過性に観察される降圧作用（Post-exercise hypotension : PEH）は、生活習慣病、特に高血圧への予防といった観点から興味深い現象として捉えられている¹⁰⁾。例えば、軽症の本態性高血圧患者にとっては、30-60分位の運動をある程度の期間継続して行くと、1回の運動で認められる急性の降圧作用、すなわちPEHが持続し、日常の血圧値が薬理作用に頼ることなく低下するといった正の効果につながると考えられている¹¹⁾。このような観点で運動終了後に摂取されるべき糖質飲料は、PEHが観察されたグルコース含有飲料であり、運動後に血圧上昇が生じたフルクトース含有飲料は推奨されない。

運動直後に摂取する糖質飲料の種類に応じて、運動後の血圧推移が異なる要因には、摂取後の血行動態反応の特異性があげられる^{12,13)}。先行研究によると、グルコース飲料を安静時に摂取すると、心拍出量（Cardiac Output : CO）は増加するものの、総末梢血管抵抗（Total Vascular Resistance : TVR）が低下するため、結果として血圧は変化しないのに対して、フルクトース飲料摂取では、COとTVRの両者が持続的に増加し、血圧は摂取前に比べて上昇したという報告がある⁶⁾。つまり、フルクトース飲料で認められた血圧上昇は、末梢の組織、器官、臓器の血管抵抗の増加による可能性が指摘されたが、この研究では想定される末梢組織である内臓や運動肢への血流が実測されておらず、推論の域を出なかった。

そこで本研究では、上記の現象を実際に確かめるために、超音波ドップラー法を用いて、主に上部消化管へ血液を供給するSMAと運動肢であるFAの血流を実測し、VC_{SMA}とVC_{FA}によって両

者の末梢血管抵抗を評価した。その結果、運動によって血管拡張をきたして上昇していたVC_{FA}は、運動後の飲料摂取いずれにおいても、その後の推移にほとんど違いは認められなかった。それに対して、運動中は血管収縮を起こしていた¹⁴⁾と考えられるVC_{SMA}は、グルコース含有飲料を摂取すると上昇、すなわち、その消化吸収に要する内臓血流確保のために一過性の血管拡張を起こした。しかしフルクトース含有飲料ではそのような内臓血管の拡張は生じなかった。中心循環の指標である心拍数に条件間での違いはなかったことから、糖質飲料の種類による血圧動態の違いは、末梢循環系、特に内臓の循環動態の違いに起因した結果と推察された。

グルコースとフルクトースは共に単糖類で、かつ重量当たり同じ熱量を有するが、摂取後のSMAの循環動態が大きく異なっていた。先行研究においても、安静時で類似な結果が得られていたが⁶⁾、そのメカニズムは不明であった。本研究の結果と最近の我々の運動後のグルコース摂取の結果^{15,16)}をあわせて考えると、おそらく、グルコースとフルクトースの消化吸収メカニズムの差異が、内臓血管への収縮／拡張作用へ影響し、そのことにより血圧応答への違いが惹起されたのではないかと推察された。

4. 結 論

運動後に摂取する糖質の種類に応じて、その後の血圧推移は異なることが明らかとなった。グルコース含有飲料の摂取では、運動後に降圧効果が生じたのに対して、フルクトース含有飲料の摂取では消失した。このことより、運動直後のフルクトースを含有した清涼飲料摂取は、生活習慣病予防、特に高血圧への運動療法の観点からは、余り推奨されないことが示唆された。

謝 辞

本研究の実施に際して快く参加頂いた被験者の皆様、研究の遂行に助成を賜りました公益財団法人石本記念デサントスポーツ科学振興財団にあつくお礼申し上げます。

文 献

- 1) Fulgoni V.: High-fructose corn syrup: everything you wanted to know, but were afraid to ask, *Am. J. Clin. Nutr.*, **88**(6) :1715S(2008)
- 2) Jones J.M.: Dietary sweeteners containing fructose: overview of a workshop on the state of the science, *J. Nutr.*, **139**(6) :1210S-1213S(2009)
- 3) Bantle J.P., Raatz S.K., Thomas W., Georgopoulos A.: Effects of dietary fructose on plasma lipids in healthy subjects, *Am. J. Clin. Nutr.*, **72**(5) :1128-34(2000)
- 4) Rizkalla S.W.: Health implications of fructose consumption: A review of recent data, *Nutr. Metab.*, **7**:82(2010)
- 5) Martinez F.J., Rizza R.A., Romero J.C.: High-fructose feeding elicits insulin resistance, hyperinsulinism, and Hypertension in normal mongrel dogs, *Hypertension*, **3**:456-463(1994)
- 6) Brown C.M., Dulloo A.G., Yepuri G., Montani J.P.: Fructose ingestion acutely elevates blood pressure in healthy young humans, *Am. J. Physiol.*, **294**:R730-R737(2008)
- 7) Endo M.Y., Fujihara C., Yamazaki C., Kashima H., Eguchi K., Miura A., Fukuoka Y., Fukuba Y.: Acute responses of regional vascular conductance to oral ingestion of fructose in healthy young humans, *J. Physiol. Anthropol.*, **17**:33:11(2014)
- 8) Madero M., Perez-Pozo S.E., Jalal D., Johnson R.J., Laura G.: Dietary Fructose and Hypertension, *Curr. Hypertens. Rep.*, **13**:29-35(2011)
- 9) Endo M.Y., Suzuki R., Nagahata N., Hayashi N., Miura A., Koga S., Fukuba Y.: Differential arterial blood flow response of splanchnic and renal organs during low-intensity cycling exercise in women, *Am. J. Physiol.*, **294**:H2322-H2326(2008)
- 10) Halliwill J.R.: Mechanisms and clinical implications of post-exercise hypotension in humans, *Exerc. Sport Sci. Rev.*, **29**:65-70(2001)
- 11) Hamer M.: The anti-hypertensive effects of exercise: integrating acute and chronic mechanisms, *Sports Med.*, **36**:109-16(2006)
- 12) Visvanathan R., Chen R., Horowitz M., Chapman I.: Blood pressure responses in healthy older people to 50 g carbohydrate drinks with differing glycaemic effects, *Br. J. Nutr.*, **92**:335-340(2004)
- 13) Brundin T., Wahren J.: Whole body and splanchnic oxygen consumption and blood flow after oral ingestion of fructose or glucose, *Am. J. Physiol.*, **264**:E504-E513(1993)
- 14) Rowell L.B., Blackmon J.R., Martin R.H., Mazzarella J.A., Bruce R.A.: Hepatic clearance of indocyanine green in man under thermal and exercise stresses, *J. Appl. Physiol.*, **20**:384-394(1965)
- 15) Endo M.Y., Shimada K., Miura A., Fukuba Y.: Peripheral and central vascular conductance influence on post-exercise hypotension, *J. Physiol. Anthropol.*, **31**:32(2012)
- 16) Endo M.Y., Fujihara C., Miura A., Kashima H., Fukuba Y.: Effects of meal ingestion on blood pressure and regional hemodynamic responses after exercise, *J. Appl. Physiol.*, **120**:1343-1348(2016)