

牛乳の食後高血糖抑制効果に対する乳成分の関与

Involvement of milk components in suppressing postprandial hyperglycemia induced by milk consumption

西 隆 司¹⁾

Takashi NISHI

大久保 岩 男^{1) 2)}

Iwao OHKUBO

要旨

今回の研究では、乳糖分解乳、脱脂乳、乳たんぱく質水溶液を用いて、牛乳の飲用による米飯摂取後の血糖上昇抑制作用に対する牛乳中の成分の関与について検討した。12 時間以上の絶食をした健常な成人 9 名の空腹時血糖を測定した後、米飯と 200 mL の試験飲料（牛乳、乳糖分解乳、脱脂乳、乳たんぱく質水溶液）を摂取させ、摂取後 120 分間の血糖値を経時的に測定した。併せて、各試験食摂取後 120 分間の総血糖上昇量として血糖曲線下面積（AUC）をそれぞれ算出した。その結果、牛乳の飲用では米飯摂取後 45～90 分目の血糖値及び総血糖上昇量が対照食（米飯＋蒸留水）摂取の場合よりも有意に低下した。しかし、乳糖分解乳、脱脂乳、乳たんぱく質水溶液の飲用では食後 90 分目のみ血糖値の有意な低下が観察され、総血糖上昇量は対照食摂取での値と差がなかった。以上の結果より、牛乳の飲用で生じる米飯摂取後の血糖上昇抑制効果のうち、早い段階では乳中の脂質が、遅い段階では乳中のたんぱく質が関与することが示唆された。

In the present study, we studied the role of cow milk components in suppressing postprandial hyperglycemia following the consumption of cooked rice along with whole milk, lactose-free milk, skim milk, and milk protein solution, respectively. Cooked rice and 200 mL of the test solution (lactose-free milk, skim milk, or milk protein solution) were administered to nine healthy participants after they had fasted for 12 h and had their fasting blood glucose levels monitored. Following the intake of cooked rice, the participants' blood glucose levels were monitored over 120 min. Additionally, the area under the curve (AUC) values of the incremental blood glucose levels during this period were calculated. According to the findings, blood glucose levels at 45-90 min and the AUC after consuming cooked rice and whole milk together were significantly lower than those after consuming the control diet comprising cooked rice and distilled water. However, blood glucose levels were significantly reduced only 90 min after consuming lactose-free milk, skim milk, and milk protein solution with cooked rice, respectively, and the AUC values did not significantly differ from values following consumption of the control

1) 天使大学 看護栄養学部 栄養学科

(2023 年 2 月 28 日受稿、2023 年 4 月 28 日審査終了受理)

2) 市立三笠総合病院 小児科

diet. These findings suggest that milk fat played a role in the early period, while milk protein played a role in the late period in suppressing hyperglycemia after consuming cooked rice.

キーワード：高血糖 (hyperglycemia)

血糖値 (blood glucose level)

牛乳 (cow milk)

乳たんぱく質 (milk protein)

乳脂肪 (milk fat)

緒 言

令和元年国民健康・栄養調査の結果¹⁾では、糖尿病が強く疑われる者の割合は男性で 19.7%、女性で 10.8%であり、平成 21 年と比較して男性で 3.8%、女性で 1.4%増加している。糖尿病の発症を予防するには日常的な血糖値を正常範囲内に収めることが重要であり、特に食後の過度な血糖値上昇、長時間にわたる高血糖状態の維持を避ける必要がある。

Jenkins ら²⁾が Glycemic index (GI) という概念を提唱して以降、食品に含まれる糖質の量だけでなく、糖質の種類や構造、食品の調理加工法、一緒に組み合わせる食品の種類などによって糖質の消化吸収に差が生じ、食後の血糖値の動きも変化することが知られることとなった。わが国では主食となる米飯に他の食品を組み合わせた際の GI 値を算出し、米飯摂取後の GI 値と一緒に摂取する他の食品によって変動することが見出されている³⁾。牛乳はその効果を示す食品の 1 つで、米飯と牛乳の同時摂取によって食後の血糖上昇が抑制されたとする報告が多数発表されている³⁻¹⁰⁾。牛乳だけでなく、バター^{3,4,6-8)}、チーズ^{6,7)}、ヨーグルト^{3,4,6,7,11)}といった乳製品を用いた米飯摂取後の血糖上昇抑制効果についても検討され、いずれの食品でも米飯摂取後の血糖上昇を抑制するという報告がある。これらの結果を基に、牛乳に含まれるどの成分が血糖上昇抑制効果を示すかについても様々に考察されている。しかし、現状ではまだ不明な点が多い。

そこで、今回の研究では被験者に米飯と共に牛乳、乳糖分解乳、脱脂乳、乳たんぱく質水溶液をそれぞれ飲用させ、食後の血糖値の変動を調べることで、牛乳の飲用による血糖上昇抑制効果に対する乳成分の関与について検討した。

材料と方法

1. 被験食 (試験飲料)

試験食用の米試料として、200 g 入りの包装米飯 (北海道産ななつぼし、東洋水産株式会社) を用いた。過去の文献で行われた GI 値の測定では摂取する糖質量を 50 g²⁾としている関係で米飯量を約 150 g と設定していることが多いが、今回は電子レンジ加熱した後の 200 g 入りの包装米飯 1 パックをそのまま被験者に与えた。

試験飲料用の試料として、成分無調整牛乳 (石狩平野大地の夢牛乳、株式会社ミルクの郷)、乳糖分解乳 (アカディ、雪印メグミルク株式会社)、脱脂粉乳 (北海道スキムミルク、雪印メグミルク株式会社)、ミルクプロテイン粉末 (ニチエー株式会社) を用いた。牛乳と乳糖分解乳はそれぞれ 200 mL をそのまま紙コップに入れて被験者に供した。脱脂粉乳は包装に表示されている方法に従って蒸留水に溶解し、これを脱脂乳としてこのうちの 200 mL を紙コップに入れて被験者に供した。ミルクプロテイン粉末も脱脂粉乳と同様に、包装に表示されている方法に従って蒸留水に溶解し、これを乳たんぱく質水溶液としてこのうちの 200 mL を紙コップに入れて被験者に供した。米飯 200 g 及び各試験飲料 200 mL 中の栄養成分量と、脱脂乳と乳たんぱく質水溶液の具体的な作成方法を表 1 に示した。試験食は、対照食として米飯 200 g と蒸留水 200 mL を与え、試験飲料を用いる場合は試験飲料中に含まれる炭水化物量を考慮して試験食中の炭水化物量が対照食と同じになる様に米飯量を調節した。食品中の炭水化物量とは糖質量と食物繊維量の合計値であり、本来は食後の血糖値に関与する糖質量を同一にするべきである。しかし、今回の研究で用いた包装米飯及び一部の試験試料で糖質量または食物繊維量が表示されていなかった。食物繊維の摂取は食後の急激な血糖上昇を抑制¹²⁾し、特に特定の水溶性食物繊維に強い血糖上昇抑制効果が示されている^{13,14)}。しかし、日本

表 1 米飯及び試験飲料の栄養成分量

	熱量 (kcal)	たんぱく質 (g)	脂質 (g)	炭水化物 (g)
米飯 (200 g)	293	5.4	0.8	66.0
牛乳 (200 mL)	138	6.6	7.8	10.4
乳糖分解乳 (200 mL)	95	5.1	4.7	8.0 ^{*1}
脱脂乳 (200 mL) ^{*2}	76	7.7	0.1	11.0
乳たんぱく質水溶液 (200 mL) ^{*3}	30	6.6	0.1	0.5

*1：乳糖を 1.9 g 含む。

*2：脱脂粉乳 32 g を蒸留水 280 mL に溶解させ（体積として約 300 mL に相当）、そのうちの 200 mL 中の栄養成分量を表示。

*3：ミルクプロテイン粉末 12 g を蒸留水 290 mL に溶解させ（体積として約 300 mL に相当）、そのうちの 200 mL 中の栄養成分量を表示。

表 2 試験食の種類と栄養成分量

試験食 ^{*1}	熱量 (kcal)	たんぱく質 (g)	脂質 (g)	炭水化物 (g)
米飯 200 g + 蒸留水 200 mL (対照食)	293	5.4	0.8	66.0
米飯 169 g + 牛乳 200 mL	386	11.2	8.5	66.0
米飯 175.8 g + 乳糖分解乳 200 mL	353	9.9	5.4	66.0
米飯 166.7 g + 脱脂乳 200 mL	321	12.2	0.8	66.0
米飯 198.6 g + 乳たんぱく質水溶液 200 mL	320	12.0	0.9	66.0

*1：炭水化物量を対照食中の量に合わせるため、各試験食の米飯量を調整。

食品標準成分表 2020 年版（八訂）¹⁵⁾での水稲めし（精白米、うるち米）中の食物繊維量は食品 100 g 当たり 1.5 g で、摂取する炭水化物量を揃えるために米飯量を調節したことによる食物繊維の減少量は 0.5 g 以下であると考えられる。また、日本食品標準成分表 2020 年版に記載されている牛乳及び乳製品の成分値から、今回用いた牛乳及び乳糖分解乳・脱脂粉乳・ミルクプロテイン粉末には食物繊維が含まれておらず、試験飲料からの食物繊維の供給はない。末田ら⁶⁾は食物繊維摂取による血糖上昇抑制には食品中の食物繊維の種類、粘性並びに量が関与するとしている。今回用いた試験食中の食物繊維量は少量であり、試験食間で食物繊維量に大きな違いがないことから、試験食中の食物繊維が結果に影響することはないと思われる。それらの点を踏まえ、今回は試験食中の炭水化物量を揃える形式とした。米飯と試験飲料を合わせた各試験食の種類と栄養成分構成を表 2 に示した。

2. 被験者

本研究の被験者を公募し、9名の成人を被験者とした。いずれも 21～22 歳の女性で、乳・乳製品に対するアレルギー症状がなく、空腹時血糖や血圧が正常で、薬の服用等を行っていない健常な方々であった。

3. 血糖値測定

被験者には試験前日の 20 時より絶食とし、飲酒も控えさせた。試験当日は 9 時 30 分より試験を開始し、始めに空腹時血糖を測定後、被験者に試験食として米飯と試験飲料を与えた。なお、被験者には各回の試験で用いる試験飲料の種類を伏せた状態で試験食を供した。米飯は一口で 20 回以上噛んでから飲み込む様にし、10 分以内に完食させた。試験飲料は食事中に数回に分けて飲用し、これもすべて飲む様にした。

食事開始時刻を 0 分目とし、15、30、45、60、90、120 分目の血糖値を測定した。血糖値の測定は自己式血糖測定器（グルテスト Neo センサー、

三和化学研究所) を用い、被験者各自が穿刺によって指先から得た血液中の血糖値を測定する形式で行った。血糖測定中、被験者は安静にし、過度な運動等の行動は控えさせた。被験者には血糖測定を行ってから次の血糖測定を行うまでに7日間のウォッシュアウト期間を設け、合計で5回の血糖値測定を行った。試験飲料調製の関係で被験者に与える試験飲料は各回全員同じものとし、5回の血糖値測定の試験飲料は蒸留水(対照)、牛乳、乳糖分解乳、脱脂乳、乳たんぱく質水溶液の順であった。なお、本研究は天使大学研究倫理委員会の審査を受け、承認を得た上で医師立会いの下で行った。また、被験者には事前に試験に関する十分な説明を行い、毎回の測定時に試験への参加に同意する旨を文書にて提出させた。

4. 統計処理

得られた結果から各時間での血糖値の平均値と標準誤差を算出すると共に、食後120分間の血糖曲線下面積(AUC: Area Under the Curve)を算

出した。試験食摂取後の各時間での血糖値について、対照食の値との間でpaired t-testを行った。有意水準は5% ($p < 0.05$) とした。また、AUCについては一元配置分散分析を行い、Tukeyの多重比較法により有意差を判定した。有意水準は5% ($p < 0.05$) とした。

結 果

空腹時血糖及び食後120分間での血糖値の変化を図1に示した。まず、空腹時血糖の値はいずれの試験試料摂取群においても対照食摂取の値と比較して有意な差はなかった。

食後の血糖値の変動では、対照食摂取後の血糖値は食後30分で142 mg/dLまで上昇し、その後90分目までは130~140 mg/dLの範囲を維持したが、120分目に114 mg/dLに低下した。対照食の血糖値と比較して牛乳の飲用では食後45、60、90分目に値が有意な低値を示し、有意差は無いものの食後15、30分目でも低値を示す傾向が認められ

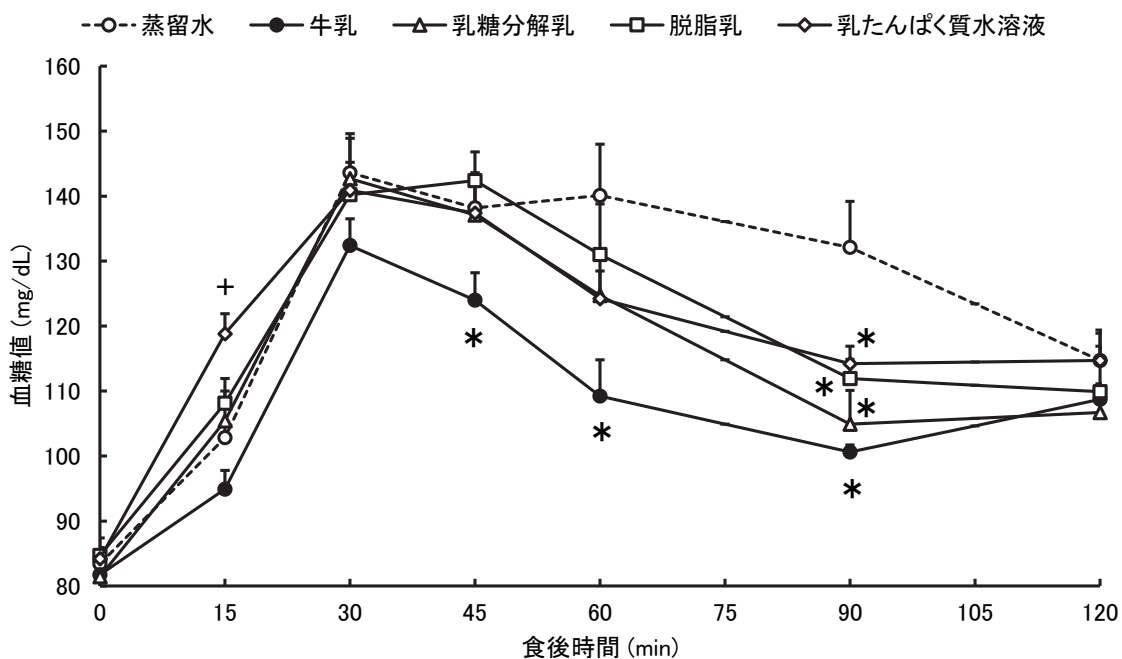


図1 空腹時及び試験食摂取後の血糖値の経時的変化

平均値 ± 標準誤差 (n = 9) .

+ : 同時刻における対照食の値との比較で有意に高値 ($p < 0.05$) .

* : 同時刻における対照食の値との比較で有意に低値 ($p < 0.05$) .

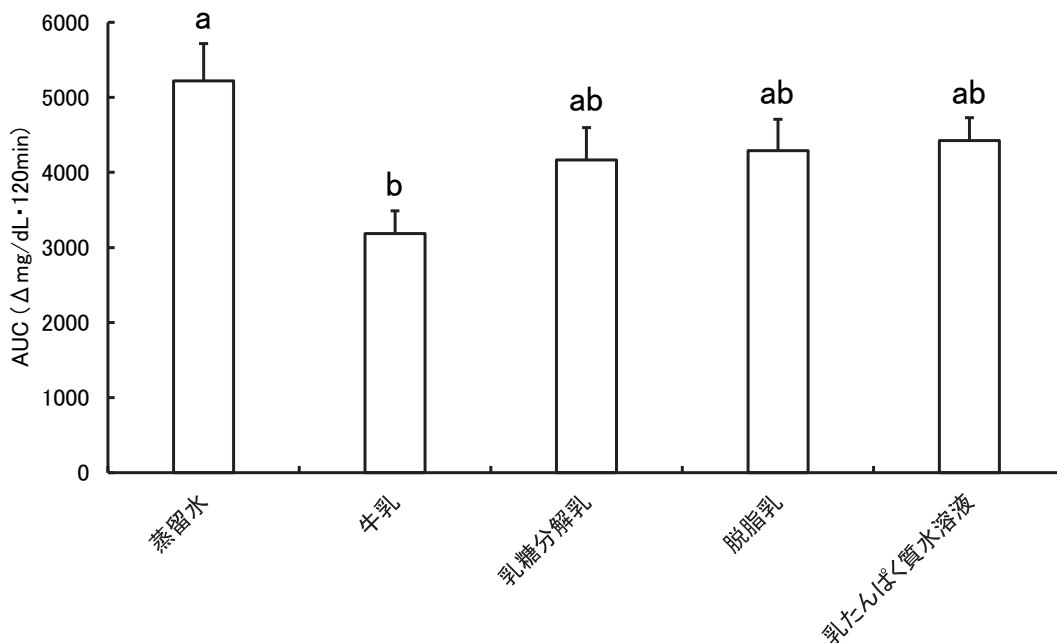


図2 食後 120 分間での総血糖上昇量（血糖曲線下面積（AUC））

平均値 ± 標準誤差 (n = 9).

a, b : 群間で有意差あり ($p < 0.05$).

た。乳糖分解乳では食後 60 分目に値が低下する傾向が認められ、90 分目に血糖値が有意な低値を示した。脱脂乳も乳糖分解乳と同様に食後 60 分目に値が低下する傾向が認められ、90 分目に血糖値が有意な低値を示した。乳たんぱく質水溶液では食後 15 分目に血糖値が有意な高値を示したが、その後は乳糖分解乳や脱脂乳と同様に食後 60 分目に値が低下する傾向が認められ、90 分目に血糖値が有意な低値を示した。

食後 120 分間での総血糖上昇量として、図 1 の血糖曲線下面積 (AUC) の値を図 2 に示した。牛乳摂取による食後 120 分間での総血糖上昇量は、対照食の値と比較して有意に低値を示した。一方、乳糖分解乳、脱脂乳、乳たんぱく質分解乳の場合、平均値の低下は認められるものの、対照食の値と比較して有意差は認められなかった。

考 察

まず、今回の研究において、蒸留水を飲用した対照食摂取での食後血糖値の変動と比較して、牛

乳を飲用した場合の食後の血糖値は 45～90 分にかけて有意な低値を示した。食後 120 分間での総血糖上昇量 (AUC) も対照食と比較して有意な低値を示した。これより、今回の研究結果からも過去の報告と同様に、牛乳には米飯摂取後の血糖値の上昇を抑制する効果があることが確認された。

次に、乳糖分解乳、脱脂乳、乳たんぱく質水溶液のいずれの試験飲料の飲用によっても対照食の結果と比較して食後 90 分目に血糖値の有意な低下が認められた。しかし、食後 60 分目までは血糖値の有意な低下は認められず、総血糖上昇量 (AUC) も対照食との比較で有意な差は認められなかった。3 種類の試験飲料にはいずれも牛乳と同レベルの乳たんぱく質が含まれていることから、食後 90 分目に認められた血糖上昇の抑制は試料中の乳たんぱく質の作用によるものと考えられる。一方、食後 60 分目までで牛乳を飲用した場合に観察された血糖上昇抑制効果が脂質含有率の低い脱脂乳や乳たんぱく質水溶液の飲用では認められなかったことより、牛乳飲用後 60 分目までの段階で生じる血糖上昇抑制効果には乳中の脂質の関

与が大きいと推察される。

牛乳の飲用による食後血糖上昇の抑制効果について、関与していると思われるメカニズムの1つはインスリン分泌量の増加である。本研究では試験食摂取後の血中インスリン濃度の変動を測定していないが、牛乳の飲用によって食後の血中インスリン濃度が牛乳未摂取の時よりも増加する^{8-10,16,17}と報告されている。インスリン分泌を促進する消化管ホルモンとしてインクレチンがあり、glucose inhibitory polypeptide (GIP) と glucagon-like peptide-1 (GLP-1)の2種類が知られている¹⁸。GIPは上部小腸のK細胞から、GLP-1は下部小腸や大腸のL細胞から分泌され、栄養素の腸管通過に伴って分泌量が増加する。そのうち、グルコース投与や食事摂取の際にホエイ(乳清)たんぱく質を投与すると、投与しない場合と比較してGLP-1の分泌が亢進し^{17,19,20}、さらに、ホエイはインクレチン分解酵素のジペプチジルペプチダーゼ-4 (DPP-4)の活性を阻害する¹⁹。また、ホエイ摂取後の血中GLP-1濃度は摂取90~120分後でも高値を示す^{21,22}との報告もある。今回の研究で乳糖分解乳、脱脂乳、乳たんぱく質水溶液のいずれの試験飲料の飲用によっても米飯摂取90分目で血糖上昇の抑制が観察されたが、すべての試験飲料には乳たんぱく質が含まれていることから、この抑制作用は乳たんぱく質によってGLP-1分泌が刺激されたことでインスリンの分泌量が増加したために起きたものと推察する。なお、乳たんぱく質水溶液の飲用で米飯摂取後15分目に对照食摂取と比較して有意な血糖値の上昇が認められた。食後の血糖値を一時的に高める要因としては乳たんぱく質によるグルコースの吸収促進や、肝臓や筋肉中のグリコーゲンの分解促進などが考えられるが、その様な報告事例は過去にないため詳細については不明である。

一方、脂質含量が極めて少ない脱脂乳や乳たんぱく質水溶液では、牛乳の飲用で確認された米飯摂取直後から摂取60分目までの血糖値の上昇抑

制、特に摂取後45、60分目で認められた有意な値の低下は観察されなかった。脂質含量が少ない乳糖分解乳でも米飯摂取後60分目までは血糖上昇抑制効果は観察されなかった。この結果から、牛乳摂取によって生じる食後血糖上昇抑制作用の早期の段階では乳中の脂質が関与すると推察される。坂口ら²³も無脂肪牛乳(乳脂肪分0.2%)や低脂肪牛乳(同1.0%)、混合牛乳(同2.3%)と脂質の含有率が低い試験飲料の飲用では米飯摂取後の血糖値が90分でのみ有意な低値を示したのに対し、高脂肪牛乳(乳脂肪分4.4%)の飲用では米飯摂取後の血糖値が15、30、90分で有意な低値を示しており、乳中の脂質含量の違いによって食後の血糖値の経時的な変化に差が生じると報告している。また、米飯とバターを摂取した場合、バターの摂取量が10gでは食後の血糖上昇抑制は生じない^{3,4,6}が、バターの摂取量を20gに増やすと食後の血糖上昇が抑制される^{7,8}。この時、バター食では牛乳摂取の場合よりもやや早めに血糖上昇の抑制が起きており、これらの報告からも乳中の脂質は牛乳摂取後の早期段階での血糖上昇抑制作用に関与することが示唆される。脂質による食後血糖上昇抑制のメカニズムについては不明な点が多い。脂質もたんぱく質と同様にインクレチン分泌を刺激し²⁴、その効果は中鎖脂肪酸よりも長鎖脂肪酸²⁵、飽和脂肪酸よりも一価不飽和脂肪酸²⁶を構成脂肪酸とする脂質で強いとされる。それに対し、グルコース溶液の投与や食事摂取の際に食品油脂やオレイン酸を合わせて投与した場合、脂質の投与によってインクレチン濃度の増加は認められるもののインスリン濃度は脂質を投与しない場合と差がなく、脂質投与後のインクレチン分泌とインスリン分泌の間に相関性が認められていない^{8,19,27,28}。これについて、脂質や脂肪酸ではDPP-4の活性低下が起こらない^{19,27}との報告があることから、脂質の摂取によってインクレチンの分泌が刺激されても、インクレチンが膵β細胞に作用してインスリン分泌を刺激する前にDPP-4に

よる分解を受けてしまうためだと推察される。その他のメカニズムとして、Collier ら²⁹⁾は脂質によって生じる胃排出の阻害と、それに続くグルコースの吸収遅延を含むいくつかの要因によるものと推察している。胃排出の調節因子には神経系因子、上部・下部消化管ホルモン、血糖値、年齢、性別などがある³⁰⁾。そのうち、脂質による胃排出の抑制作用は消化管ホルモンや神経系を介した胃の平滑筋への作用であると考えられている³¹⁾。脂質を摂取すると胃排出抑制に関わるインクレチン（特に GLP-1）だけでなく、コレシストキニン（CCK）やペプチド YY（PYY）といった消化管ホルモンの分泌が増加する^{27, 32-34)}ことから、牛乳摂取による食後血糖上昇の抑制は、乳脂肪によって分泌が刺激された消化管ホルモンの作用で食後の胃排出が遅延し、それに伴って糖の吸収が遅延したことが要因の一つかもしれない。他の要因として、乳脂肪には構成脂肪酸として炭素数が 8 や 10 の中鎖脂肪酸が数%含まれる³⁵⁾。中鎖脂肪酸摂取後の胃排出速度は長鎖脂肪酸摂取と比較して差がない³⁶⁾。反面、食後の血糖値の上昇は長鎖脂肪酸摂取時よりも有意に抑制される^{37, 38)}との報告がある。これらの研究で用いられた中鎖脂肪酸の量は今回試験飲料として用いた牛乳 200 mL 中の脂質量よりも多いため、牛乳中の中鎖脂肪酸の量で食後の血糖上昇抑制効果を示すことができるかについて、今後検討が必要であろう。

今回、乳糖分解乳の飲用でも食後 60 分目までの血糖値の上昇抑制効果が消失した。これについては先にも述べた様に、今回の研究で用いた乳糖分解乳は牛乳よりも脂質含量が少ない影響で脂質による血糖上昇抑制作用が強く働かなかつたと考えられる。また、乳糖分解乳ではあらかじめ乳糖を分解してガラクトースとグルコースにしている関係で元々のグルコース含量が牛乳よりも多くなっているため、乳糖分解乳飲用後の小腸からのグルコースの吸収速度が他の試験試料摂取と比較して速く、その影響で血糖値の上昇速度も速くなっ

たことが要因だと考える。

以上のことから、牛乳の飲用によって生じる米飯摂取後の血糖上昇抑制作用には乳中のたんぱく質と脂質が関与し、脂質は食後の早い段階、たんぱく質は遅い段階での血糖上昇抑制に関わっていると考える。Carrel ら³⁹⁾は食後のインクレチン分泌とインスリン分泌の増加には食事時の脂質が関与し、たんぱく質は寄与していないと報告しているが、この時に用いられた試料は脂質がバターなのに対し、たんぱく質は乾燥肉であった。乳たんぱく質、特にホエイは強い GLP-1 放出刺激因子であることから、牛乳摂取によって生じる食後血糖上昇抑制効果は乳中の脂質とたんぱく質双方の作用が組み合わさったものと推察する。食後の高血糖は糖尿病発症の危険因子であるだけでなく、心血管疾患発症の危険因子でもある⁴⁰⁾。その意味で、食後の血糖上昇抑制作用という機能性を有する牛乳の摂取は、日頃から手軽に行える栄養管理の面で非常に有意義である。

利益相反 (COI)

本研究において、COI に該当する事項はない。

参考文献

- 1) 厚生労働省：令和元年国民健康・栄養調査結果の概要，p. 20，2020.
- 2) Jenkins, D. J., *et al.* : Glycemic index of foods: a physiological basis for carbohydrate exchange. , *Am. J. Clin. Nutr.*, 34(3), 362-366, 1981.
- 3) Sugiyama, M., *et al.* : Glycemic index of single and mixed meal foods among common Japanese foods with white rice as a reference food. , *Eur. J. Clin. Nutr.*, 57, 743-752, 2003.
- 4) 若木陽子 他：米飯と酢，大豆，牛乳，乳製

- 品の組み合わせ食のグリセミック・インデックス, Health Science, 17(3), 133-1142, 2001.
- 5) 坂口名菜 他：女子学生における牛乳の脂肪量による食後高血糖抑制効果の検討, 栄養学雑誌, 67(1), 9-13, 2009.
- 6) 末田香里 他：健常女子大学生における米飯の食後血糖に及ぼす食物繊維, 酢, 油, 大豆製品, 牛乳・乳製品の影響, 心身科学, 1(1), 23-30, 2009.
- 7) 末田香里、奥田みゆき：女子大学生における米飯の食後血糖に及ぼす牛乳中たんぱく質・脂質の血糖上昇抑制効果, 愛知学院大学心身科学部紀要, 7, 43-49, 2011.
- 8) 末田香里 他：米飯の食後血糖上昇に及ぼす牛乳たんぱく質・脂質の影響, 日本病態栄養学会誌, 16(2), 191-198, 2013.
- 9) 末田香里 他：米飯の食後血糖に及ぼす牛乳・納豆の摂食時刻, 心身科学, 5(1), 63-71, 2013.
- 10) 末田香里 他：牛乳の食後血糖上昇抑制効果：米飯と牛乳の飲む順序の検討, 日本病態栄養学会誌, 19(3), 369-376, 2016.
- 11) Yagi. M., *et al.* : Effect of yogurt on postprandial blood glucose after steamed rice intake., Glycative Stress Research, 5(1), 68-74, 2018.
- 12) 池田義男、森 豊：肥満, 耐糖能障害（糖尿病）に及ぼす食物繊維の効果, 日本食物繊維研究会誌, 2(2), 59-66, 1998.
- 13) 奥 恒行 他：人における低分子化アルギン酸の血糖上昇ならびにインスリン分泌抑制効果, 日本食物繊維研究会誌, 1(1), 13-18, 1997.
- 14) 若林 茂 他：健常人の食後血糖値に及ぼす難消化性デキストリンの影響, 日本食物繊維研究会誌, 3(1), 13-19, 1999.
- 15) 文部科学省科学技術・学術審議会資源調査分科会報告：日本食品標準成分表 2020 年版（八訂）, 蔦友印刷, 2020.
- 16) Elmstahl, H. L., Björck, I. : Milk as a supplement to mixed meals may elevate postprandial insulinaemia., Eur. J. Clin. Nutr., 55(11), 994-999, 2001.
- 17) Nilsson, M., *et al.* : Glycemia and insulinemia in healthy subjects after lactose-equivalent meals of milk and other food proteins: the role of plasma amino acids and incretins., Am. J. Clin. Nutr., 80(5), 49-60, 2008.
- 18) 原田範雄、稲垣暢也：栄養素に対する腸管内分泌細胞からのインクレチン分泌, 糖尿病, 61(3), 104-106, 2018.
- 19) Gunnarsson, P. T., *et al.* : Glucose-induced incretin hormone release and inactivation are differently modulated by oral fat and protein in mice., Endocrinology, 147(7), 3173-3180, 2006.
- 20) Jakubowicz, D., *et al.* : Incretin, insulinotropic and glucose-lowering effects of whey protein pre-load in type 2 diabetes: a randomised clinical trial., Diabetologia, 57(9), 1807-1811, 2014.
- 21) Hall, W. L., *et al.* : Casein and whey exert different effects on plasma amino acid profiles, gastrointestinal hormone secretion and appetite., Br. J. Nutr., 89(2), 239-248, 2003.
- 22) Calbet, J. A. L., Holst, J. J. : Gastric emptying, gastric secretion and enterogastrone response after administration of milk proteins or their peptide hydrolysates in humans., Eur. J. Nutr., 43(3), 127-139, 2004.
- 23) 坂口名菜 他：女子学生における牛乳の脂肪量による食後高血糖抑制効果の検討, 栄養学

- 雑誌, 67(1), 9-13, 2009.
- 24) Stephanie, M., *et al.* : Stimulation of incretin secretion by dietary lipid: is it dose dependent?., *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.*, 297(2), G299-G305, 2009.
- 25) 深瀬憲雄 他：経口脂肪負荷による gastric inhibitory polypeptide (GIP) および truncated glucagon-like peptide-1 (tGLP-1) の分泌機構の検討, *糖尿病*, 34(6), 515-521, 1991.
- 26) Rocca, A. S., *et al.* : Monounsaturated fatty acid diets improve glycemic tolerance through increased secretion of glucagon-like peptide-1., *Endocrinology*, 142(3), 1148-1155, 2001.
- 27) Carr, R. D., *et al.* : Incretin and islet hormonal response to fat and protein ingestion in healthy men., *Am. J. Physiol. Endocrinol. Metab.*, 295(4), E779-E784, 2008.
- 28) Yamaguchi, C., *et al.* : Investigation of dose-dependent effects of fat on blood glucose, serum insulin, and appetite sensation., *J. Med. Invest.*, 65(3,4), 203-207, 2018.
- 29) Collier, G., O' Dea, K. : The effect of coingestion of fat on the glucose, insulin, and gastric inhibitory polypeptide responses to carbohydrate and protein., *Am. J. Clin. Nutr.*, 37(6), 941-944, 1983.
- 30) 内藤広郎、柴田 近：胃排出を調節する生体環境, *日消誌*, 95(12), 1317-1326, 1998.
- 31) 原 博：脂質の消化管機能調節作用, *日本油化学会誌*, 46(10), 1237-1246, 1997.
- 32) Gentilcore, D., *et al.* : Effect of fat on gastric emptying of and the glycemic, insulin, and incretin responses to a carbohydrate meal in type 2 diabetes., *J. Clin. Endocrinol. Metab.*, 91(6), 2062-2067, 2006.
- 33) Little, T. J., *et al.* : Modulation by high-fat diets of gastrointestinal function and hormones associated with the regulation of energy intake: implications for the pathophysiology of obesity., *Am. J. Clin. Nutr.*, 86(3), 531-541, 2007.
- 34) Dirksen, C., *et al.* : Energy intake, gastrointestinal transit, and gut hormone release in response to oral triglycerides and fatty acids in men with and without severe obesity., *Am. J. Physiol. Gastrointest. Liver Physiol.*, 316(3), G332-G337, 2019.
- 35) 今泉勝己：牛乳中の脂質の組成とその構造, 上野川修一 編：乳の科学, p.24, 朝倉書店, 2015.
- 36) 小川明子 他：中鎖脂肪酸トリグリセリド (MCT) および中・長鎖脂肪酸トリグリセリド (MLCT) の胃排出速度に及ぼす影響について, *消化と吸収*, 29(2), 80-82, 2007.
- 37) 倉賀野妙子 他：中鎖脂肪を用いたビスケットの単回摂取による血中脂質・血糖値の動向, *栄養学雑誌*, 66(6), 287-294, 2008.
- 38) 大喜多祥子 他：生活習慣病に配慮した低GI ビスケットの検討 -中鎖脂肪 (MCT) と機能性糖質甘味料を用いて-, *日本調理科学会誌*, 42(6), 386-393, 2009.
- 39) Carrel, G., *et al.* : Contributions of fat and protein to the incretin effect of a mixed meal., *Am. J. Clin. Nutr.*, 94(4), 997-1003, 2011.
- 40) 門脇 孝：空腹時・食後高血糖とその診断基準, *日内会誌*, 98(4), 717-724, 2009.