

〈論文〉

## 健常若年者におけるエクササイズ前の イソマルツロース摂取がその後の基質酸化と エネルギー消費に及ぼす影響

小沼 直子, 進藤 大典, 坂崎 未季  
永井 幸枝, 山中 健太郎

Effects of Pre-exercise Isomaltulose Ingestion on Subsequent Substrate Oxidation  
and Energy Expenditure in Healthy Young Adults

Naoko ONUMA, Daisuke SHINDO, Miki SAKAZAKI  
Yukie NAGAI, Kentaro YAMANAKA

The aim of this study was to investigate the effects of pre-exercise isomaltulose ingestion on subsequent energy metabolism in healthy young adult. Fifteen participants (9 females and 6 males) performed three experimental trials, in which they performed a 30-min treadmill exercise at a moderate speed (50~60%  $\dot{V}O_{2max}$ ) after the ingestion of beverages that contained either isomaltulose (ISO), sucrose (SUC) or plain water (WAT). During the trials, energy expenditure (EE) and substrate oxidation rates were measured by indirect calorimetry. EE during the pre-exercise resting phase in ISO and SUC trials were significantly larger than that in WAT trials. During the pre-exercise resting and 30-min exercise phases, carbohydrate oxidation rates in ISO and SUC trials facilitated compared to that in the WAT trials, and the highest rate was observed in the SUC trials. These results suggest that pre-exercise isomaltulose ingestion facilitated EE, without excessive carbohydrate oxidation, during subsequent pre-exercise resting and 30-min exercise phases in healthy young adults.

### 緒言

糖質は、身体のエネギー供給源として最も重要な栄養素の1つであり、身体活動や脳の活動に欠かすことができない栄養素である。また、ヒトは糖質と脂質の利用を切り替えることができる代謝柔軟性を持ち、その調節因子には、摂取する栄

養素や身体活動の強度など様々な要因が関わっている<sup>1,2)</sup>。食習慣や運動習慣の悪化が原因で惹起されるメタボリックシンドロームの予防、すなわち健康の増進・維持のためには、体内の脂肪蓄積を抑制することが重要とされている<sup>3,4)</sup>。脂肪蓄積の抑制には、脂質酸化を促進させることが重要

である。そして、脂質酸化を増大させる最も効率的な方法としてエクササイズが挙げられ、アメリカスポーツ医学会とアメリカ心臓協会は、健康の維持のために、30分間/日以上の中強度エクササイズの実施を推奨している<sup>5)</sup>。また、代謝柔軟性の要因として、摂取する食事の栄養素や、血糖指数 (Glycemic Index: GI)<sup>6)</sup> が関係すると言われている。先行研究において、低GIの食事は、高GIの食事と比較して、2型糖尿病患者や健常者において、血糖・血中インスリン・血中脂質の異常の改善や、脂質酸化が促進されるといった有益な効果が報告されている<sup>7-9)</sup>。

イソマルツロース (パラチノース<sup>®</sup>) は、スクロースの構造異性体であり、4 kcal の熱量をもつ二糖類である<sup>10)</sup>。スクロースと比較して小腸での消化吸収が緩やかで、GI 値が低い点の特徴である (Sucrose: 65 vs. Isomaltulose: 32)<sup>11)</sup>。糖尿病患者や過体重の参加者にイソマルツロースを摂取させたところ、血糖値と血中インスリン濃度の急激な上昇が抑制されることが明らかになっている<sup>12, 13)</sup>。さらに、メタボリックシンドロームの患者にイソマルツロースを摂取させたところ、スクロース摂取後と比較して脂質酸化が促進されることが示されている<sup>14)</sup>。このように、イソマルツロース摂取によって、肥満や糖尿病患者の血糖・血中インスリン・血中脂質の異常の改善が示されている。しかし、健常者において、健康維持のためにイソマルツロースの摂取をエクササイズと併用したときの効果に関する報告は未だ少ない。また、エクササイズ時には、スクロースが含まれるスポーツドリンクがよく使用されているが、エクササイズ前にその代替として、イソマルツロースが含まれる飲料を摂取した際の、基質利用についてはほとんど検討されていない。そこで本研究は、エクササイズ前にイソマルツロースあるいはスクロースを含む飲料を摂取した健常若年者において、その後の糖質酸化・脂質酸化及びエネルギー代謝にどのように影響するかについて調べることを目的とした。とくに本研究では、飲料摂取のあと1時間の安静時間を設けた後に30分間のエクササイズを行うことで、摂取後のエクササイズを行わない状態での影響と、エクササイズに伴う影響を分けて検討した。

研究目的として、とくに本研究では、飲料摂取のあと1時間の安静時間を設けた後に30分間のエクササイズを行うことで、摂取後のエクササイズを行わない状態での影響と、エクササイズに伴う影響を分けて検討した。

## 研究方法

### 参加者

参加者は、日常的な運動習慣のない健康な若年男性6名 (24.0 ± 2.3 歳) と若年女性9名 (20.8 ± 0.8 歳) とした。参加者には事前に質問紙調査を行い、慢性疾患がないこと、実験実施時に健康で服薬していないこと、喫煙する習慣がないこと、また女性においては月経異常がないことを確認した。参加者は実験の前日は激しい運動をしないように、また、実験前日の午後9時以降は食事を控え、水・お茶以外の清涼飲料水、アルコールやカフェインを摂取しないよう指示された。実験前に参加者の人権への倫理的配慮に基づき、一人一人に対してインフォームドコンセントを実施した。インフォームドコンセントは参加者に対して説明文書を補助資料として配布し、十分な理解が得られた者に対して書面での同意を得た。なお、本研究は昭和女子大学倫理委員会 (承認番号: 17-03) および日本大学薬学部倫理審査委員会 (承認番号: 16-007) の承認を得て行われた。

### 実験手順

参加者は、予備実験1回と本実験3回を実施するために計4回実験室を訪問した。本実験として、3種類の飲料を摂取する図1のプロトコルによる実験を、全参加者で3回繰り返し行った。3種類の飲料の摂取する順序は、参加者ごとにランダムに変えた。4回の実験は3日以上の間隔をあけて行った。本実験3回は概日リズムの影響を最小限にするためほぼ同じ時間帯 (午前9:00 ごろ

～)に実施した。1回目の訪問の際に身長を自己申告し、体重の測定(DF860, Yamato)を行い、そこからBody mass index (BMI)を算出した。そして、各参加者の運動強度を決定する予備実験として以下の手順で最大酸素摂取量( $\dot{V}O_2\max$ )測定試験を行った。

$\dot{V}O_2\max$ 測定試験において、参加者は、心電図測定用(Bioscope M100, FUKUDA)の電極及び呼気採取用マスク(K4b2, COSMED / AR-10, ARCO SYSTEM)を装着してトレッドミル上に立った。1分間安静にした後、4 km/hの速度で歩行を開始し、その後は1分ごとに速度を1 km/hずつ漸増しながら疲労困憊まで走行させた。最大酸素摂取量の判定基準は、①酸素摂取量にleveling offがみられること、②心拍数が180拍/分以上を超えたこと、③呼吸商が1.1を超えたこと、の3つの条件のうち1つ以上満たすこととした<sup>15)</sup>。

3回の本実験のプロトコルを図1に示した。参加者は午前9:00頃に実験室に到着した。最初に、参加者にその日の体調や服薬状況に問題がないか確認した。その後、心電図測定用の電極を装着した。次に椅座位安静にて、心拍数(Heart rate: HR) [bpm]、血圧(Blood pressure: BP [mmHG], HEM-741C, OMRON)を測定し、その後呼気採取用マスクを装着して酸素摂取量( $\dot{V}O_2$ ) [ml/min]、二酸化炭素排出量( $\dot{V}CO_2$ ) [ml/min]の測定を5分間行った(Baseline測定)。その後、イソマルツロース(ISO)、スクロース(SUC)、水(WAT)の3種類のいずれかが含まれる飲料(500 ml)を10分程度で摂取してもらい、飲み終わった時点をも0分とした。飲料摂取後60分が経過したら、予備実験にて測定した $\dot{V}O_2\max$ の50~60%に相当する速度で30分間のトレッドミル・エクササイズを実施した。エクササイズ後再び60分間の椅座位安静を保ち、150分で最後の測定をして実験終了とした。椅坐

位安静中はスマートフォンやPCなどの電子機器の使用を控えるよう指示した。

HRは実験中継続的に測定し、30, 50, 70(運動開始10分)、80(運動開始20分)、90(運動終了時)、120, 150分にて記録した。運動中のHRの値から、平均HR、年齢から推定した最大心拍数に対する%(%HRmax)、及び年齢から周推定した最大心拍数と安静時(Baseline測定時)心拍数の差分に対する%(%HRR)を算出した。BPも30, 50, 90, 120, 150分にて測定した。 $\dot{V}O_2$ と $CO_2$ は30, 50, 120, 150分になる前にそれぞれ10分間測定し、運動中(60~90分)は連続記録した。全てのデータを飲料摂取前(Baseline)、30分と50分の運動前(Pre-EX)、70~90分の運動中(EX)及び120分と150分の運動後(Post-EX)という4つの時間帯に分類し、それぞれの平均値を算出した。エネルギー消費量(Energy Expenditure: EE)はWeirの式( $EE [kcal] = 3.9 \times \dot{V}O_2 [L] + 1.1 \times \dot{V}CO_2 [L]$ ; Weir 1949)を用いて $O_2$ と $CO_2$ から算出し、 $\dot{V}CO_2/\dot{V}O_2$ によって評価される呼吸商(Respiratory Quotient: RQ)を算出した。RQ値からZuntz-Schumburg-Luskの表(Lusk 1924)を用いて、糖質酸化率(CHO)及び脂質酸化率(FO)を求めた。

#### 試験飲料

実験で使用するイソマルツロースとスクロースは三井製糖株式会社から提供を受けた。これらを用いて見た目・匂いで区別がつかないように、また500 mlのうち、糖質含量がいずれも75gになるような飲料を作成した。その詳細は、イソマルツロースもしくはスクロース15%、純水84.82%、クエン酸(無水)0.1%、クエン酸三ナトリウム(結晶)0.08%の割合で、pHが3.8であった(関東食研株式会社に作成を委託)。水は市販の飲料水を使用した。

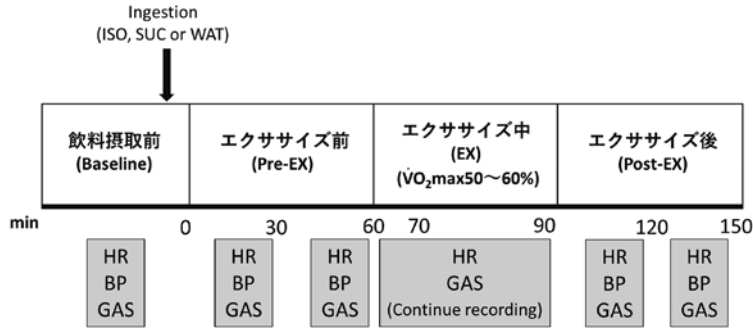


図1 本実験のプロトコル

飲料摂取前 (Baseline), エクササイズ前 (Pre-EX), エクササイズ中 (EX), エクササイズ後 (Post-EX) の4つの時間帯ごとに分析した。

3種類の飲料摂取条件: ISO: イソマルツロース, SUC: スクロース, WAT: 水

測定項目: HR: 心拍数, BP: 血圧, GAS: 呼吸代謝

図1のプロトコルによる実験を, 全参加者で3回繰り返し行った。3種類の飲料の摂取する順序は, 参加者ごとにランダムに変えた。

表1 参加者特性 (平均値±SE)

	男性	女性
数	6	9
年齢 (歳)	24.0 ± 2.3	20.8 ± 0.8
身長 (cm)	171.5 ± 3.6	157.4 ± 1.7
体重 (kg)	66.2 ± 2.8	55.6 ± 2.0
BMI (kg/m <sup>2</sup> )	22.5 ± 0.4	22.5 ± 0.9

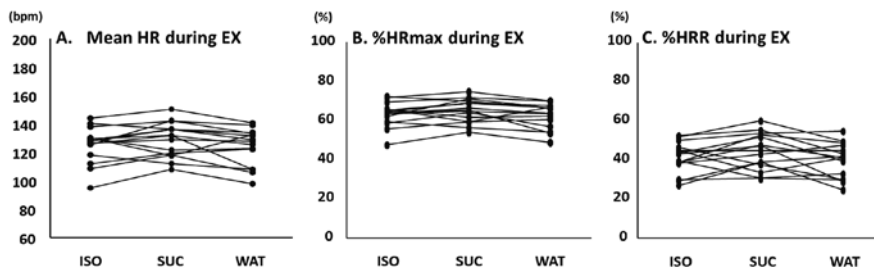


図2 3種類の飲料摂取後に遂行したエクササイズ中の心拍数 (HR)

A. 平均心拍数, B. %HRmax (最大心拍数に対する%), C. %HRR (予備心拍数に対する%).

ISO: イソマルツロース, SUC: スクロース, WAT: 水, EX: エクササイズ中

### 統計解析

データは平均±標準誤差で示した。運動中のエネルギー消費量・糖質酸化率・脂質酸化率・RQにおける3条件間の比較にはFriedman検定を実施し, 有意差が認められた場合は, Bonferroniの

方法による補正を用いたウィルコクソンの符号順位検定による多重比較検定を行った。有意水準はいずれも5%未満とした。

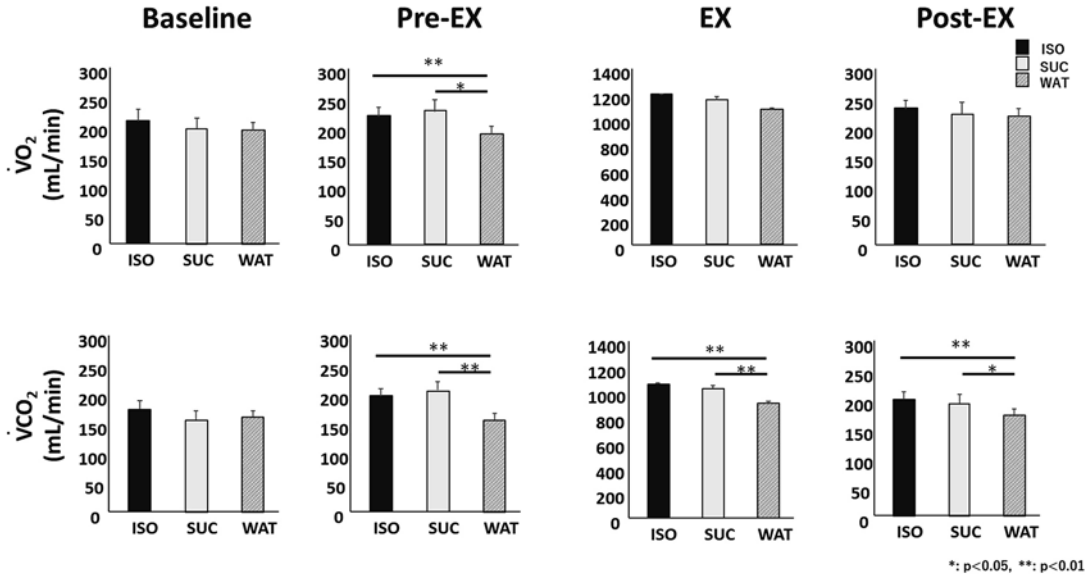


図3 3種類の飲料摂取後の酸素摂取量 ( $\dot{V}O_2$ )・二酸化炭素排出量 ( $\dot{V}CO_2$ )

ISO：イソマルトース，SUC：スクロース，WAT：水

Baseline：飲料摂取前，Pre-EX：エクササイズ前，EX：エクササイズ中，Post-EX：エクササイズ後。

## 結果

### 参加者の特性

表1に参加者の特性を示した。男女共に全ての参加者が正常体重 ( $BMI \leq 25$ ) の範囲内であった。図2に運動中の平均HR・%HRmax・%HRRを示した。運動中の平均HRは参加者でばらつきがみられたものの，%HRmaxは50~70%，%HRRは30~50%の範囲内であり，ISO・SUC・WATの3条件間に有意な差は無かった。血圧においても，拡張期血圧・収縮期血圧ともに3条件間で有意な差は見られなかった。

### 生理的反応の比較

#### 1) 酸素摂取量及び二酸化炭素排出量

図3にBaseline・Pre-EX・EX・Post-EX時の $O_2$ 及び $CO_2$ を示した。いずれも，Baselineでは条件間で差はなかったが，飲料を摂取した後のPre-EXにおいて条件の有意な影響がみられた ( $\dot{V}O_2$ :  $\chi_r^2 = 12.600$ ,  $p = .002$ ,  $\dot{V}CO_2$ :  $\chi_r^2 = 24.420$ ,  $p$

$< .001$ )。多重比較により，WAT条件と比較してISO条件及びSUC条件が有意な高値を示した。EXでは $CO_2$ においてのみ条件の有意な影響がみられた ( $\chi_r^2 = 39.338$ ,  $p < .001$ )。EXでの $O_2$ には条件の有意な影響は認められなかったが，各条件間の大小関係は $\dot{V}CO_2$ と同様の傾向であった。Post-EXにおいても， $\dot{V}O_2$ に差はなかったものの， $\dot{V}CO_2$ において条件の有意な影響がみられた ( $\chi_r^2 = 16.467$ ,  $p < .001$ )。多重比較により，WAT条件と比較してISO条件及びSUC条件が有意な高値を示した。各セッションでISO条件とSUC条件間での差は認められなかった。

#### 2) エネルギー消費量及び呼吸商

図4にBaseline・Pre-EX・EX・Post-EX時のEE及びRQを示した。EE及びRQはいずれもBaselineにおいて条件による差は無かった。EEはPre-EXにおいて条件による有意な影響が認められ ( $\chi_r^2 = 14.867$ ,  $p < .001$ )，多重比較によりISO条件及びSUC条件が，WAT条件と比較し

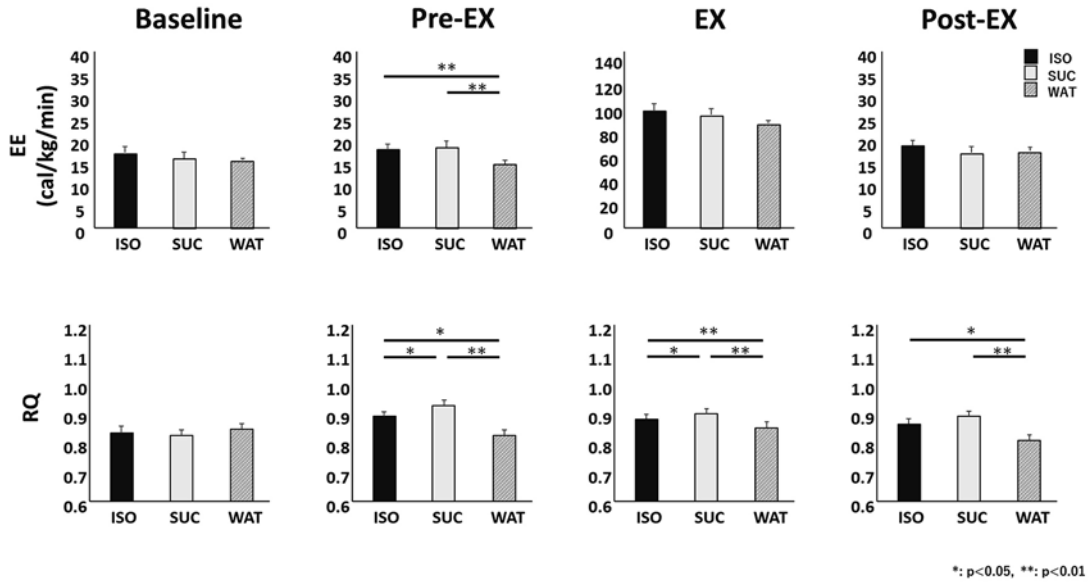


図4 3種類の飲料摂取後のエネルギー消費量 (EE)・呼吸商 (RQ)

ISO：イソマルトコース，SUC：スクロース，WAT：水

Baseline：飲料摂取前，Pre-EX：エクササイズ前，EX：エクササイズ中，Post-EX：エクササイズ後。

て有意な高値を示した。EXにおいて条件の有意な影響は認められなかったが、WAT条件と比較してISO条件及びSUC条件において高値である傾向を示した ( $p = .056$ )。Post-EXでも条件の有意な影響は認められなかった。RQはPre-EXにおいて条件による有意な影響が認められ ( $\chi_r^2 = 20.790, p < .001$ )、多重比較によりSUC条件が、ISO条件及びWAT条件よりも有意な高値を示し、ISO条件はWAT条件と比較すると高値であった。この条件の有意な影響はEX時まで持続しており ( $r = -3.086, p = .002$ )、多重比較によりSUC条件がISO条件及びWAT条件と比較し有意な高値を示し、ISO条件はWAT条件より高値であった。Post-EXでも条件の有意な影響が認められ ( $\chi_r^2 = 14.342, p = .001$ )、多重比較ではISO条件とSUC条件間での差はなかったものの、WAT条件と比較するとISO条件・SUC条件ともに有意な高値を示した。

### 3) 糖質酸化率及び脂質酸化率

図5にBaseline・Pre-EX・EX・Post-EX時のCHO及びFOを示した。いずれもBaselineにおいて条件による差は無かった。CHOにはPre-EXにおいて条件による有意な影響が認められ ( $\chi_r^2 = 20.790, p < .001$ )、多重比較によりSUC条件が最も高い値を示し、ISO条件はWAT条件と比較すると高値を示した。EXでもこの条件の有意な影響は持続しており ( $\chi_r^2 = 29.424, p < .001$ )、多重比較によりSUC条件がISO条件及びWAT条件より有意な高値を示し、ISO条件がWAT条件より高値であった。Post-EXにおいても条件の有意な影響が認められ ( $\chi_r^2 = 14.891, p = .001$ )、多重比較ではISO条件とSUC条件間での差はなかったものの、WAT条件と比較するとISO条件・SUC条件ともに有意な高値を示した。FOでは、セッションを通して条件の有意な影響があり ( $\chi_r^2 = 20.790, p < .001, \chi_r^2 = 29.424, p < .001, \chi_r^2 = 14.891, p = .001$ )、多重比較ではWAT条件が他

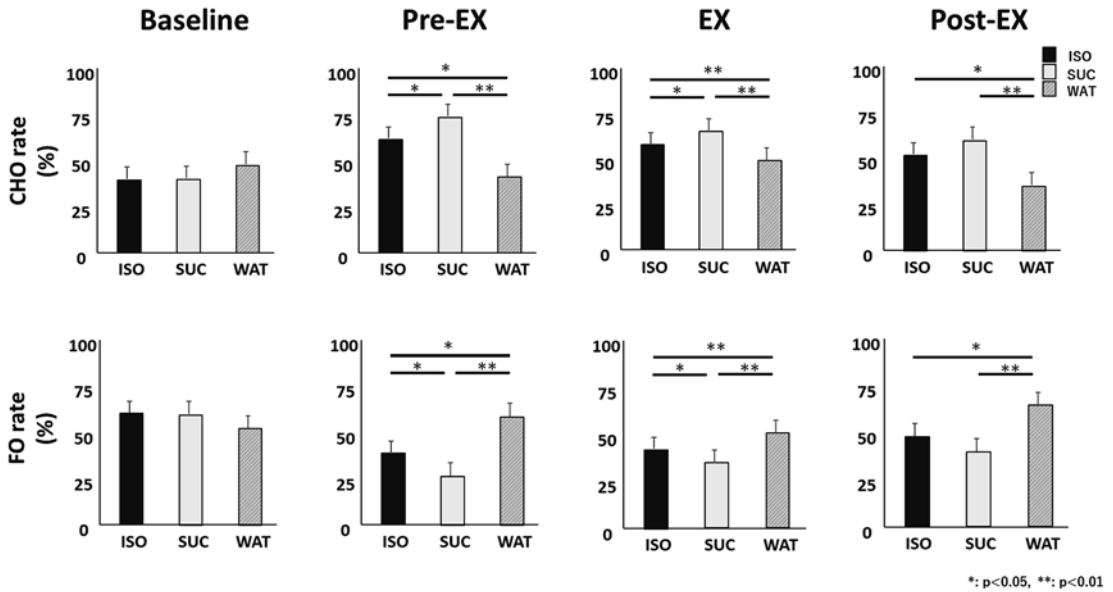


図5 3種類の飲料摂取後の糖質酸化率 (CHO) 及び脂質酸化率 (FO)

ISO：イソマルツロース，SUC：スクロース，WAT：水

Baseline：飲料摂取前，Pre-EX：エクササイズ前，EX：エクササイズ中，Post-EX：エクササイズ後。

の2条件より常に有意に高かった。一方で，ISO条件とSUC条件間ではPre-EX及びEXにおいてISO条件の方が有意な高値を示したが，Post-EXでは差は無くなった。

### 考察

本研究は，健康若年者における，エクササイズ前の異なる加糖飲料の摂取が，その後の糖質酸化・脂質酸化及びエネルギー代謝に及ぼす影響について検討を行った。さらに，飲料摂取のあと1時間の安静時間を設けた後に30分間のエクササイズを行い，摂取後のエクササイズを行わない状態での影響と，エクササイズに伴う影響についても検討した。

### 参加者の特性と運動強度

男性女性ともに参加者のBMIは25以下であり，本研究の参加者として適切な集団であった。また，参加者のエクササイズ中の%HRmaxが50

～70%，そして%HRRが30～50%範囲内であったことから，参加者の運動強度は中程度の強度であったと言える<sup>5)</sup>。さらに，3条件間の%HRmax及び%HRRに差はなかったことから，本研究で実施したエクササイズは3条件間で同じように適切に実施され，以下で報告する生理反応の差異が参加者の特性や運動強度に由来するものではないことが示唆される。

### 生理的反応

$\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ において， $\dot{V}O_2$ はPre-EXの時間帯のみ， $\dot{V}CO_2$ ではPre-EX・EX・Post-EXの時間帯で，WAT条件と比較して，ISO条件とSUC条件が有意な高値を示した。ISO条件とSUC条件間では有意差はなかった。すなわち，エクササイズ前の安静中において既に，GI値が異なる2種類の糖質 (ISOとSUC) を摂取した場合は水を摂取した場合よりも， $\dot{V}O_2$ と $\dot{V}CO_2$ が高値を示した。またEEも $\dot{V}O_2 \cdot \dot{V}CO_2$ と同様に糖質を

摂取したことによって、エクササイズ前の安静時において高値を示した。エクササイズ中のEEは、統計的有意差はなかったものの、糖質を摂取したISO条件・SCU条件が水を摂取したWAT条件よりも高値傾向であった。糖質は脂質・タンパク質に比べて素早く身体のエネルギー源として利用され、また健常者が加糖飲料などの糖質を摂取すると摂取後約30~60分で血糖値が上昇してピーク値をとり、その後低下すると言われている<sup>16)</sup>。本研究は糖質を摂取してからエクササイズまでに1時間の安静時期を設けたため、その間に体内に吸収されエネルギーとして使用された結果、エクササイズ前の段階で既に飲料摂取前と比べてEEが増加した、すなわち食事誘発性熱産生(Diet Induced Thermogenesis: DIT)が惹起された可能性がある。DITはヒトが食物を摂取した際、安静にしている状態でも、胃での消化活動や腸の蠕動運動によってエネルギー消費が生じることを指す<sup>17)</sup>。DITは摂取した栄養素やその人の体組成によって消費されるエネルギー量が異なり、糖質のみの場合では約6%がDITとして消費されると報告されている<sup>17)</sup>。本研究では、参加者の詳細な体組成を測定していないものの、参加者は健常な若年男女であったため、DITがエネルギー消費増大に寄与した可能性は十分に考えられる。

RQとCHOはbaselineを除いたすべての時間帯で、ISO条件とWAT条件よりもSUC条件の方が高値であった。FOはbaselineを除いたすべての時間帯でWAT条件がISO条件とSUC条件より高値であった。さらに、SUC条件よりもISO条件の方が高値を示した。脂質代謝亢進のための最も効率の良い方法として身体活動が挙げられており、中強度( $\dot{V}O_2\text{max}50\sim60\%$ )のエクササイズ中及びエクササイズ後にエネルギー消費量及び脂質代謝を亢進させることが多くの研究で明らかとなっている<sup>5,18,19)</sup>。本研究においても、3条件ともにエネルギー消費量は、エクササイズ前と比べ

て、エクササイズ中におよそ5倍になった。しかし、SUC条件に比べてISO条件でFOが増大したこと、そしてその有意差がエクササイズ前の1時間の安静時においても出現したことを考慮すると、糖質の種類の違い、つまりGI値の違いがFOに関与していると考えられる。低GI食品と高GI食品の基質酸化に関する先行研究では、高GI食品と比較して低GI食品を摂取することで、安静時・エクササイズ時ともに脂質酸化を促進し、糖質酸化を抑制すると報告している<sup>20~22)</sup>。これは、高GI食と比較して低GI食は血糖値やインスリンの急激な上昇を抑制し、それによって遊離脂肪酸酸化の増大、すなわち脂質代謝が亢進されるためだと考えられている。また、健常者及び肥満の参加者を対象にイソマルツロースを摂取させた実験においても、安静時・エクササイズ時いずれもスクロースを摂取させた場合よりも血糖値、血中インスリンレベルの急激な上昇を抑制し、それに伴ってCHOの抑制とFOの亢進が惹起されたことを報告している<sup>14,23)</sup>。さらに、肥満糖尿病モデルのラットにイソマルツロースを摂取させたところ、スクロースを摂取させたときと比べ血中脂質の異常が改善し<sup>24)</sup>、さらにPPAR $\alpha$ やPPAR $\gamma$ といった脂質代謝関連遺伝子の発現が増大したことを報告している<sup>25)</sup>。本研究では採血を行っていないものの、上述のように低GIのイソマルツロースは体内への消化吸收速度がスクロースよりも緩やかである点を考慮すると、その後の血糖値及びインスリンレベルの急激な上昇が抑えられたことで、糖質酸化の抑制・脂質酸化の亢進が惹起されたと考えられる。また、高GI食摂取後のFOの減少が肥満やインスリン抵抗性、さらには2型糖尿病の発症に影響を及ぼすことが知られている<sup>7)</sup>。研究は一過性の摂取による検討ではあったが、健常若年者においてもイソマルツロース摂取後の脂質酸化が促進されたという結果は、高血糖や高インスリン血症の予防という健康の維



持のためという観点においても、イソマルツロースの摂取が有益な効果をもたらす可能性があることを示唆している。

### 本研究の限界と今後の課題

本研究の結果を解釈する上で、いくつかの限界を考慮しなければならない。第一に、本研究は参加者数が15名と少なく、年齢層も限られ、性差についての詳細な検討も行っていない。それゆえ本研究の結果の一般化は慎重に行う必要がある。エクササイズと糖質摂取に関する研究については、多くが男性で行われており、女性の参加者で行った研究はほとんどない。これは、女性特有の月経周期の存在が大きく影響していると考えられる。先行研究では、女性と男性のエクササイズ時の糖代謝が異なると報告されているものもあるが、未だ議論が続けられている<sup>26-29)</sup>。本研究結果の妥当性を高めるためには、男性女性其々の参加者数を増やし、参加者の年齢層を広げる必要がある。さらに女性の月経周期に関してより慎重に調査を行い、月経周期の影響についても研究を進めていく必要がある。第二に、本研究で使用した糖質の量は市販されている加糖飲料よりも多い。本研究では、イソマルツロースの影響を調査するため、先行研究や糖負荷試験で用いられている量と同様の75gの糖質を参加者に摂取させた。実際の加糖飲料に含まれる糖質含有量は多くても60g前後である。日常生活で摂取する加糖飲料の影響を検討するという観点からすれば、今後は糖質の摂取量を減らして検討することも必要であると考えられる。第三に、エクササイズ中の代謝、とくにFOとCHOの比率はエクササイズの強度が無酸素性作業閾値の上か下かで大きく変わることが知られている<sup>30)</sup>。本研究ではおそらく無酸素性閾値を下回る最大酸素摂取量の50~60%の強度を設定したが、個人ごとに無酸素性作業閾値の測定は行っていない。また、摂取した糖質の

種類が無酸素性作業閾値そのものに影響を及ぼす可能性もある。それゆえ、エクササイズ強度との関係性も今後の研究の課題と言える。最後に、本研究ではイソマルツロース摂取の影響として、急激な血糖値上昇の抑制によると考えられる、その後の30分間のエクササイズ中の脂質酸化を促すという結果を示した。この結果は同時に早期の糖質の枯渇を抑えている可能性を示唆している。そうだとすると、より長時間のエクササイズを遂行したときのFOとCHOの比率にその効果が見られる可能性がある。すなわち、エクササイズ継続時間との関係性もまた、今後の重要な課題となるであろう。

### 結論

健常若年者において、エクササイズ前のイソマルツロース摂取が、エクササイズ前安静時のエネルギー消費量の増加、エクササイズ前及びエクササイズ中の脂質代謝を亢進させることが示唆された。この脂質代謝の亢進は健康の維持に有益な効果をもたらす可能性がある。さらに、過剰な糖質酸化を抑制することで、持続的エクササイズにおいて糖枯渇を遅延させる可能性があるため、今後はエクササイズの持続時間などを延ばした検討も必要であると考えられる。

### 謝辞

本研究の遂行にあたり、参加者としてご協力いただきました皆様に厚く御礼申し上げます。

### 参考文献

- 1) Kelley, D.E. Skeletal muscle fat oxidation: Timing and flexibility are everything. *J. Clin. Investig.* 2005, **115**, 1699-1702.
- 2) Shah, M.; Garg, A. High-fat and high-carbohydrate diets and energy balance. *Diabetes Care.* 1996, **19**, 1142-1152.
- 3) Matsuzawa, Y., Funahashi, T., Nakamura, T. The

- concept of metabolic syndrome: contribution of visceral fat accumulation and its molecular mechanism. *J Atheroscler Thromb.* 2011, **18**, 629-39.
- 4) 日本肥満学会. “メタボリックシンドローム”. 肥満症診療ガイドライン 2016. 東京都, ライフサイエンス出版, 2016, p. 71-77.
  - 5) Haskell, W. L., Lee, I. M., Pate, R. R., Powell, K. E., Blair, S. N., Franklin, B. A., Macera, C. A., Heath, G. W., Thompson, P. D., Bauman, A. Physical activity and public health: updated recommendation for adults from the American College of Sports Medicine and the American Heart Association. *Circulation.* 2007, **116**, 1081-1093, *Med. Sci. Sports Exerc.* 2007, **39**, 1423-1434.
  - 6) Jenkins, D. J., Wolever, T. M., Taylor, R. H., Barker, H., Fielden, H., Baldwin, J. M., Bowling, A. C., Newman, H. C., Jenkins, A. L., Goff, D. V. Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. *Am. J. Clin. Nutr.* 1981, **34**, 362-366.
  - 7) Jenkins, D. J., Kendall, C. W., Augustin, L. S., Franceschi, S., Hamidi, M., Marchie, A., Jenkins, A. L., Axelsen, M. Glycemic index: overview of implications in health and disease. *Am. J. Clin. Nutr.* 2002, **76**, 266S-273S.
  - 8) Foster-Powell, K., Holt, S. H., Brand-Miller, J. C. International table of glycemic index and glycemic load values: 2002. *Am. J. Clin. Nutr.* 2002, **76**, 5-56.
  - 9) Salmerón, J., Ascherio, A., Rimm, E. B., Colditz, G. A., Spiegelman, D., Jenkins, D. J., Stampfer, M. J., Wing, A. L., Willett, W. C. Dietary fiber, glycemic load, and risk of NIDDM in men. *Diabetes Care.* 1997, **20**, 545-550.
  - 10) Siddiqui, I. R., Furgala, B. Isolation and characterization of oligosaccharides from honey. Part 1. Disaccharides. *J. Apicult. Res.* 1967, **6**, 139-145.
  - 11) THE UNIVERSITY OF SYDNEY. Search for the glycemic index. <http://www.glycemicindex.com/index.php>
  - 12) Kawai, K., Yoshikawa, H., Murayama, Y., Okuda, Y., Yamashita, K. Usefulness of palatinose as a caloric sweetener for diabetic patients. *Horm. Metabol. Res.* 1989, **21**, 338-340.
  - 13) Brunner, S., Holub, I., Theis, S., Gostner, A., Melcher, R., Wolf, P., Amann-Gassner, U., Schepach, W., Hauner, H. Metabolic effects of replacing sucrose by isomaltulose in subjects with type 2 diabetes: a randomized double-blind trial. *Diabetes Care.* 2012, **35**, 1249-1251.
  - 14) König, D., Theis, S., Koziarowski, G., Berg, A. Postprandial substrate use in overweight subjects with the metabolic syndrome after isomaltulose ingestion. *Nutrition.* 2011, **28**, 651-656.
  - 15) 山地啓司. “VO<sub>2</sub>max の測定—直接法—” 最大酸素摂取量の科学 (初版), 東京, 杏林書院, 1992, p. 14-15.
  - 16) 糖尿病ネットワーク. 血糖値グラフ. [https://dm-net.co.jp/kanshoku-file/catagorydata/graph\\_list/](https://dm-net.co.jp/kanshoku-file/catagorydata/graph_list/). 2019-09-10.
  - 17) Van Zant RS. Influence of diet and exercise on energy expenditure a review. *Int J Sport Nutr.* 1992, **2**: 1-19.
  - 18) Goto, K., Ishii, N., Mizuno, A., Takamatsu, K. Enhancement of fat metabolism by repeated bouts of moderate endurance exercise. *J. Appl. Physiol.* 2007, **102**, 2158-2164.
  - 19) Pate, R. R., Pratt, M., Blair, S. N., Haskell, W. L., Macera, C. A., Bouchard, C., Buchner, D., Ettinger, W., Heath, G. W., King, A. C., Kriska, A., Leon, A. S., Marcus, B. H., Morris, J., Paffenbarger Jr, R. S., Patrick, K., Pollock, M. L., Rippe, J. M., Sallis, J., Wilmore, J. H. Physical activity and public health. A recommendation from the Centers for Disease Control and Prevention and the American College of Sports Medicine. *JAMA.* 1995, **273**, 402-407.
  - 20) DeMarco, H. M., Sucher, K. P., Cisar, C. J., Butterfield, G. E. Pre-exercise carbohydrate meals: application of glycemic index. *Med. Sci. Sports Exerc.* 1999, **31**, 164-170.
  - 21) Moore, L. J., Midgley, A. W., Thomas, G., Thurlow, S., McNaughton, L. R. The effects of low- and high-glycemic index meals on time trial performance. *Int. J. Sports Physiol. Perform.* 2009, **4**, 331-344.

- 22) Wong, S. H., Siu, P. M., Lok, A., Chen, Y. J., Morris, J., Lam, C. W. Effect of the glycaemic index of pre-exercise carbohydrate meals on running performance. *Eur. J. Sport Sci.* 2008, **8**, 23-33.
- 23) Arai, H., Mizuno, A., Sakuma, M., Fukaya, M., Matsuo, K., Muto, K., Sasaki, H., Matsuura, M., Okumura, H., Yamamoto, H., Taketani, Y., Doi, T., Takeda, E. Effect of palatinose based liquid diet (inslow) on glycemic control and the second meal effect in healthy men. *Metabolism.* 2007, **56**, 115-121.
- 24) Suzuki, M., Shindo, D., Goto, K., Ohno, Y., Miyasaka, K., Mizu, M. Effects of a palatinose-containing diet with exercise on progression of diabetic nephropathy and metabolic syndrome in obese-diabetic rats. *Eur. J. Sports Exerc. Sci.* 2017, **5**, 27-36.
- 25) Matsuo, K., Arai, H., Muto, K., Fukaya, M., Sato, T., Mizuno, A., Sakuma, M., Yamanaka-Okumura, H., Sasaki, H., Yamamoto, H., Taketani, Y., Doi, T., Takeda, E. The anti-obesity effect of the palatinose-based formula inslow is likely due to an increase in the hepatic PPAR- $\alpha$  and adipocyte PPAR- $\gamma$  gene expressions. *J. Clin. Biochem. Nutr.* 2007, **40**, 234-241.
- 26) Friedlander, A. L., Casazza, G. A., Horning, M. A., Huie, M. J., Piacentini, M. F., Trimmer, J. K., Brooks, G. A. Training-induced alterations of carbohydrate metabolism in women: women respond differently from men. *J. Appl. Physiol.* 1998, **85**, 1175-1186.
- 27) Jeukendrup, A. E., Wagenmakers, A. J., Stegen, J. H., Gijzen, A. P., Brouns, F., Saris, W. H. Carbohydrate ingestion can completely suppress endogenous glucose production during exercise. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 1999, **276**, 672-683.
- 28) McConell, G., Fabris, S., Proietto, J., Hargreaves, M. Effect of carbohydrate ingestion on glucose kinetics during exercise. *J. Appl. Physiol.* 1994, **77**, 1537-1541.
- 29) Campbell, S. E., Angus, D. J., Febbraio, M. A. Glucose kinetics and exercise performance during phases of the menstrual cycle: effect of glucose ingestion. *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.* 2001, **281**, 817-825.
- 30) Romijn, J. A., Coyle, E. F., Sidossis, L. S., Gastaldelli, A., Horowitz, J. F., Endert, E., Wolfe, R. R. Regulation of endogenous fat and carbohydrate metabolism in relation to exercise intensity and duration. *Am. J. Physiol.* 1993, **265**, E380-E391.

(おぬま なおこ 日本大学薬学部  
健康・スポーツ科学研究室)

(しんどう だいすけ 日本大学薬学部  
健康・スポーツ科学研究室)

(さかざき みき 三井製糖株式会社)

(ながい ゆきえ 三井製糖株式会社)

(やまなか けんたろう 生活機構学専攻 教授)

受理年月日 2019年9月30日

審査終了日 2019年11月27日