

食形態の違いによる食後血糖値の変動

—固形・ゼリー・液体の3形態の比較—

末田 香里*1) 麻山 真生*2) 後藤 洋希*3)
宮川 侑実*4) 宮蘭 飛鳥*5) 酒井 映子*1)

【目的】本大学に所属する陸上部選手にアンケートを実施したところ、試合直前にゼリー食・液体食を摂取、試合2時間以上前に固形食を摂取する傾向がみられた。そこで、形態の違いによる食後血糖値に及ぼす影響を検討した。

【方法】1) 被験者：大学生10名(男性4名,女性6名) BMI 20.22 ± 1.43 kg/m (Mean \pm SD)であった。2) 基準食と検査食：基準食として米飯(サトウのご飯, サトウ食品,) 150g + お茶200mlとした。検査食(カロリーメイト, 大塚製薬)は、固形食(ブロックタイプ5本100g + 水200ml), ゼリー食(ゼリータイプ330g), 液体食(液体タイプ350g)とし、糖質を全て50gに合わせた。基準食と3つの検査食は無作為化クロスオーバーで行った。3) 血糖測定：試験食の摂取前(0), 摂取後15, 30, 45, 60, 90, 120分の計7回測定した。被験者自身が自己血糖測定器を用いて食後血糖を測定し、これらの値から血糖上昇曲線下面積(血糖AUC)を算出した。4) 統計処理：基準食との比較はpaired t-test, を用いた。

【結果】1) 血糖AUCの比較：基準食, 固形食, ゼリー食と液体食の血糖AUCはそれぞれ 232 ± 52 , 191 ± 63 , 146 ± 68 および 181 ± 68 mg/dl \times minであった。基準食の血糖AUCに対して、検査食血糖AUCは、いずれも有意に低値($p < 0.01$)であった。

2) 検査食3形態の食後血糖値に差はなかった。固形食と水の同時摂取によるエネルギー密度の低下, 液体食の難消化性デキストリンの粘性, 食物繊維含有量の影響が推察された。

【結語】固形食, ゼリー食, および液体食の摂取後の食後血糖値, 血糖AUCに差はなかった。

キーワード：食後血糖, 米飯, 栄養バランス食品, 形態(液体, ゼリー, 固体)

【目的】

食事は健康の維持や体力の向上や運動選手の競技成績に大きく影響する。一般人からトップレベルの選手まで、健康や運動を支えているのは食事から摂取する栄養素と密接に関係している。食事の基本としては、身体活動による消費エネルギーに見合ったエネルギー必要量の摂取とともに、各種栄養素の様々な食品からバランスよく摂取する食生活がコンディション維持に

つながる。必要な栄養素が不足した状態では最大のトレーニング効果は期待できない。

また、栄養素は適切な量や質、タイミングによって運動選手のパフォーマンス向上をはかることができると言われているため¹⁾、練習や試合の前、中、後に必要に応じた栄養素を摂るようにする。その必要な栄養素の摂取方法は様々で、固形のおにぎりやサンドイッチだけでなく、エネルギーバーやゼリー、スポーツドリンクのような食事以外からでも、簡単に手軽に5大

*1) 愛知学院大学心身科学部健康栄養学科

*2) 中部薬品株式会社

*3) 株式会社杏林堂薬局

*4) 立命館大学大学院スポーツ健康科学研究科

*5) トヨタ生活協同組合

(連絡先) 〒470-0195 愛知県日進市岩崎町阿良池12 E-mail: sueda@dpc.agu.ac.jp

栄養素を摂取することが可能である。

このように食生活が豊かになった一方で、外食や朝食の欠食者の増加²⁾など豊かではない現状もみられている。例えば、大学生の間に食事をお菓子などの間食で済ませていることも少なくない。このような家庭の食事も簡便化されていることに伴い、朝食の代わりとして、バランス栄養食品を摂取する傾向がある^{3,4)}。また、運動選手が競技前の栄養摂取として使用する人も少なくはない。

食後の血糖値は糖質の量だけではなく、その他の栄養成分によって左右されるが、この中で私たちは、勉強や運動をする上でも重要な成分である糖質に着目した。バランス栄養食品は、エネルギー摂取が容易に出来るという点で一般人から運動選手などの幅広い人から注目を浴びている食品の1つである。本研究で使用した食品形態は固形食・ゼリー食・液体食の3形態である。固形食とは、硬くて一定の形をした食品のことである。ゼリー食とは、ゼラチンまたは寒天などで固めた食品のことである。液体食とは、物質の状態の一つのことで、ほぼ一定の体積を保つが、定まった形のない流動体食品のことである。

本研究に先立って、実際日常的に運動をとりいれている本大学陸上部に所属する選手にアンケートを行った。アンケート内容は、試合前のエネルギー補給の食品形態、摂取時間、摂取した理由についてである。その結果、1) レース直前摂取は、ゼリー食と液体食が

多かった。レース直前では、固形食を摂る選手はいなかった、腹にもたれるとの理由であった。2) 2時間以上前の食物摂取として、長距離選手では固形食に偏った。この結果より固形食品では、食後の吸収が遅く、摂取後の緩やかに血糖が上昇するだろうとの仮説のもと、バランス栄養食品の形態が、食後血糖値に及ぼす影響について検討した。

【方法】

1. 被験者

被験者は 21~22歳の大学生10名(男性4名, 女性6名), BMIは $20.2 \pm 1.4 \text{ kg/m}^2$ (Mean \pm SD)であった。被験者には事前に研究内容を説明し口頭ならびに文書による同意を得た。今回の実験は愛知学院大学心身科学部の「ヒトを対象とする研究に関する委員会」の承諾を得て行った。

2. 基準食と検査食

1) 基準食は米飯(サトウのごはん株式会社サトウ食品, 新潟)150gとお茶(伊右衛門サントリーフーズ株式会社)200mlとした。

2) 検査食には、バランス栄養食品 固形タイプ、ゼリータイプ、液体タイプの3種類を用いた(Calorie Mate BLOCK, JELLY, LIQUID, 大塚製薬)。固形食は固形タイプ5本100gと水200ml、ゼリー食はゼリー

表1 基準食と検査食のエネルギー、栄養成分およびエネルギー密度

基準食	重量 (g)	エネルギー (kcal)	たんぱく質 (g)	脂質 (g)	糖質 (g)	食物繊維 (g)	エネルギー密度 (kcal/g)
サトウのご飯	150	221	3.2	0	50	4.4	
お茶	200	0	0	0	0	0	
合計	350	221	3.2	0	50	4.4	0.63

検査食	重量 (g)	エネルギー (kcal)	たんぱく質 (g)	脂質 (g)	糖質 (g)	食物繊維 (g)	エネルギー密度 (kcal/g)
固形食							
固形	100	500	10.8	28	50	2.5	
水	200	0	0	0	0	0	
合計	300	500	10.8	28	50	2.5	1.67
ゼリー食							
ゼリー	330	308	11.7	6.8	50	3.1	0.93
液体食							
液体	350	350	17.5	7.7	50	4.4	1.00

エネルギー密度=エネルギー(kcal)/重量(g)

タイプ（アップル味）330g、液体食は液体タイプ（カフェオレ味）350mlとした。なお、基準食、検査食ともに糖質を50gにするように調節した。

3. 実施法および血糖測定法

被験者は基準食と検査食（固形食、ゼリー食、液体食）をあわせた4種類を1週間以上の間隔をあけて、4回にわたり実施した。試験は無作為化クロスオーバー試験とした。各試験の前日21時以降から試験時間まで絶食とした、ただし、水やお茶など糖質が含まれない飲料は摂取してもよいこととした。試験開始後は、基準食又は検査食のみとした。

血糖値の測定は被験者自身が自己血糖測定器（SMBG）グルテストNeoスーパー（三和化学研究所）を用い、各時間帯に血糖を測定した。基準食・検査食ともに、空腹の状態、空腹時血糖を測定した。空腹時（0分）の血糖測定直後から、基準食・検査食を10分間で、一口30回咀嚼をして食べることにした。基準食・検査食を摂取開始から15分後、30分後、45分後、60分後、90分後、120分後の計6回、血糖を測定した。なお血糖測定中は座位安静とした。

4. 血糖上昇曲線下面積（血糖AUC）の算出および統計処理

食後血糖値からグラフを作成し、血糖上昇曲線下面積（血糖AUC: Area Under the Curve）を算出した⁵⁾。測定データはMean ± SDで示し、血糖値、AUCはpaired t-testを用いて比較し、有意差は5%以下とした。

【結果】

1. 基準食と3種類の検査食の食後血糖上昇曲線

固形食では、基準食と比較して、摂取後15分の血糖値は有意（ $p < 0.05$ ）に高値であり、摂取後45分、60分、90分の血糖値は低値（いずれも $p < 0.05$ ）を示した。ゼリー食では、基準食と比較して、ゼリー食摂取後15分で血糖値は有意に高値（ $p < 0.05$ ）であり、食摂取後45分、60分（いずれも $p < 0.01$ ）で血糖値が低値であった。液体食の食後血糖は、基準食と比較して、液体食摂取後45分（ $p < 0.01$ ）、60分（ $p < 0.05$ ）で低値であった。

また、検査食3形態、すなわち固形食、ゼリー食、液体食間で比較すると、摂取後いずれの時点においても血糖値に差はなかった。

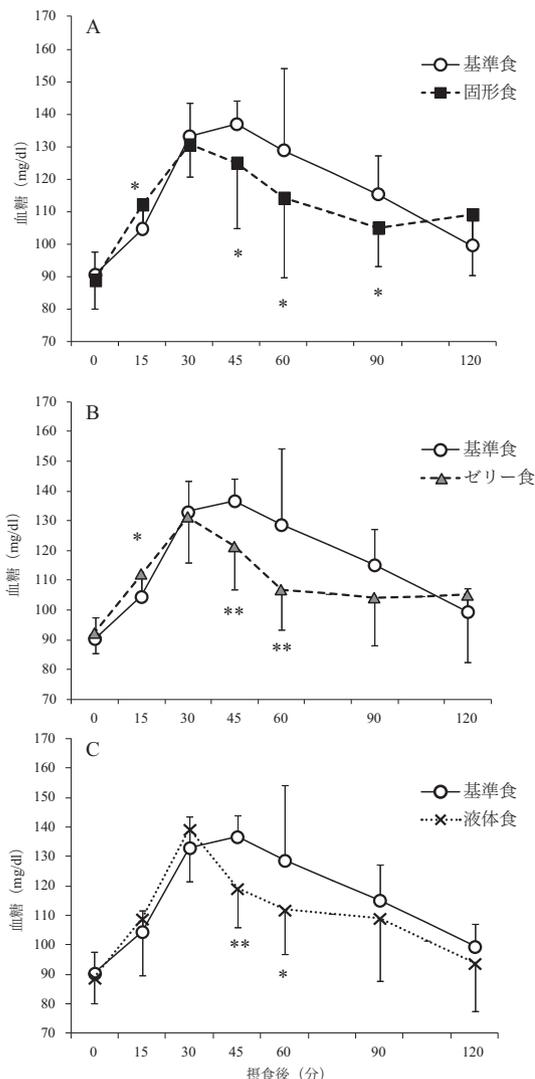


図1 基準食と検査食の食後血糖上昇曲線

A. 基準食と固形食、B. 基準食とゼリー食、C. 基準食と液体食の血糖曲線を示す。Mean ± SD (n=10), *; $p < 0.05$ および **; $p < 0.01$ は、経過時間ごとの、基準値と検査食の有意差を示す。

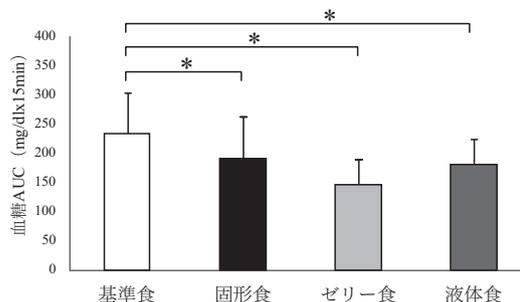


図2 基準食と検査食の血糖AUCの比較

Mean ± SD (n=10), *; $p < 0.05$ (vs. 基準食) を示す。

2. 基準食と3種類の検査食の血糖 AUC

基準食と、固体食・ゼリー食・液体食の3つの検査食の血糖 AUC を比較すると、基準食に対して、いずれの検査食 AUC も低値 (いずれも $p < 0.05$) を示した。また検査食、固体食・ゼリー食・液体食の血糖 AUC には差はなかった。

【考察】

健常な大学生10名を対象とし、基準食を米飯150g (糖質50g)、検査食のバランス栄養食品の固形タイプ、ゼリータイプ、液体タイプの3形態を摂取し、食後血糖を測定した。その結果、1) 栄養バランス食品検査食の3形態では、基準食に比べ、食後血糖上昇が抑制された。2) 検査食間すなわち、固形食、ゼリー食、及び液体食の3食間では、食後血糖上昇曲線下面積 (血糖 AUC) に差はなかった。

1. 基準食血糖 AUC と比較して、検査食血糖 AUC は有意に低値であった。

1) 糖の種類の違い (スクロースとでんぷんの違い) : 摂取後15分後の血糖値は、基準食に対して、固形食およびゼリー食で有意に高値であった。摂取後15分の血糖値が、基準食に比し、検査食で高値であったことは、基準食の糖の主体はでんぷんであり、検査食3形態の糖の主体は二糖類のスクロースであるということによって明記されている。

基準食の米飯 (でんぷん) は、管腔消化によりマルトースなどの二糖類となり、さらに膜消化によりグルコースに分解され、小腸吸収細胞の輸送担体により吸収される。このように血中に入るまでに多くの消化段階を経る。一方、スクロースはそのままの形で小腸まで到達し、小腸のスクラーゼにより分解され吸収される。このことから、スクロースを主体とする検査食の3形態では、消化酵素による糖の分解の過程が少ないため、小腸における吸収がでんぷんを主体とする基準食より速くなったと推察する⁶⁾。スクロース摂取のほうが吸収の速度が速いことから、基準食と比較して、摂取後15分の検査食の血糖値が高くなり、その結果検査食の血糖上昇がインスリン分泌を促進して、その後の血糖上昇を抑制した可能性がある。

2) 栄養成分の違い : 基準食に対し検査食3形態とも脂質、たんぱく質が多く含まれている (表1)。検査食中に含まれる脂質、たんぱく質がインクレチンを介し、インスリン分泌を促進して、血糖上昇を抑制した

と推察された。インクレチン-インスリン分泌 : インクレチンには Glucose-dependent insulin-tropic polypeptide (以下、GIP と略) と、Glucagon-like peptide (以下、GLP-1 と略) がある。脂質、たんぱく質の摂取は、消化管ホルモンである GIP を介してインスリンの分泌を促進すること⁷⁾、食後のインスリン分泌の約7割はインクレチンに依存すること^{8,9)}が報告されている。このことから、消化管内のインクレチンの分泌が促進され、インクレチンを介してインスリン量が増加することで、食後45分、60分等の血糖値に関与したと推察される。

2. 検査食3形態間での比較

試合当日の食事調整では、試合の2~3時間前におにぎり、脂肪の少ないパン等、試合開始1時間前に100%オレンジジュースやエネルギーゼリーを補給し、試合直前には水分 (スポーツドリンク) を補給するようにテレビやスポーツ雑誌等のメディア、教科書で推奨されている¹⁰⁾。

予想として、固形食では他の2形態と比較して食後血糖値の上昇及び血糖値の低下が緩やかになり、液体食は他の2形態と比較して、食後血糖値の上昇が速く、血糖値は速やかに低下すると考えた。その根拠として、1) 液体は固形物に比べ胃の通過時間が早い : 胃での消化を考慮すると、固形物が胃で完全に消化されるまでにかかる時間が約4時間なのに対し、液体が完全に消化されるには約5分と言われているように¹¹⁾、液体は固形物に比べ胃の通過時間が早いと推察することができる。また、2) 固形食では、液体食、ゼリー食と比較し、脂質による胃排出抑制作用も働くため、腸における吸収が遅くなると推察される。

本結果ではゼリー食、液体食と比較して、固形食の食後血糖上昇に有意な差は認められなかった。その理由としてエネルギー密度と液体食の粘性、この2つが考えられた。

1) エネルギー密度 : エネルギー密度が関与していると考えられる。胃排泄能は通常2~3kcal/min と比較的定常に調整されているが、このエネルギー密度が高くなると、胃排泄能が低下し、吸収が緩徐になると報告されている¹²⁻¹⁴⁾。今回、固形食では同時に水200mlを摂取している。水を摂取しない場合ではエネルギー密度5.00kcal/gとなるが、水200mlを同時摂取することで、エネルギー密度は1.67kcal/gと減少した。その結果、表1に示すようにエネルギー密度は、固形食1.67kcal/g、ゼリー食0.93kcal、液体食1.00kcal/gとなり、ゼリ

一食と液体食で差はなく、食後血糖値の上昇に有意な差が認められなかったと考えられる。固形食を水と共に摂取することで、エネルギー密度が減少し、胃内排泄時間が早くなったため、血糖上昇曲線が他の2形態に似通ったと推察される。

2)液体食の粘性：液体食の粘性の関与も示唆される。バランス栄養食品の液体食は、乳たんぱく質、水溶性食物繊維、増粘剤（グァーガム）が添加されている。乳たんぱく質は胃腸の蠕動運動を抑制する作用をもち、加熱することで粘性を増すとされている¹⁵⁾。また、他の2形態に比べ、液体食には水溶性食物繊維が多く含まれている。水溶性食物繊維は、消化管内容物の粘度を上昇させ、胃、腸内をゆっくり移動することで、糖質の吸収を緩やかにし、食後血糖値の急激な上昇を抑えると言われている¹⁶⁾。

以上この二つの理由から、液体食の吸収が遅くなったことで、他の2形態との吸収速度に差がなくなり、血糖値の上昇に有意な差が認められなかったと考えられる。

結語

バランス栄養食品の液体、ゼリー、固体の3形態は、血糖を上げるという目的においては、いずれも差はなかった。

平成28年度心身科学健康栄養学科の卒業研究としておこなった。

本論文に関する著者の利益相反なし。

引用文献

- 1) 鈴木正成：『実践的スポーツ栄養学』—イントロダクション—。第1版，文光堂，2006；7-8。
- 2) 厚生労働省（2016）：平成27年国民健康・栄養調査結果，〈http://www.mhlw.go.jp/bunya/kenkou/kenkou_eiyou_chousa.html〉 p. 8, p. 24。
- 3) 久保加織，尾嶋美沙紀，山本健太郎，堀越昌子：栄養調整食品の利用状況とその栄養学的意味，日本家政学会誌，2003；11-12。
- 4) 金子佳代子，吉井綾子：スポーツ雑誌の広告にみる「スポーツ食品」の現状と課題，横浜国立大学紀要，1996；92-94。
- 5) 杉山みちこ：グリセミックインデックスとは，栄養緑書—これでいいのか日本の栄養問題—。細谷憲正（監），日本医療企画，2004；74-85。
- 6) 矢部大介，桑田仁司，清野裕：食後血糖と栄養素摂取の順番，糖尿病，2016；30-32。
- 7) 李相翔，長嶋理晴，平野勉，渡部琢也：最近の糖尿病薬物治療の進歩—糖尿病治療の目指すもの—。糖尿病治療を変える新たな糖尿病薬インクレチン，昭和医学会誌，2010；36-40。
- 8) 山田祐一郎：インクレチンの降外作用，糖尿病，2009；423-425。
- 9) 中島英洋：血糖変動におよぼす難消化性デキストリンの影響—ブドウ糖溶液と米飯摂取後の比較—。大阪青山大学紀要，2008；1-7。
- 10) 鈴木志保子：『基礎から学ぶ！スポーツ栄養学』—試合前，当日，試合後の食事—。第1版，ベースボール・マガジン社，2013；148-157。
- 11) 高橋長雄：『からだの地図帳』—胃と十二指腸—。講談社，2010；57-60。
- 12) Berner W, Hendric TR, Mc Hugh PR. Regulation of the gastric emptying of glucose. *Gastroenterology* **85**, 1983, 76-82.
- 13) Horowitz M, Dent J, Fraser R, Sun W, Hebbard G. Role and integration of mechanisms controlling gastric emptying. *Dig Dis Sci* **39** (supp), 1994, 7s-13s.
- 14) Karamanslis A, Chaikomin R, Doran S, Bellon M., et al. Effects of protein on glycemic and incretin responses and gastric emptying after oral glucose in healthy subjects. *Am J Clin Nutr* **86**, 2007, 1364-1368.
- 15) 杵川洋一，後藤茂男，北島直文：改質乳清タンパク質の開発と製造，日本食品科学工学会誌 **44**，1997；600-603。
- 16) 田口千恵，富樫秀生，近藤和雄：難消化性デキストリンを強化した濃厚流動食の食後血糖への影響—単回投与試験，臨床栄養，2008；905-909。

最終版平成29年9月27日受理

Effects of the Diet Form on the Postprandial Glycemia in Healthy Students

Kaori SUEDA, Mao ASAYAMA, Hiroki GOTO, Yumi MIYAGAWA, Asuka MIYAZONO and Eiko SAKAI

ABSTRACT

Objective: Sports player often make use of commercial nutritional balance foods, which are three forms, i.e. solid form, jelly form and liquid form. In the questionnaire previously obtained from athletes in our university, there are tendency that the food of jerry and solution form are prefer to take just before the game, and that of solid form are prefer to take 2hours earlier than the game. In the present study, from the viewpoint of the postprandial glycemia, the effects of the diet form in healthy students were compared.

Methods: 1. Subjects: A total of 10 students (female6, male 4), non-diseased subjects, aged 21~22 y and BMI 20.22 ± 1.43 (mean \pm SD) kg/m² were included.

2. Reference meal and test meals: Reference meal: white rice (carbohydrate 50g) was provided with 200ml of tea. Test meal: 3 forms of Balanced food i.e. blocked form, jelly form and drink form, were provided. 1)Solid meal: block form of balanced food (100g) and water (200ml), 2) Jelly meal: jelly type of balanced food 330 g and 3) liquid meal: drink type of balanced food 350g. Total 50g carbohydrate were provided in all test meal. 3. This was a randomized, cross over design study, where subjects consumed test meals on separate occasion, followed by the measuring blood glucose (fasting, and 15, 30, 60, 45, 60, 90 and 120 min after rice consumption). 4. The area under the curves for blood glucose (GAUC) were calculated. Comparisons of blood glucose, GAUC among meals were analyzed based on paired t-test.

Results: 1. Blood glucose level of the three types balanced food, was low compared with that of standard meal (the rice and tea only), was significantly low, at 45min and 60min. 2) The GAUC values of three test meals, i.e. solid meal (191 ± 63 mg/dl), jelly meal (142 ± 68 mg/dl), and liquidmeal (181 ± 68 mg/dl) were lowered ($P < 0.05$, respectively) than that of reference meal (232 ± 52 mg/dl).

2. Among tree forms of balanced food, i.e., solid meal, jelly meal and liquid meal, there ware no difference in the blood glucose levels and in GAUC after the meal intake.

Conclusions: In the aim of glucose supply, there are no difference among 3 forms of balanced food, i.e., solid form, jelly form and liquid form.

Keywords: postprandial blood glucose, rice, balanced food, (liquid form, Jelly form, and solid form)