

難消化性デキストリン摂取が 軽運動時における糖・脂質代謝に及ぼす影響

Effect of Indigestible Dextrin Intake on Carbohydrate and Lipid Metabolism in Exercise

高橋 将記¹、久保 早哉香²、的場 秀樹³、小原 繁^{3,*}

Masaki Takahashi¹, Sayaka Kubo², Hideki Matoba³, Shigeru Obara^{3,*}

¹徳島大学大学院人間・自然環境研究科、²徳島大学総合科学部生、³徳島大学大学院ソシオ・アーツ・サイエンス研究部 (〒770-8502 徳島市南常三島町1丁目1番) *コレスポンデンス著者

¹Graduate School of Human and Natural Environmental Sciences, The University of Tokushima, ²Faculty of Integrated Arts and Sciences, The University of Tokushima, ³Institute of Socio-Arts and Sciences, The University of Tokushima (Minami-Jyosanjima 1-1, Tokushima 770-8502, Japan) *Corresponding Author

Abstract

It has been reported that dextrin (DX) has an effect of inhibition from elevation of blood glucose concentration after taking a meal. A little increase of blood glucose concentration after the meal would not accelerate secretion of insulin from the pancreas, so that, the blood insulin concentration may not elevate so much after the meal. The purpose of this study is to investigate the effects of DX intake with light meal on carbohydrate and fat metabolism in light intensity exercise. Eight young male subjects participated in this study. They took the light meal one hour before exercise, and performed a 30-min exercise at light intensity of heart sound breaking point on a cycle ergometer under two conditions of taking the meal with and without DX. Heart rate, oxygen consumption, plasma lactate (LA), plasma glucose (BG) and plasma free fatty acid (FFA), and respiratory exchange ratio (RER) were determined at before meal, start of exercise after 60 minutes of taking the meal, midpoint of exercise (15-min point), end of exercise (30-min point) and recovery phase after 15 minutes from cessation of the exercise. Average heart rate were 126.3 (SD; 11.3) and 122.8 (10.1) bpm during exercises with and without DX, respectively (not significant). Oxygen consumptions were 1.18 (0.24) and 1.16 (0.22) l/min during exercises with and without DX, respectively (not significant). LA showed same values (1.8 (0.6) mM) in both conditions (not significant). BG showed significantly low values in DX condition at start and end of exercise and recovery phase than that in non-DX condition. FFA showed also significantly low values in DX condition at start and end of exercise and recovery phase than that in non-DX condition. These results indicate that DX inhibit absorption of BG not only at rest but also during exercise, and intake of DX with a meal may affect to elevate FFA intake to active muscle during exercise.

緒言

近年、生活習慣病の予防のために運動や食事に気を遣う人が増えてきた。食生活の欧米化やエネルギーの過剰摂取、運動不足など生活習慣の歪みが、肥満や生活習慣病の発症を大きく増加させる傾向にあり、その予防には正しい食生活と運動習慣が重要であるといわれている¹⁾。このような時代背景もあり、肥満や生活習慣病の予防として多くの人がジョギング等の軽運動を行うようになってきた。個人の取り巻く環境に応じて、運動実施時間は異なる。一般的に、社会人になると、夕

方や夜に運動時間を確保できることが多く、夕食後に運動を行う場合も少なくない。しかし、食後は、血糖値が上昇し、インスリンが分泌されることで脂質代謝の抑制が考えられる^{2, 3)}。一方、食前などの空腹時に、運動を行うことは、血糖が低下し、空腹感や脱力感を招く恐れがある⁴⁾。よって、健康の維持増進を目的とした運動を行う際には、いかに安全に脂質代謝を活性化させるかが重要となってくる。近年では、食後運動時における血糖値上昇を抑制し脂質代謝に有効に作用する様々な食品やサプリメントが注目されている。果糖や低GI (glycemic index) 食品もその中の一つ

である。果糖や低 GI 食品の摂取後に運動を行うことにより、インスリン分泌を抑え、活性化された脂質代謝の抑制を引き起こすことなくエネルギー供給ができることが報告されている^{5, 6)}。本研究では食後血糖値の上昇を抑える特定保健用食品の『難消化性デキストリン』を用いて研究を行った。難消化性デキストリンは、でんぷん由来の水溶性食物繊維であり、整腸作用、食後血糖上昇抑制作用ならびに血清脂肪（総コレステロール、中性脂肪）濃度低下作用があることが報告されている⁷⁾。難消化性デキストリンを含む食後1時間後に軽度の有酸素運動をして脂肪代謝の促進が見られると分かれば、サプリメントと軽運動を併用した生活習慣病の予防や治療となる新しいライフスタイルの考案ができるかもしれないと考えた。

本研究の目的は、難消化性デキストリン摂取後の軽運動が、糖代謝および脂肪代謝にどのような影響を及ぼすかを検討することである。

方法

1) 被検者

被検者は、健康な男子大学生 8 名（21～25 歳）である。被検者には、事前に本研究の目的・方法を説明し、承諾を得た上で実験を行った。測定日の前日と当日は激運動を避けてもらい、測定日は空腹の状態で行った。また、本研究の途中棄権に関しては、被検者の自由意志で決定することとした。なお、被検者の身体的特性は、表 1 に示した。

表 1 被検者特性

被検者	年齢(歳)	身長(cm)	体重(kg)	BMI	ご飯(g)	摂取 kcal	負荷(W)
A	24	176	63.5	20.5	254	434	66
B	22	171	65.0	22.2	260	444	111
C	25	167	65.5	23.5	262	447	80
D	24	178	72.0	22.7	288	491	106
E	23	175	68.0	22.2	272	464	87
F	22	164	54.0	20.1	216	370	71
G	21	177	65.0	20.7	260	444	83
H	22	177	66.0	21.1	264	451	62
平均	22.9	173.1	64.9	21.6	259.5	443.1	83.3
SD	1.4	5.2	5.1	1.2	20.4	34.3	17.8

2) サプリメント

サプリメントとして使用されている難消化性デキストリン〔商品名：賢者の食卓（特定保健用食品、粉末、内容量 1 包 5 g）〕を購入し使用した。原材料は、食物繊維（難消化性デキストリン）であり、糖の吸収を緩やかにし、食後の血糖値の上昇を抑えると記されている。

3) 食事内容

食事内容を単純化するためにご飯を主とした内容にした。食事の内容は、体重当り 0.4% グラムのご飯と味付けのり 8 枚、そして難消化性デキストリンを溶かした水 160ml を摂取する測定を <デキストリン（有）> とし、ご飯の量は同じであるが、水 160ml のみを摂取する測定を <デキストリン（無）> と定め 2 条件を設定した。食事時間は約 5 分間とした。ご飯の量および摂取カロリーは、表 1 に示した。

4) 軽運動の負荷設定

本実験前に、運動負荷を求めるために、30 分間の最大下負荷テストを行い、心音プレーキングポイント（無酸素的閾値に近似して⁸⁾）を基にその負荷から 80～100% に相当する負荷を運動強度とした⁸⁾。被検者の軽運動の負荷を表 1 に示した。運動機器として、サイクルエルゴメータ（コリバル、ロード B.V.社製、オランダ）を用いてペダリング運動を行った。

5) 実験プロトコール

被検者は実験室に来室してから椅子座位で安静にもらった。その後 5 分間の食前安静時代謝の測定と採血を行った後に、規定の食事を摂り、その後 1 時間ほど安静状態を保つようにした。1 時間経過後に 5 分間の食後安静時代謝の測定と採血を行った。そして、30 分間の軽運動を行い、運動開始から 15 分、運動終了直前の 30 分、運動

終了後の 15 分に 2 分間の代謝測定と採血を行った。

6) 測定項目と分析方法

酸素摂取量は、ダグラスバックを用いて食前安静時、食後安静時、軽運動時開始 15 分、軽運動開始 30 分（終了直前）、軽運動終了後 15 分（回復期）の計 5 回測定した。

エネルギー消費量に関して、糖代謝と脂肪代謝の割合については呼吸交換比（RER）から算出した。

心拍数はチャート v 3.6（ADInstruments 社製、オーストラリア）を用いてパソコンに記録した心電図から、安静時・運動時・回復時の値を求めた。なお、運動中の主観的運動強度（RPE）はボルグの尺度⁹⁾を被検者に表示した。

血液は指先から採取し、酸素摂取量と同様、食前安静時、食後安静時、軽運動時開始 15 分、軽運動開始 30 分（終了直前）、軽運動終了後 15 分（回復期）の計 5 回行った。採取後、遠心分離機にかけ、血漿と血球部分に分け血漿の部分を取り出し、全ての測定が終了するまで冷凍保存した。得られた血漿より、グルコース濃度（BG：酵素法、和光純薬）、遊離脂肪酸濃度（FFA：酵素法、和光純薬）を測定した。なお、血中乳酸濃度の測定は、簡易測定キット（ラクテート・プロ、アークレイ株式会社、日本）を用いて行った。

7) 統計処理

測定結果は平均値±標準偏差で表し、有意差検定は対応のある 2 群の平均値の差の検定により行い、統計学的有意水準は $p < 0.05$ とした。統計処理ソフトはエクセル統計を用いた。

結果

1) 心拍数

食前安静から回復期安静までの 8 名の平均心拍数の変化過程を表 2 に示した。心拍数は、食前安静から回復期安静まで両条件においてほぼ同様の値を示していた。運動中の心拍数が最も高い被検者で 145 拍、低い被検者で 105 拍であった。軽運動 30 分時の平均心拍数は、デキストリンを摂取した場合（有）で 126.3 ± 11.3 拍、デキストリンを摂取しない場合（無）で 122.8 ± 10.1 拍であった。

2) 主観的強度（RPE）

食前安静から回復期安静までの 8 名の RPE の変化過程を表 2 に示した。RPE は、食前安静から回復期安静まで両条件において同様な値を示していた。軽運動 30 分時の平均主観的強度は、デキストリンを摂取した場合（有）で 12 ± 1.8 、デキストリンを摂取しない場合（無）で 12 ± 1.7 であった。

表 2 安静時、運動時ならびに回復期における心拍数、主観的強度、血中乳酸濃度の変動

		食前安静時	食後安静時	運動 15 分	運動 30 分	回復期 15 分
心拍数（拍/分）	有	78.4 ± 13.9	76.5 ± 11.1	122.4 ± 9.9	126.3 ± 12.1	87.1 ± 8.7
	無	67.5 ± 6.1	69.1 ± 6.3	117.8 ± 7.7	122.8 ± 10.8	80.9 ± 6.4
RPE	有	7 ± 0.5	6 ± 0.5	11 ± 2.2	12 ± 1.9	8 ± 1.8
	無	6 ± 0.5	6 ± 0.5	10 ± 2.2	12 ± 1.8	7 ± 1.1
LA（mmol/L）	有		1.53 ± 0.43	2.06 ± 0.94	1.73 ± 0.66	1.74 ± 0.81
	無		1.58 ± 0.41	2.56 ± 1.34	1.82 ± 0.62	1.57 ± 0.45

RPE: 主観的強度、LA: 血中乳酸濃度

3) 血漿 LA 濃度

食前安静から回復期安静までの LA の変化過程を表 2 に示した。LA は、データの欠損により 6 名の測定になった。食後安静から回復期安静まで測定を行い、両条件において同様な値を示していた。軽運動 30 分時の平均 LA は、デキストリンを摂取した場合（有）で 1.8 ± 0.6 mmol/L、デキストリンを摂取しない場合（無）で 1.8 ± 0.6 mmol/L であった。

4) 酸素摂取量

食前安静から回復期安静までの 8 名の酸素摂取量の変化過程を図 1 に示した。酸素摂取量は、食前安静から回復期安静まで両条件において同様の値を示していた。軽運動 30 分時の平均酸素摂取量は、デキストリンを摂取した場合（有）で 1.18 ± 0.24 L、デキストリンを摂取しない場合（無）で 1.16 ± 0.22 L であった。

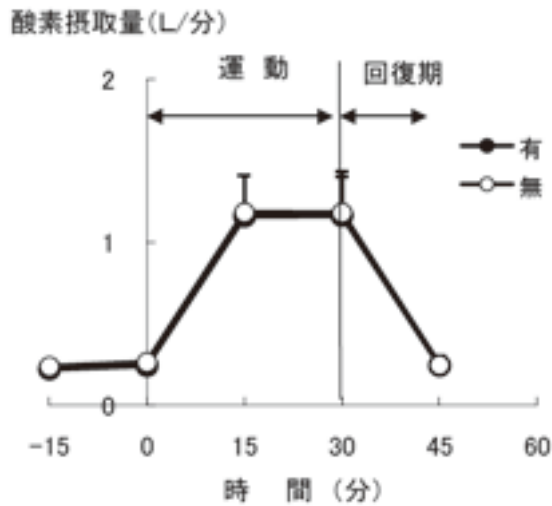


図 1 酸素摂取量の変動

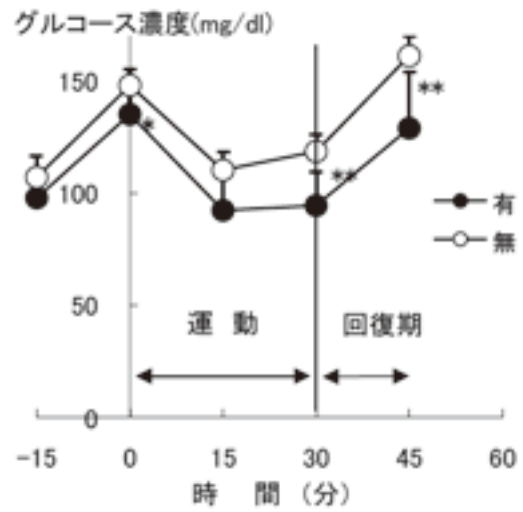


図 3 血中グルコース濃度の変動

5) 呼吸交換比 (RER)

食前安静から回復期安静までの8名の RER の変化過程を図2に示した。RERは、食前安静から回復期安静まで両条件において同様の値を示していた。軽運動30分時の平均 RER は、デキストリンを摂取した場合で 0.96 ± 0.03 、デキストリンを摂取しない場合で 0.99 ± 0.06 であった。

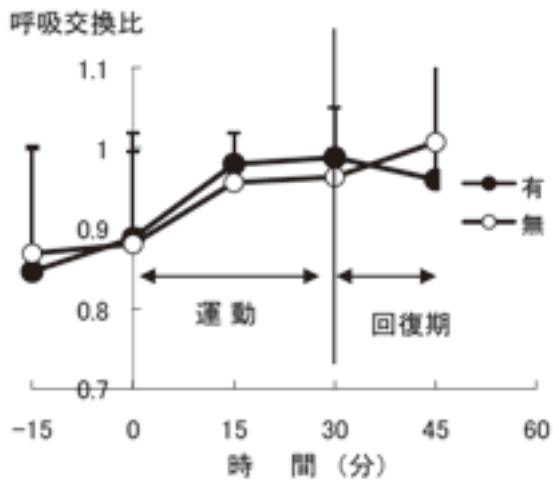


図 2 呼吸交換比(RER)の変動

7) 遊離脂肪酸 (FFA) 濃度

食前安静から回復期安静までの8名(欠損しているデータの場合7名)の平均 FFA 濃度の変化過程を図4に示した。FFA濃度においても、食後から回復期においてデキストリンを摂取することにより有意に低くなった。

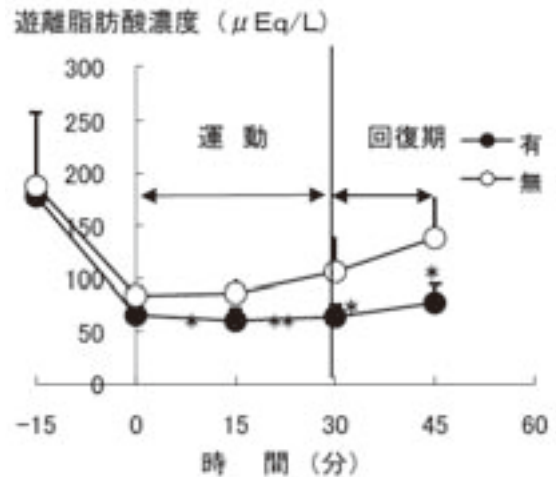


図 4 遊離脂肪酸濃度の変動

6) グルコース (BG) 濃度

食前安静から回復期安静までの8名の平均血中 BG 濃度の変化過程を図3に示した。BG濃度は、食後から回復期(運動開始15分を除く)においてデキストリンを摂取することにより有意に低くなった。

考 察

一般的に、社会人になると夕方や夜に運動時間を確保できることが多く、夕食後に運動を行う場合も少なくない。しかし、食後は、血糖値が上昇し、インスリンが分泌されることで脂質代謝の抑制が考えられる。本研究では、食後の血糖値上昇を抑える難消化性デキストリンを軽食と同時に

摂取した場合に軽運動時における糖・脂質代謝にどのような影響を及ぼすかを検討した。

BG 濃度は、食後から回復期においてデキストリンを摂取することにより有意に低くなった。デキストリン摂取の食後血糖値上昇抑制効果は、多くの先行研究で示されている^{10, 11)}。血糖値上昇が抑制されるメカニズムとして、デキストリンを食事とともに摂取することにより胃からの未消化物の排出を遅延させることが報告されている。また、多糖類から単糖類に分解する酵素活性が難消化性デキストリンによって阻害されることも報告されている。一方で、難消化性デキストリン摂取が、運動時における血糖値に及ぼす影響を報告した研究は少ない。この点に関して、本研究では、食後血糖値上昇抑制効果が、食後軽運動時も持続されることを確認した。しかし、運動終了後の回復期 15 分時では、ほとんどの被検者の血糖値が上昇していた。先行研究では、運動終了後の血糖値は低下するか、一定のままで上昇はしない^{12, 13)}。よって、この上昇の要因は恐らく、摂取した食事の消化吸収が全て完了していないために運動終了後において、運動中に活動していた血液が小腸での消化吸収に移ったためであると考えられる。一般的に炭水化物の消化吸収時間は約 1.5~3 時間と報告されている。本研究の食事は炭水化物中心 (90% 占める) の内容だったこともあり、この結果を支持するものである。また、デキストリン摂取による血糖値の低値が確認されたが、難消化性デキストリン摂取後の安静時および軽運動時でも低血糖になった被検者は見られなかったことから難消化性デキストリンを摂取しても低血糖になる恐れは極めて少ないと考えられる。

本実験での運動量は、両条件間において運動時の心拍数、RPE ならびに酸素摂取量に差は見られなかったことからほぼ同等であったと考えられる。血糖値は DX 有条件で有意に低いという結果が得られたことから、血中脂肪酸を多く利用していることが考えられる。その点を検討するために RER と FFA を測定した。その結果 RER には両条件での差は見られなかったが、FFA 濃度において食後から回復期においてデキストリンを摂取することにより有意に低くなった。一般的に、長時間の持久性運動によって、FFA 濃度は、上昇すると報告されている^{14, 15, 16)}。

しかし、長時間運動の初期には、筋肉などの組織での FFA の取り込みが脂肪組織からの動員を

上回る結果、血中 FFA 濃度の低下が起こることが報告されている^{17, 18)}。また、本研究において血中乳酸濃度は、両条件とも 1.0mmol/L 程度であったこと、さらに、先行研究で、デキストリンを摂取することによりインスリン分泌が低下することが報告されていることから、脂肪分解が抑制されたとは考えにくい⁷⁾。FFA 濃度が、デキストリンを摂取することにより、デキストリンを摂取しない場合より低く推移したのは、筋肉などの組織での FFA の取り込み促進がデキストリンを摂取する条件下でより顕著であったためと考えられる。RER は、中強度以下の有酸素運動により低下することが、多くの先行研究で示されている^{19, 20)}。本研究において RER に差がみられなかったのは、本研究で用いた運動強度が低強度であり、運動時間も 30 分と短かったために運動の影響が現れなかったものと推察される。別な視点で考えると、デキストリン摂取の代謝への影響は低強度で 30 分程度の運動による代謝の変化には左右されないほど強固であると言えるのかもしれない。

以上のことから、デキストリンとともに軽食を取ってから 60 分後にジョギングなどの軽運動を行うことは、食後血糖値の上昇を抑制し、脂質代謝を抑制する現象も引き起こされないことが示唆された。

まとめ

健康な成人男性 8 名を対象に難消化性デキストリン 5g を食事と共に摂取した場合 (有) としない場合 (無) での安静時血糖値の変化と摂取後の軽運動が糖・脂肪代謝に及ぼす効果については、以下の通りである。

難消化性デキストリン摂取の食後安静時血糖値上昇の抑制作用が再確認された。また、この血糖値上昇抑制効果が、食後軽運動時も持続されたことを確認した。難消化性デキストリン摂取後の安静時、軽運動時および軽運動終了後に遊離脂肪酸濃度の有意な低下が見られた。これらの結果より、夜にジョギング等の軽運動を行う人は、量を少な目にした夕食と共にデキストリンを摂取することにより、血糖値の上昇を抑制し、脂肪の代謝にもマイナス影響のでないことが示唆された。

引用文献

- 1) 林範子ら (2006) 還元難消化性デキストリンの食後血糖値に及ぼす影響、日本栄養・食糧学会誌、59 : 247-253
- 2) Sidossis LS. Et al. (1996) Glucose and insulin-induced inhibition of fatty acid oxidation: the glucose-fatty acid cycle reversed. Am J Physiol. 27 : E733-738
- 3) Foster C. et al. (1979) Effects of preexercise feedings on endurance performance. Med Sci Sports. 11(1):1-5
- 4) Williams C. et al. (2006) Nutrition on match day. J Sports Sci. 24(7) : 687-97
- 5) Koivisto VA, et al (1985) Glycogen depletion during prolonged exercise: influence of glucose, fructose, or placebo. Journal of Applied Physiology 58 : 731-737

- 6) Stephen H.S . et al. (2008) Effect of the glycaemic index of pre-exercise carbohydrate meals on running performance. *European Journal of Sports Science*.8 : 23-33
- 7) 岸本由香ら (2000) 内臓脂肪蓄積に及ぼす難消化性デキストリン長期投与の影響、*日本食物繊維研究会誌*、4、178-184
- 8) Obara S. et al. (2005) The first heart sound amplitude has a breaking point and positive relationships with blood lactate concentration and double product in graded exercise. *Adv. Exerc. Sports Physiol.*,Vol.11 : .33-39
- 9) Borg GA. (1973) Perceived exertion: a note on “history” and methods. *Med Sci Sports*. 5(2):90-93
- 10) Wakabayashi S. et al. (1995) Effects of indigestible dextrin on glucose tolerance in rats. *J Endocrinol*. 144(3):533-8
- 11) 植田由香ら (1993) ショ糖負荷後の耐糖能および尿中 C - ペプチド値に及ぼす難消化性デキストリンの影響、*糖尿病* 36 : 715 - 723
- 12) 鈴木政登ら (1993) 33 時間絶食時運動負荷後の血漿ホルモン、血糖、乳酸、遊離脂肪酸およびグリセロール濃度の消長。 *体力科学* 42(5) pp.429-445
- 13) Saitoh S. et al. (1986) Nutritional design for repletion of liver and muscle glycogen during endurance exercise without inhibiting lipolysis. *J Nutr Sci Vitaminol (Tokyo)*. 1986 Aug; 32(4): 343-53.
- 14) Wallis GA. Et al. (2006) Metabolic response to carbohydrate ingestion during exercise in males and females. *Am J Physiol Endocrinol Metab*. 290(4):E708-15.
- 15) Bergman BC. Et al. (1999) Evaluation of exercise and training on muscle lipid metabolism. *Am J Physiol*. 276(1 Pt 1):E106-17.
- 16) Paul P. et al. (1975) Free fatty acid and glucose metabolism during increased energy expenditure and after training. *Med Sci Sports*. 7(3):176-83.
- 17) Friedlander AL. et al. (1999) Endurance training increases fatty acid turnover, but not fat oxidation, in young men. *J Appl Physiol*. 86(6): 2097-105.
- 18) Hagenfeldt L . et al. (1980) Substrate hormone interrelationships during physical exercise in man.121-127.
- 19) 豊岡示朗ら (2004) 運動強度と運動時間から見た脂質代謝特性。 *大阪体育大学紀要*、第 35 巻、pp39－50.
- 20) Powers.S.K. et al. (1997) *Exercise physiology*. Brown&Benchmark publishers. LA USA.45-61.

論文受付 2010 年 8 月 11 日
改訂論文受付 2010 年 8 月 31 日
論文受理 2010 年 9 月 6 日