

パラチノース[®]の生理学的機能 ～消化吸収が緩やかであることから得られる機能～

奥野雅浩, 水 雅美, 永井幸枝

三井製糖株式会社 総合研究所

Physiological Functions of Palatinose[®] ～Functions Obtained by Slow Digestion～

Masahiro OKUNO, Masami MIZU, Yukie NAGAI

Research Laboratory, Mitsui sugar Co., Ltd.

(1-2-14 Honson, Chigasaki-shi, Kanagawa, 253-0042)

近年、欧米に限らず、わが国においても肥満や生活習慣病が増加している。特に最近では、内臓脂肪型肥満と高血糖、高血圧、高脂血症が一個人に複数集積する症状をメタボリックシンドロームと定義し、メタボリックシンドロームが循環器疾患や二型糖尿病の発症に関して重要なリスクファクターであることが報告され、社会的な関心を集めている。

メタボリックシンドロームに対する意識の高まりの中、「糖質ゼロ」を訴求する食品が市場で目立つようになってきている。厚生労働省による国民健康・栄養調査結果の食品群別摂取量によると、砂糖・甘味料類（加工食品を除く）の1人1日当たりの摂取量が、1975年（昭和50年）では14.6gであったのに対し、2008年（平成20年）では6.7gであり、砂糖・甘味料類の摂取量は年々減少の一途をたどっている。砂糖の摂取量が減少しているにもかかわらず一向に生活習慣病が減少しないことから、砂糖摂取は生活習慣病やメタボリックシンドローム増加の直接的な要因ではないと考えられ、むしろ、油脂類・動物性食品の摂取率が高い欧米型の食生活や、乗り物・機械の発達に伴う運動不足が深く関係していると考えられる。

一方、砂糖の摂取量を極端に多くした動物実験やヒト試験により、砂糖摂取が健康に悪影響を与えるのではないかと指摘する報告も存在する。それらの報告では、エネルギー摂取過多による悪影響だけではなく、砂糖の消化吸収が速いため、食後の高血糖や過度のインスリン分泌が問題にされる場合がある。もっとも、食後の血糖変化で考えた場合、砂糖摂取時よりもご飯やパンを摂取した場合の方が、より高血糖を引き起こすのであるが、中

にはこの事実に触れず砂糖だけが悪影響を与えるかのような報告も存在する。

本来、砂糖は脳のエネルギーになるだけではなく、食品を美味しくし、保存性を高め、保形性を維持する等の機能を有しており、現代人の豊かな生活に欠かせない重要な糖質である。このような背景のもと、我々は、国民に砂糖をもっと安心して摂取していただけるように促すことを目的に様々な視点で研究を進めている。本稿では、砂糖のような重要な機能を持ちながら、砂糖に比べ小腸での消化吸収速度が緩徐な糖質であるパラチノースについて、その生理学的機能を総括する。これらの機能は、砂糖とパラチノースを組み合わせることによっても得られるため、砂糖の積極的な摂取促進に繋がるものと考えられる。

1. パラチノースとは

パラチノース (6-O-D-glucopyranosyl-D-fructose) は、蜂蜜に含まれ、Fig. 1に示すように、グルコース1分子

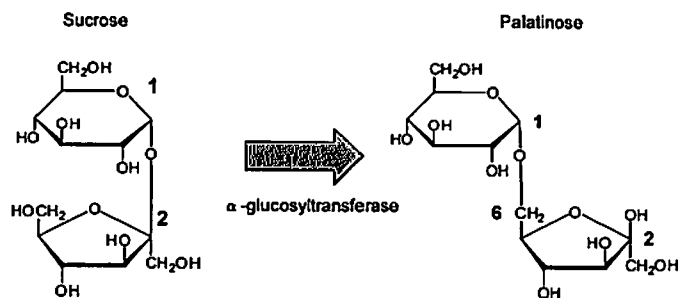


Fig. 1 Structural formula of palatinose

とフルクトース1分子から成る天然の二糖類であり、小腸で完全に消化吸収される4 kcal/gの糖質である⁽¹⁾。工業的には、砂糖を原料にして *Protaminobacter rubrum* CBS 574.77が生成する α -glucosyltransferase (sucrose isomerase)の固定化酵素に作用させ、結合位置を変換(砂糖は α -1,2結合、パラチノースは α -1,6結合)することで大量生産されている⁽²⁾。原料である砂糖は非還元糖であるが、パラチノースは還元糖である。パラチノースの甘味の強さは、砂糖の50%弱であるが、砂糖と同様の良質の甘味質を有し、さらに、非う蝕原性の糖質でもある⁽²⁾ため、わが国において、20年以上に渡って菓子類等の様々な食品に使用されており、食経験も十分な糖質である。また、虫歯の原因になりにくい食品として特定保健用食品の関与成分としても使用されている。

パラチノースは小腸に存在する α -グルコシダーゼの内、イソマルターゼによりグルコースとフルクトースに分解されて吸収される。パラチノースはイソマルターゼによる酵素反応が遅いため、砂糖と比較して小腸での消化吸収速度が約1/5と遅く、血糖値が急激に上昇・下降することが無く、しかも、小腸内で完全に消化吸収されるため、多量に摂取しても下痢や腹部膨満感を引き起こさない安全な糖質である^{(1),(3)~(5)}。また、パラチノースは砂糖やグルコースなどの他の糖質と混合した水溶液として摂取することにより、同時に摂取した他の糖による血糖値の上昇を抑制する、血糖値上昇抑制効果があることも報告されている⁽⁶⁾。血糖値上昇抑制効果のメカニズムとしては、小腸で砂糖やマルトース分解に働く α -グルコシダーゼの拮抗阻害⁽⁷⁾、小腸でのグルコースの吸収阻害が報告されている⁽⁸⁾。

2. メタボリックシンドロームのリスク要因に対する効果

インスリン抵抗性、糖尿病、および高血圧の主要因である肥満は、欧米やアジアの国々で増加しており、その原因の一つとして炭水化物の摂取が挙げられている^{(9),(10)}。Jenkinsら⁽¹¹⁾により、炭水化物摂取後の血糖へのなりやすさを示すグリセミックインデックス (GI) が提唱されて以来、食品のGIが健康に与える影響については、ヘルスケアに係わる専門家だけではなく一般消費者にとっても関心が高いものとなっている。高GI食は、低GI食に比べ、肥満を引き起こすリスクが高く、さらに、低GI食は、糖尿病患者に限らず健常者においても、血糖コントロールや血中脂質組成を改善することが報告されている^{(12)~(14)}。

パラチノースは、前述の通り小腸での消化吸収が緩やかであるため、血糖値が急激に上昇・下降せず、シドニー大学による研究ではGIは32と計算されており、低GIな糖質である。また、パラチノースは砂糖やグルコースなどの他の糖質と混合した場合に血糖値上昇抑制効果があるため、他の糖質を含む食事全体のGIを下げることも可能である。

肥満の中でも、内臓脂肪型肥満がインスリン抵抗性に大きく係わっており、内臓脂肪を過度に蓄積しないことが健康上重要である。ラット及びマウスを用いた動物実験では、パラチノースを含む飼料を長期摂取させた際に、腹部内臓脂肪の蓄積が起こりにくく、インスリン感受性が改善することが報告されている^{(15),(16)}。

これらの背景を元に、我々はパラチノースを長期摂取した際のメタボリックシンドロームのリスクファクターに与える影響について試験したので以下に紹介する。

2-1. 日系ブラジル人の肥満者を対象とした試験

砂糖摂取量の多い日系ブラジル人の肥満者を対象に、日常の砂糖の代わりにパラチノース配合糖(パラチノース配合割合90%)を摂取した場合の生活習慣病発病リスク低減の効果が報告されている⁽¹⁷⁾。この試験は、被験者を砂糖群(11名)とパラチノース配合糖群(7名)の2群に無作為に分け、二重盲検での4ヶ月間の連続摂取試験であり、糖の摂取量は45 g/日であった。介入前後における腹部CT検査による内臓脂肪面積の変化を調べたところ、砂糖群では変化が無かったのに対し、パラチノース配合糖群では有意な減少が確認された(Fig. 2)。さらに、血圧に関しても、砂糖群では有意な変化が無かつ

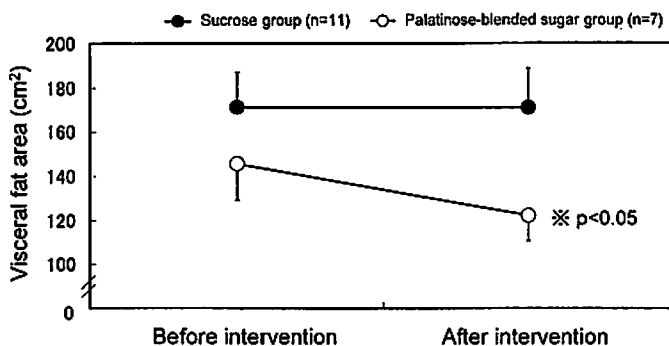


Fig. 2 Changes in visceral fat area after 4-month intervention in obese Japanese Brazilian. Values are mean \pm SE; Sucrose group, 45 g/day of sucrose; Palatinose-blended sugar group, 45 g/day of sugar substitute which is a mixture of 90% palatinose and 10% sucrose; *p-values indicate statistical comparison between before and after intervention (paired t-test).

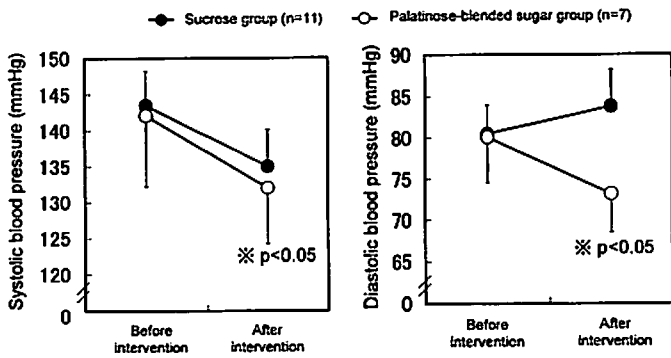


Fig. 3 Changes in blood pressure after 4-month intervention in obese Japanese Brazilian. Values are mean ± SE; Sucrose group, 45 g/day of sucrose; Palatinose-blended sugar group, 45 g/day of sugar substitute which is a mixture of 90 % palatinose and 10 % sucrose; *p-values indicate statistical comparison between before and after intervention (paired t-test).

たのに対し、パラチノース配合糖群では有意に低下した (Fig. 3)。

2-2. 日本人の肥満者を対象にした試験

我々は、メタボリックシンドロームが疑われる日本人被験者を対象に、日常の砂糖の代わりにパラチノース配合糖 (パラチノース配合割合 49 %) を摂取した場合の生活習慣病発病リスク低減の効果を報告した⁽¹⁸⁾。この試験は、被験者を砂糖群 (27 名) とパラチノース配合糖群 (29 名) の 2 群に無作為に分け、二重盲検での 3ヶ月間の連続摂取試験であり、糖の摂取量は 15 g/日で

あった。介入前後における腹部 CT 検査による内臓脂肪面積の変化を調べたところ、砂糖群全体およびパラチノース配合糖群全体での解析では、両群とも試験開始時 (0 週) に比べて有意な変化は認められなかったが、試験開始時に内臓脂肪の比較的少ない被験者 (試験開始前の内臓脂肪面積 120 cm² 未満) と、内臓脂肪の比較的多い被験者 (試験開始前の内臓脂肪面積 120 cm² 以上) の層別解析にて評価したところ、内臓脂肪の比較的少ない被験者において、砂糖群でのみ統計学的に有意に増加し、変化量に有意な群間差が見られた (Fig. 4)。

2-3. 日本人の健常者を対象にした試験

普段からデザート等で砂糖を摂取し、最近おなかの周りが気になり始めた 40 歳以上の健常成人を対象として、二重盲検比較検討法にて、パラチノースのメタボリックシンドローム予防効果を確認した⁽¹⁹⁾。砂糖あるいはパラチノース配合糖 (パラチノース配合割合 50 %) を使用し、試験食はデザートとしてゼリー (内容量 50 g, 砂糖あるいはパラチノース配合糖含量 20 g) とジュース (内容量 250 mL, 砂糖あるいはパラチノース配合糖含量 20 g)、普段コーヒーや紅茶等の嗜好飲料に使えるようにスティックシュガー (1 本あたりの砂糖あるいはパラチノース配合糖含量 4 g) を用意し、砂糖群と、パラチノース配合糖群に 21 名ずつに分かれて試験食を 12 週間毎日摂取してもらった。試験食を自由に組み合わせ、砂糖あるいはパラチノース配合糖を 40 g/日摂取す

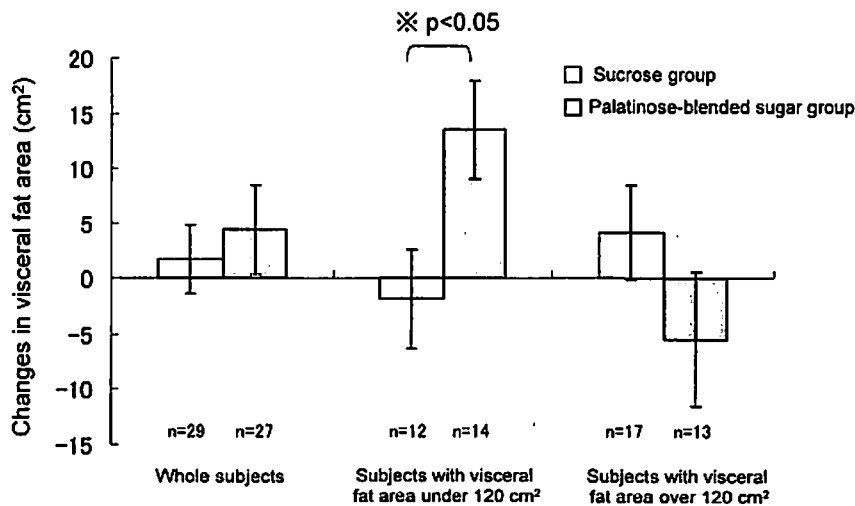


Fig. 4 Changes in visceral fat area after 3-month intervention in obese Japanese. Values are mean ± SE; Sucrose group, 15 g/day of sucrose; Palatinose-blended sugar group, 15 g/day of sugar substitute which is a mixture of 50 % palatinose and 50 % sucrose; *p-values indicate statistical comparison between sucrose group and palatinose-blended sugar group (unpaired t-test).

Table 1 Changes in anthropometric data, blood data, and blood pressure in S and PS groups after 3-month intervention

	S group (n=25)		PS group (n=25)		p-value [†] between the two groups
	Changes	p-value*	Changes	p-value*	
Body weight (kg)	- 0.30 ± 1.7	0.387	- 0.36 ± 1.2	0.133	0.885
BMI (m/kg ²)	- 0.08 ± 0.7	0.552	- 0.12 ± 0.5	0.250	0.841
Fasting glucose (mg/ml)	- 1.28 ± 6.5	0.335	- 4.92 ± 6.2	< 0.001	0.049
Fasting insulin (μUI/ml)	0.17 ± 2.0	0.671	- 1.56 ± 2.2	0.002	0.005
Total cholesterol (mg/dl)	8.60 ± 19	0.032	0.12 ± 20	0.977	0.133
HDL cholesterol (mg/dl)	0.88 ± 7.2	0.545	- 1.12 ± 7.7	0.473	0.346
LDL cholesterol (mg/dl)	4.94 ± 13	0.072	3.22 ± 18	0.385	0.701
TG (mg/dl)	13.9 ± 49	0.169	- 9.89 ± 38	0.203	0.060
HbA _{1c} (%)	0.05 ± 0.1	0.049	0.06 ± 0.1	0.013	0.799
Systolic blood pressure (mmHg)	5.04 ± 9.7	0.016	- 1.76 ± 13	0.490	0.037
Diastolic blood pressure (mmHg)	1.84 ± 6.8	0.188	- 0.68 ± 8.8	0.703	0.263
Subcutaneous fat area (cm ²)	0.86 ± 25	0.864	0.83 ± 14	0.773	0.995
Visceral fat area (cm ²)	7.65 ± 17	0.037	1.33 ± 13	0.608	0.148
Leptin (ng/ml)	1.08 ± 1.9	0.008	- 0.35 ± 2.2	0.439	0.018

All values are mean ± SD; BMI, body mass index; HDL, high-density lipoprotein; LDL, low-density lipoprotein; TG, triacylglycerides; PS group, 40 g/day of sugar substitute which is a mixture of 50 % palatinose and 50 % sucrose; S group, 40 g/day of sucrose; *p-values indicate statistical comparison between baseline and endpoint (paired t-test); †p-values indicate statistical comparison between the two groups (unpaired t-test).

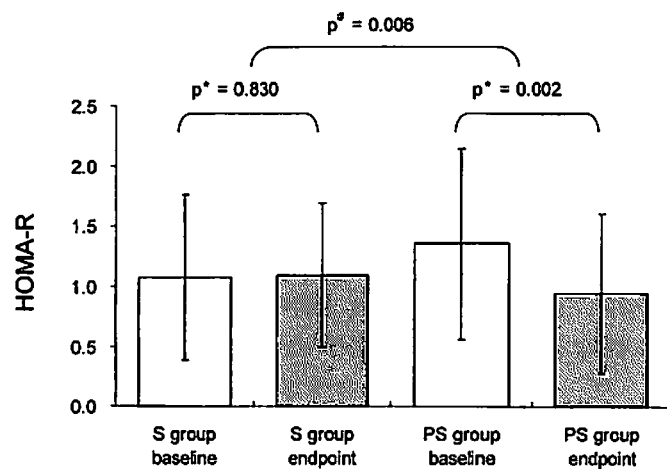


Fig. 5 Changes in HOMA-R after 3-month intervention. Values are mean ± SD; HOMA-IR, homeostatic model assessment index. PS group, 40 g/day of sugar substitute which is a mixture of 50 % palatinose and 50 % sucrose; S group, 40 g/day of sucrose; *p-values indicate statistical comparison between baseline and endpoint (paired t-test); †p-values indicate statistical comparison between the two groups (unpaired t-test).

るように設定した。

介入前後の体重, 血液データ, 血圧, 体脂肪等の変化を Table 1 に示した。空腹時血糖, 空腹時血中インスリン濃度, 収縮期血圧, および血中レプチン濃度において群間で有意差が見られ, パラチノース配合糖群でこれらの項目が改善していた。空腹時血糖と空腹時血中インスリン濃度から計算される, インスリン抵抗性の指標である HOMA-R は, 砂糖群では変化が無かったが, パラチ

ノース配合糖群では有意に低くなり, 群間で有意差が見られた (Fig. 5)。

2-4. まとめ

内臓脂肪蓄積抑制あるいはインスリン感受性改善に効果が見られた前述 2-1 項~2-3 項で紹介した長期摂取試験におけるパラチノースの摂取量は, 2-1 項では約 40 g/日, 2-2 項では 7.35 g/日, 2-3 項では約 20 g/日であった。2-2 項の試験では, 試験開始前の内臓脂肪面積 120 cm² 未満の層別解析においてのみ効果が見られたが, その理由として摂取量が少なかったことが考えられる。2-1 項の試験では, 試験開始前の内臓脂肪面積の平均値が約 145 cm² の被験者において内臓脂肪の減少が見られたことから, 摂取量を多くすると内臓脂肪の多い人でも効果があると考えられる。動物実験においても, パラチノースを摂取すると, 砂糖摂取の場合に比べ内臓脂肪が蓄積しにくく, そのパラチノースの摂取量が多いほどその内臓脂肪蓄積抑制効果が高いとの成績が報告されている⁽⁸⁾。

内臓脂肪が気になり始めたメタボリックシンドローム予備群のヒトでは, 7.35 g/日という現状の砂糖・甘味料類摂取量と同程度の摂取量で内臓脂肪蓄積抑制効果が得られる。一方, 2-3 項の試験のように, 砂糖・甘味料の一部をパラチノースに置き換えた加工食品を利用することで, より多くのパラチノースを摂取出来, 内臓脂肪が多く蓄積したヒトに対しても内臓脂肪蓄積抑制効果が期待できると思われる。

農林水産省が報告している平成19年度食料需給表によると、加工食品中の砂糖も含めると砂糖類として1人1日当たり54.1gの砂糖を消費している。この摂取量の範囲で、パラチノースを配合した食品を摂取することで、エネルギー過多を引き起こさず、メタボリックシンドロームの予防が出来ると考えられる。また、レプチンは摂食抑制作用を持つホルモンとして知られているが、肥満者では体重や体脂肪と比例して血中レプチン濃度は上昇しており、レプチンの作用に対する抵抗性が想定されている⁽²⁰⁾。2-3項で示した健常者の長期摂取試験において、パラチノース配合糖摂取群で血中レプチン濃度が高くなかったことは、レプチン抵抗性に対する予防になることも示唆しており、肥満になりにくい体質になるという可能性も示唆される。

3. 満腹感に対する効果

肥満と生活習慣病の関係が明らかとなり、メタボリックシンドロームに対する意識の高まりの中、様々なダイエットが流行している。そのような背景のもと、「糖質ゼロ」を訴求する食品が市場で目立つようになっている。「糖質ゼロ」を訴求する食品の多くは、エネルギーの無い甘味料が使用されている。しかしながら、本来甘味はエネルギーのある糖質の味であり、生物の生存にとって糖質が重要であるからこそ美味しいと感じるように進化したはずである。事実、甘味を感じるだけで少量のインスリン分泌が起こる頭相反応が知られており⁽²¹⁾、また、近年、高甘味度甘味料の摂取で、逆に肥満を引き起こす現象が報告された⁽²²⁾。これらのことから、甘味を感じるだけで、生体はエネルギーを取り込む準備をするが、甘味があってエネルギーの無い食品を食べ続けることによって、エネルギーと満腹感のバランスが崩れるのではないかと考えられる。

一方、消費者調査によると、ダイエット最大の敵は「飢え」であり、今後のダイエットのトレンドは「空腹感のコントロール」であるとされている。満腹感を高める素材は今後ますます注目されることが予想される。また、近年、低炭水化物ダイエットは憂鬱になり、精神面に影響するとの報告⁽²³⁾もあり、ダイエット時の糖質の摂取量にも関心が高まっている。

従来、パラチノースはゆっくり消化吸収されるため、他の糖質に比べ血糖のやや高い状態が維持されることから、満腹感が持続すると言われてきたが、これまで科学的なデータが無かった。そこで、感覚的な満腹感をVAS

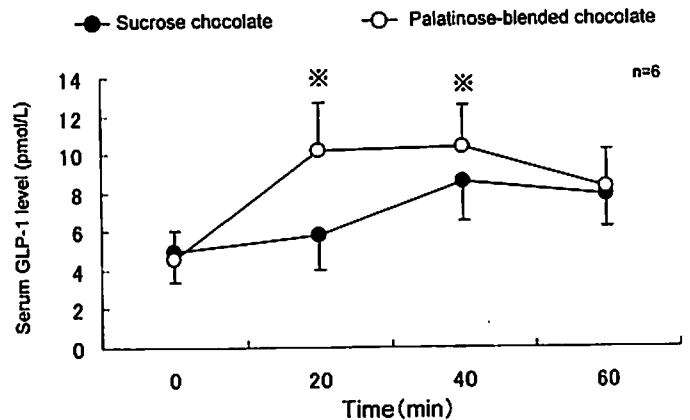


Fig. 6 Changes in serum GLP-1 concentration when taking chocolate. Values are mean ± SE; *p < 0.05 vs Sucrose chocolate (paired t-test).

(Visual Analogue Scale) 法により評価すると共に、満腹感を感じさせるホルモンの一つである GLP-1 の血中濃度変化を分析した結果を以下に紹介する。

3-1. パラチノースを配合したチョコレートでの試験

健常成人6名を被験者とし、パラチノース配合チョコレート(パラチノース摂取量10g)あるいは砂糖チョコレート(パラチノースを全て砂糖に置換)を二重盲検・クロスオーバー法にて摂取してもらい、経時的に採血を実施し、血糖値、インスリン値、GLP-1値等を測定した⁽²⁴⁾。また、満腹感については、健常成人10名を被験者とし、パラチノース配合チョコレートあるいは砂糖チョコレートを二重盲検・クロスオーバー法にて摂取してもらい、VASにより評価した。その結果、パラチノース配合チョコレート摂取後のGLP-1分泌量が砂糖チョコレートに比べて有意に多く(Fig. 6)、満腹感についてはパラチノース配合チョコレートで有意に持続しており、摂取3.5時間後において有意に高いことが確認された(Fig. 7)。

3-2. パラチノース単独での試験

健常成人7名を被験者とし、パラチノース5gあるいは砂糖5gを二重盲検・クロスオーバー法にて摂取してもらい、VASにより満腹感に与える影響を比較した。その結果、摂取90分後と摂取120分後において、パラチノース摂取時の方が満腹感を有意に高めることが分かった(Fig. 8)。

3-3. まとめ

上記の結果は、パラチノースを5g以上配合すること

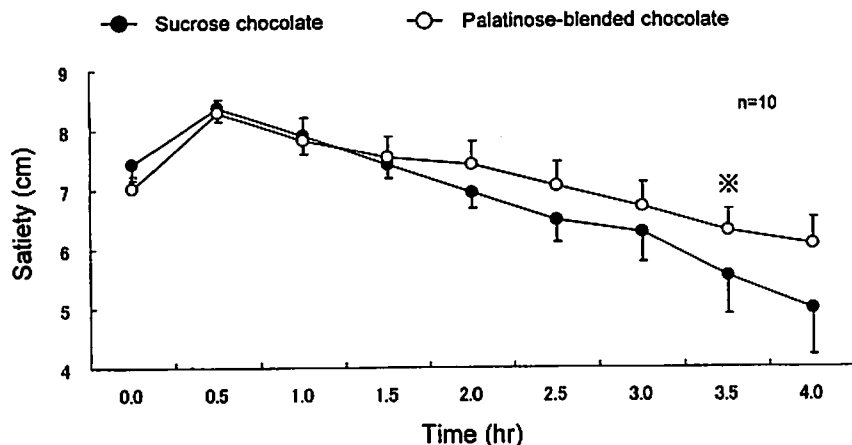


Fig. 7 Changes in satiety when taking chocolate. Values are mean \pm SE; Sucrose chocolate, chocolate containing 19.1 g of sucrose; Palatinose-blended chocolate, chocolate containing 10 g of palatinose and 9 g of sucrose; ** $p < 0.05$ vs Sucrose chocolate (paired t-test).

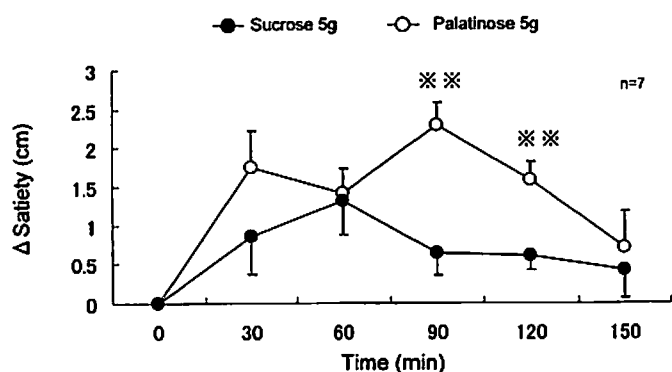


Fig. 8 Changes in satiety when taking 5 g of sucrose or palatinose. Values are mean \pm SE; ** $p < 0.01$ vs Sucrose chocolate (paired t-test).

により、満腹感が持続する食品を設計することが可能であることを示唆している。パラチノースを配合した食品を摂取することで、満腹感が持続するため、結果として日々の総摂取エネルギーを減少させることが出来る可能性もある。満腹感の持続は、エネルギーの無い甘味料では得られない機能である。ダイエットの最大の敵である「飢え」に対応するためにも、パラチノースを食生活に上手に取り入れることが望まれる。

4. 特定保健指導への応用として

2008年4月から、40歳~74歳を対象として内臓脂肪型肥満に着目した検査項目での健康診査である「特定健康診査(特定健診)」が始まった。その診査により、健康の保持に努める必要があると診断された者に対し、動機付け支援・積極的支援をすることを「特定保健指導」

という。厚生労働省はメタボリックシンドローム予防・改善には、運動を第一に掲げ、特定保健指導でも食生活指導とともに運動指導が行われている⁽²⁰⁾。しかしながら、2008年(平成20年)の国民健康・栄養調査結果では、運動習慣のある人は国民の3割程度と少なく、運動習慣をもつよう促すことが重要である。

従来、所謂スポーツ食品や飲料は、競技者(アスリート)向けの持久力やパフォーマンスを高めるものが中心であった。近年、アンチエイジングや健康維持、生活習慣病予防のため運動に関心を持つ一般人、特に中高齢者の増加に伴い、これらの人々に向けた運動効果が高まるようにサポートする食品にも注目が集まり、商品開発が活発である。特に運動による脂肪燃焼量を高めるスポーツ食品や飲料は特定保健指導の実施により、今後ますます関心が高くなっていくと思われる。運動後はグリコーゲンの枯渇や疲労、筋繊維の損傷が起きており、いち早く回復させるためには、エネルギー補給、特に糖質の補給が必要である。筋繊維回復にはタンパク質やアミノ酸摂取が良く知られているが、アミノ酸の細胞取り込みにもインスリンが作用するため、タンパク質やアミノ酸と同時に糖質を摂取することで効率良く筋繊維が回復するのである。運動直後から2時間以内にタンパク質(アミノ酸)と糖質を摂取することにより、グリコーゲンや筋繊維は効率良く回復することが報告されている^{(25),(26)}。一方、脂肪燃焼には、インスリンが大きく係わっており、血中インスリン濃度が高いと脂肪燃焼が妨げられることがわかっている。前述の通り、パラチノースは、小腸でゆっくり消化吸収されるため、インスリンの急激な分泌が起こらないため、運動後に摂取しても脂肪燃焼が維持

される可能性がある。つまり、パラチノースを摂取することで脂肪燃焼を維持しながら疲労回復が期待できるのである。

このような背景のもと、我々は、食事制限による減量を伴う特定保健指導時にパラチノースを摂取することがメタボリックシンドロームの改善に有効であるかを確認するため、メタボリックシンドロームあるいはその疑いのある成人男性を対象に長期摂取試験⁽²⁷⁾を行った。また、脂肪燃焼を目的とした有酸素運動の直後に摂取する糖質の違いが、脂肪燃焼量に与える影響に関する試験を行ったので以下に紹介する。

4-1. 食事指導への応用

メタボリックシンドロームが疑われるへそ周り 85 cm 以上の成人男性 (16 名, 平均年齢 41.5 歳) に, 特定健診の一環としてクッキーテスト⁽²⁸⁾を施行し, 耐糖能異常, 食後高脂血症, インスリン抵抗性等を検出した上で, 動機付けを行い, 食事・生活習慣の指導を行った。クッキーテスト時に, 20 g の砂糖あるいはパラチノースを同時に摂取してもらい, 血糖・インスリン・GLP-1 等に与える影響を二重盲検・クロスオーバー試験にて比較した。さらに, 被験者を 2 群に分け, 食事時に 10 g の砂糖あるいはパラチノースを 2 回/日以上, 3~4 ヶ月間摂取させた。長期摂取期間中は, 管理栄養士と週 1 回情報交換を行って, 食事・生活習慣の指導と支援を行った。長期摂取後に, 血中アディポネクチン, γ -GTP, 筋肉量等を測定した。

パラチノースを同時摂取した場合のクッキーテスト時の GLP-1 分泌量は, 砂糖を同時摂取した場合のクッキーテスト時に比べ有意に多くなった (Fig. 9)。また, 長期

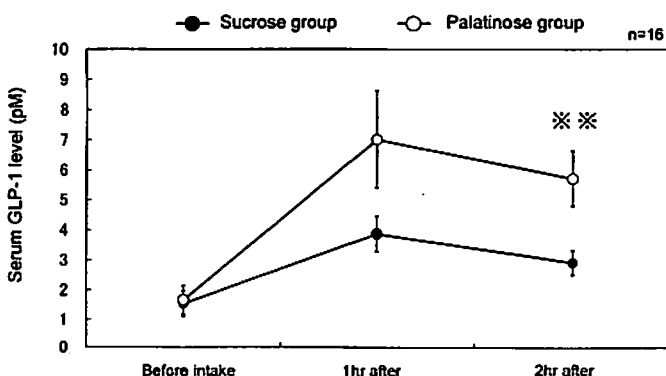


Fig. 9 Changes in serum GLP-1 concentration when taking sucrose or palatinose with cookie test. Values are mean \pm SE; Sucrose group, taking 20 g of sucrose with cookie test; Palatinose group, taking 20 g of palatinose with cookie test; ^{**}p < 0.01 vs Sucrose group (paired t-test).

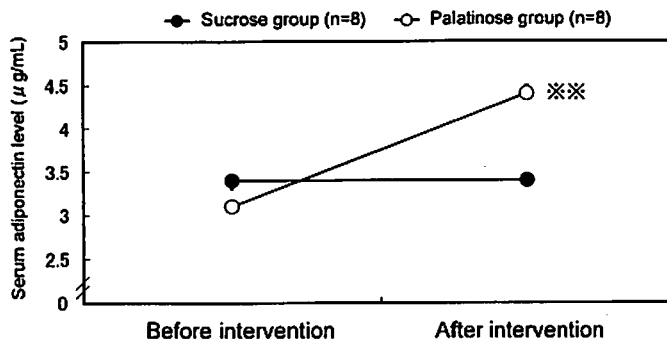


Fig. 10 Changes in serum adiponectin levels after 3 or 4-month intervention. Values are mean \pm SE; Sucrose group, taking 20 g/day of sucrose; Palatinose group, taking 20 g/day of palatinose; ^{**}p < 0.01 vs before intervention (paired t-test).

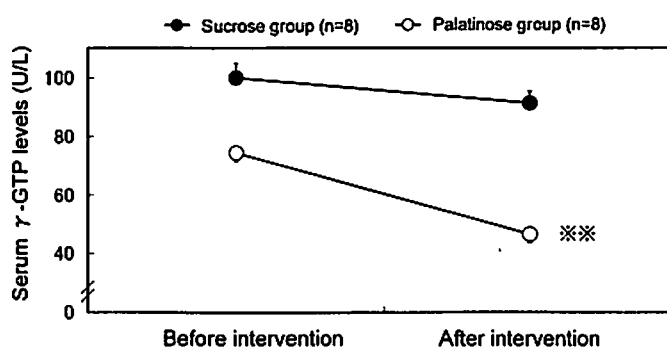


Fig. 11 Changes in serum γ -GTP levels after 3 or 4-month intervention. Values are mean \pm SE; Sucrose group, taking 20 g/day of sucrose; Palatinose group, taking 20 g/day of palatinose; ^{**}p < 0.01 vs before intervention (paired t-test).

摂取後には, 砂糖群, パラチノース摂取群共に有意な体重減少, へそ周りの減少が見られ, それらに群間差は無かったが, パラチノース摂取群でのみ, 血中アディポネクチンの有意な増加 (Fig. 10), γ -GTP の有意な減少が見られた (Fig. 11)。

4-2. 運動後の脂肪燃焼に与える影響

BMI 25 以上で, 運動習慣の無い男性をボランティアとし, 最大酸素摂取量の 50 % 強度の有酸素運動を 60 分間実施した。その運動直後に, パラチノースあるいは果糖ぶどう糖液糖を含む飲料を摂取 (摂取量は, 1 g/体重 kg) してもらい, 血液検査と呼気ガス試験により脂肪燃焼量等を評価した⁽²⁹⁾。

呼気ガスから計算された脂質酸化率は, 果糖ぶどう糖液糖摂取の場合急激に減少したのに対し, パラチノース摂取の場合は減少が緩やかであった (Fig. 12)。運動後には, 疲労回復のため糖質摂取が望ましく, また, 筋肉中のグリコーゲンを効率的に補充するには運動直後に糖

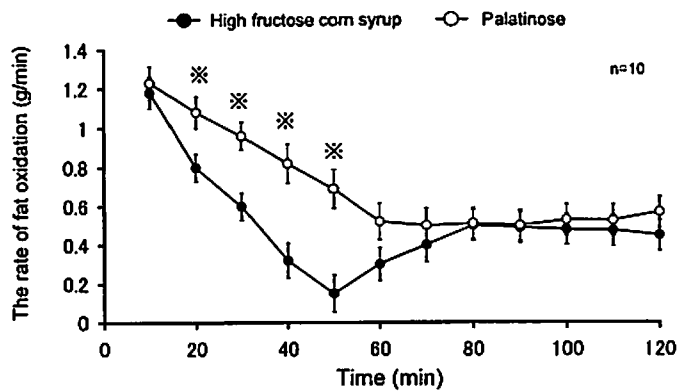


Fig. 12 Changes in the rate of fat oxidation when taking high fructose corn syrup or palatinose after prolonged exercise. Values are mean \pm SE; * $p < 0.05$ vs high fructose corn syrup (ANOVA and Tukey Post-hoc test).

質を摂取する方が良いといわれている。運動直後にパラチノース入りの飲料を摂取することで、脂肪燃焼を妨げず、糖質の補給も可能となる。

4-3. まとめ

上記の結果は、特定保健指導の食事指導にパラチノースを取り入れることで、より効果的にメタボリックシンドロームのリスク要因を改善できることを示唆している。また、減量を目的とした運動をする際、効率的に脂肪燃焼効果を得ながらも次の日に疲労を残さないためには、運動直後にパラチノースを摂取することが効果的であることも示唆される。特定保健指導における運動指導時にパラチノースを取り入れることで、結果として運動が楽しくなり、運動習慣化をサポートすることが出来ると思われる。このように、パラチノースは、メタボリックシンドローム予防・改善のため運動と食生活の両面で貢献できるものであり、様々な用途の食品へのパラチノースの利用が期待される。

5. 生理機能を発揮するメカニズム

前述の通り、パラチノースは小腸内にてゆっくり消化吸収される。更に、パラチノースは、砂糖やグルコースと同時に摂取した場合に、これらの糖による血糖値の上昇を抑制する効果を有することが報告されている。これらのことから、パラチノースを含む食品を摂取することによって、食後高血糖が抑えられ、結果としてインスリンの分泌刺激性が低くなる。

パラチノースを含む食事を摂取することにより、インスリンの分泌刺激性が低いため、脂肪組織のリポプロテ

インリパーゼ活性が常に低めに維持され、同時に摂取した脂肪を脂肪組織中に取りこみにくいと考えられる⁽³⁰⁾。また、動物実験でのパラチノース配合流動食をモデルとした飼料の長期摂取試験にて、すい臓のランゲルハンス島の肥大が抑制されることや、肝臓におけるPPAR- α の活性化および脂肪組織におけるPPAR- γ の活性化が報告されている⁽³¹⁾。更に、同じ動物実験にて、肝臓と脂肪組織におけるUCP-2の活性化が報告されている。以上のことが本稿で紹介したようにパラチノース摂取で内臓脂肪蓄積が抑制された理由であると考えられる。

前述の通り、パラチノース摂取により砂糖と比較するとGLP-1分泌が促進される。GLP-1は、グルコース濃度依存性インスリン分泌促進、すい臓ランゲルハンス島 β 細胞増殖作用、グルカゴン分泌抑制、胃排泄能抑制、中枢性食欲抑制作用、血圧低下作用、減量作用等が報告されており、近年非常に注目されているホルモンである。パラチノースの長期摂取試験において、血圧低下、インスリン感受性改善といった効果が明らかになっているが、パラチノース摂取によるGLP-1分泌促進が、これらの効果に寄与した可能性がある。GLP-1は小腸下部に多く存在するL細胞から分泌される。パラチノース摂取時にGLP-1分泌量が多くなる原因は、消化吸収が遅いため小腸の上部で全てが吸収されず、小腸の下部まで届くことでL細胞を多く刺激するためであると考えられる。

感覚的な満腹感が高いことには、ゆっくり吸収されることで血糖値が維持されることとGLP-1分泌量が多いことが原因であると考えられる。しかし、欧米における試験において、パラチノース摂取後は、砂糖摂取後に比べ、摂取後3時間後において、空腹感を感じさせるホルモンであるグレリンを多く分泌させないことが報告されており⁽³²⁾、パラチノース摂取時に感覚的な満腹感が高い理由として、血糖の持続的な供給とGLP-1分泌促進だけではなく、他のホルモンも関与している可能性がある。

6. 商品開発について

パラチノースは砂糖に比べて溶解度が低く、甘味の強さが砂糖の約50%であり、また、還元基を持つため加熱時に着色反応が起こりやすい性質を持つ⁽³³⁾。そのため、調理加工をする際、パラチノース単独では砂糖の代わりに使用しにくい面がある。そこで、三井製糖は、家庭での料理や菓子作りに砂糖と同様に使えるように味と

加工特性を改良した、上白糖タイプのパラチノース配合砂糖加工食品である「スローカロリーシュガー」を開発した。スローカロリーシュガーはパラチノースと砂糖を1:1で配合し、2%程度の果糖ぶどう糖液糖を添加することで上白糖様のしっとり感を付与したものである。このスローカロリーシュガーを用いて調理したかぼちゃの煮物やマドレーヌは、通常の砂糖を用いて調理したものに比べ食後の血糖上昇度が低いことも報告されている⁽³⁴⁾。スローカロリーシュガーを日常の調理に砂糖と全く同じように使用した場合、砂糖に比べやや低甘味であるものの、素材の味が引き立つとの評価もあり⁽³⁴⁾、スッキリした美味しさが得られる。近年の低甘味嗜好にも適した商品であると考えられる。

食品の安全性・保存性を考えた場合、加工食品の原料としては出来るだけ精製度が高いことが望まれる。一般的に、糖質に関しては、精製度を高めることで消化吸収速度が速くなる。パラチノースは、加工食品の原料としての安全性・保存性を備えた精製された二糖類でありながら、ゆっくり消化吸収され、食後高血糖を引き起こしにくい。そのため、エネルギーや栄養補給を目的とした流動食や介護食の分野でパラチノースが配合されている商品が多く発売されている。一般市場においても、パラチノースは既に乳酸菌飲料やガム等で、虫歯の原因になりやすい糖質として配合されている。また、満腹感をコンセプトにした商品や、運動による脂肪燃焼をサポートすることをコンセプトとした商品も市場に出始めている。味や加工特性の優れた砂糖と、パラチノースを組み合わせることで、本稿で述べたような生理機能が期待されるため、美味しさを犠牲にせず機能を持った食品を設計することが可能である。今後、更に本稿で述べたような機能を元にした食品が開発されることを期待したい。

7. おわりに

パラチノースをきっかけに研究を続けていく中で、我々は、糖質が健康に与える影響を、エネルギーの量のみで評価するのではなく、エネルギーの質、特に小腸での消化吸収速度に注目して評価することが必要であるという考えに至った。GIは、糖質の質を示す指標の一つである。しかしながら、近年、フルクトースは食後の高血糖を引き起こさない低GIな糖質であるにもかかわらず、摂取により血中中性脂肪濃度が高まり、生活習慣病の要因の一つであるインスリン抵抗性を引き起こすことが報告されており、そのメカニズムに関する研究が進ん

でいる⁽³⁵⁾。一方、パラチノースは小腸で α -グルコシダーゼの作用を受け、グルコースとフルクトースとして吸収されるため、パラチノースを摂取した場合にも体内ではグルコースとフルクトースとして代謝されるが、パラチノースを摂取した場合には本稿で述べたように逆にインスリン感受性を高める効果が見られた。パラチノースとフルクトースの大きな違いは、小腸での吸収速度にある。フルクトースは、特に大量に摂取した場合に小腸からの吸収速度が速くなりすぎ、肝臓での脂肪合成を引き起こしてしまう。しかしながら、パラチノースの場合は大量に摂取したとしても小腸での消化吸収速度が緩やかであるため、分解後に生成するフルクトースが肝臓に流入する速度が緩やかであると考えられる。その結果、パラチノースを摂取してもインスリン抵抗性を引き起こすことが無かったと考えられる。このことから、我々は、食後血糖の上がりやすさだけを考えるGIではなく、小腸での吸収速度に注目し、生体へ及ぼす影響を考慮する必要があると考えている。いずれにせよ、糖質摂取が生体に及ぼす影響は、その糖質の種類だけではなく摂取量によって大きく変わるため、それぞれの糖質の特徴を考え、目的に応じた最適な摂取量を今後更に研究していく必要があるだろう。

- (1) B. A. R. Lina, et al: Food Chem. Toxicol., **40**, 1375~1381 (2002)
- (2) 中島良和: 澱粉科学, **35**, 131~139 (1988)
- (3) Y. Tsuji, et al: J. Nutr. Sci. Vitaminol., **35**, 93-100 (1986)
- (4) K. Kawai, et al: Horm. Metabol. Res., **21**, 338~340 (1989)
- (5) A. Dahlqvist, et al: J. Clin. Invest., **42**, 556~563 (1963)
- (6) 樫村淳, 他: 精糖技術研究会誌, **51**, 19~25 (2003)
- (7) J. Kashimura et al: J. Agric. Food Chem., **56**, 5892~5895 (2008)
- (8) J. Kashimura, et al: J. Nutr. Sci. Vitaminol., **53**, 87~89 (2007)
- (9) D.R.M. Van, et al: Eur. J. Clin. Nutr., **61**, S75~S99 (2007)
- (10) W.H. Saris: Am. J. Clin. Nutr., **78**, 850S~857S (2003)
- (11) D.J. Jenkins, et al: Am. J. Clin. Nutr., **34**, 362~366 (1981)
- (12) D.J. Jenkins, et al: Am. J. Clin. Nutr., **76**, 266 S~273 S (2002)
- (13) J. Salmeron, et al: Diabetes Care, **20**, 545~550 (1997)
- (14) J.C. Brand-Miller, et al: Am. J. Clin. Nutr., **76**, 281 S~285 S (2002)
- (15) H. Arai, et al: Metabolism, **53**, 977~983 (2004)
- (16) J. Kashimura, et al: Food Sci. Technol. Res., **13**, 81~84 (2007).
- (17) Y. Yamori, et al: Clin. Exp. Pharmacol. Physiol., **34**, S5~S7 (2007)

- (18) 関東繁, 他: 健康・栄養食品研究, **11**, 19~32 (2008)
- (19) M. Okuno, et al: *Int. J. Food Sci. Nutr.*, in press.
- (20) 門脇孝, 他: メタボリックシンドロームリスク管理のための健診・保健指導ガイドライン, 南山堂 (2008)
- (21) 堀泰典: 明海大歯誌, **34**, 50~58 (2005)
- (22) S.E. Swithers, et al: *Behav. Neurosci.*, **122**, 161~173 (2008)
- (23) D. Grant D, et al: *Arch. Intern. Med.*, **169**, 1873~1880 (2009)
- (24) 前田亜耶, 他: 第31回日本臨床栄養学会総会講演要旨集, 190 (2009)
- (25) 鈴木正成: スポーツの栄養・食事学, 同文書院 (1986)
- (26) 金子ひろみ: 砂糖類情報, No. 57, 8~14 (2001)
- (27) 寒川淑子, 他: 糖尿病, **52**, S252 (2009)
- (28) Y. Harano, et al: *Endocrine J.*, **53**, 173~180 (2006)
- (29) M.K. Kim, et al: *E.C.S.S., Portugal*, 361~362 (2008)
- (30) 水谷武雄: *New Food Industry*, **31**, 9~15 (1989)
- (31) K. Matsuo, et al: *J. Clin. Biochem. Nutr.*, **40**, 234~241 (2007)
- (32) J.G.P. van Can, et al: *Br. J. Nutr.*, **102**, 1408~1413 (2009)
- (33) 露木賢一郎: 日本食品新素材研究会誌, **2**, 121~127 (1999)
- (34) 前田亜耶, 他: 第30回日本臨床栄養学会総会講演要旨集, 223 (2008)
- (35) K. Hyun-Young, et al: *Biochem. Biophys. Acta*, **1782**, 341~348 (2008)

Summary

Palatinose is a disaccharide that is digested and absorbed in the small intestine at a rate about one-fifth that of sucrose, resulting in only gradual increases in blood glucose levels. Palatinose is completely absorbed in the small intestine, and is therefore a safe carbohydrate to consume. In addition, palatinose is not only a low-GI carbohydrate, but also suppresses the blood glucose-increasing activity of other sugars when taken in conjunction with these sugars.

Some studies reported that when palatinose-containing diets were fed to rats and mice for long durations, visceral fat accumulation was suppressed and insulin sensitivity was improved. These effects were also investigated in obese Japanese-Brazilian subjects. When palatinose blended sugar (a sugar mixed with 90% palatinose instead of sucrose) was taken, the visceral fat area was significantly decreased in the palatinose blended sugar group, while no change was detected in the group given sucrose. In a similarly designed study in obese Japanese subjects, the difference in the changes in visceral fat area was also significant between the groups. In a study in healthy Japanese subjects, compared to the sugar group, the palatinose blended sugar group showed improvements in fasting blood glucose, fasting blood insulin levels, systolic blood pressure, blood leptin levels and HOMA-R (homeostasis model assessment for insulin resistance).

In a long-term study of a palatinose-containing diet in laboratory animals, the reported findings were suppression of hypertrophy of the pancreatic islets, activation of PPAR- α in the liver, activation of PPAR- γ in adipose tissue, and activation of UCP-2 in the liver and adipose tissue. These changes were considered to contribute to the suppression of visceral fat accumulation.

Palatinose is thought to produce a long-lasting feeling of satiety because of its slow digestion and absorption. Using a chocolate that only contains sucrose as carbohydrate and another chocolate that contains both palatinose and sucrose, the subjective satiety was assessed on a visual analogue scale (VAS), and changes in blood GLP-1 levels were analyzed. The secretion of GLP-1 was significantly higher in the palatinose-containing chocolate group than in the sugar chocolate group, and the sensation of satiety lasted significantly longer in the former group.

These effects are considered to lead to improvement in metabolic syndrome risk factors through effects on dietary instructions, maintaining fat oxidation after exercise, relieving fatigue, etc.

The physiological effects induced by the combination of sucrose and palatinose might also lead to the active promotion of sucrose consumption.