

牛乳摂取が食後血糖及び食事誘発性熱産生(DIT) に与える影響に関する研究

神奈川県立保健福祉大学：中村丁次、小栗靖生、林純平、川口祐美、柏絵理子、倉貫早智

I 総序論

牛乳は、カルシウムや良質なタンパク質が多く含まれ栄養価が高い食品であるため、いずれのライフステージにおいてもその摂取は栄養上重要である。ところが、平成20年の国民健康・栄養調査によると、乳類の摂取量は、男女とも20歳代から40歳代でその摂取量が低く、一日の摂取量は男性で80g、女性で70g程度ある¹⁾。この年代のカルシウム摂取量をみると、男女とも一日約450mgの摂取で、日本人の食事摂取基準(2010年度版)で策定されている推奨量の60%に留まっている²⁾。この背景には、牛乳のもつ栄養学的意義よりも、「牛乳を飲むと太る」といった誤った認識が広まっていること、また健康志向の高い人たちにおいて、野菜ジュースやお茶等を飲む習慣が広がっていることも関連している可能性が考えられる。

また牛乳のもつ機能性は、食事と摂取した場合に栄養価を高め、食後の血糖上昇を抑制するだけでなく、牛乳の摂取により一日の消費エネルギーの10%程度を占める食後誘発性熱産生(diet-induced thermogenesis: 以下DIT)を増加させることが報告されている³⁾。DITは、自律神経活動を介したエネルギー調節機能の上で注目されており、牛乳がDITを上昇させることができれば、エネルギー出納を調節する機能を持つ食品としての付加価値が見出される。

そこで本研究では、まず「研究Ⅰ 牛乳が食後血糖に及ぼす影響」について、『食事バランスガイド』(2005年6月、厚生労働省と農林水産省が共同で策定)に基づいた食事構成、つまり主食、主菜、副菜が揃った日本人の一般的な食事パターンと牛乳の組み合わせが食後血糖の上昇に及ぼす影響を検討した。さらに、「研究Ⅱ 食事における牛乳摂取がDITに及ぼす影響」について、食事に付加する飲料として牛乳を摂取することがDITに及ぼす影響について、野菜ジュースを摂取した場合と比較して検討を行った。

Ⅱ 「研究Ⅰ 牛乳が食後血糖に及ぼす影響」

Ⅱ-1 序論

食後の血糖変動は摂取した食事中の炭水化物量を反映する。食後高血糖は心血管疾患のリスクファクターであるため、食後血糖の上昇を抑制する食事方法として、現在ではグリセミック・インデックス(glycemic index: 以下GI)やカーボカウントの指標も用いられている。

これまでの報告では、若木らにより米飯を酢の物、牛乳・ヨーグルト、大豆製品と組み合わせで摂取した場合のGI値は、米飯のみを摂取した場合よりも低下することが報告されており⁴⁾、GIは米飯の加工・調理方法、酢の添加に加え、大豆製品、牛乳・乳製品など高タンパク質食品との食べ合わせによって大きく低下することが明らかとなっている。つまり、米飯のみを摂取した場合と比較して、米飯の加工・調理方法、酢、大豆製品に加え牛乳・乳製品などとの食べ合わせによって大きく低下することが明らかとなっている。

ところで一般的に食事は、主食のみではなく、主菜や副菜を同時に摂取する構成となっている。そこで本研究では、主食のみではなく、主食、主菜、副菜が揃った日本人の一般的な食事パターンと牛乳を組み合わせた『食事バランスガイド』に基づいた食事構成と、食後血糖上昇との関係を検討することとした。具体的には、朝食の内容を想定し、主食、主菜から成るサンドイッチ、または副菜を組み合わせた食事、更に牛乳を加えた食事を摂取した際の食後血糖の変化に着目し、実際の食生活の中で、食事の組み合わせと血糖コントロールにおける牛乳の関連を検証することとした。

II-2 実験方法

1) 被験者

被験者は、2010年6月から2010年10月にかけて、自由意思で参加した喫煙習慣がない健康な女子大学生とした(被験者数9名、平均年齢 20.1 ± 0.8 歳)(表1)。全被験者に自己血糖測定(self-monitoring of blood glucose: SMBG)、ヴィジュアルアナログスケール(Visual Analogue Scale: 以下VAS)による満腹感の測定を実施した。あらかじめ、全ての被験者に研究の目的と手順を説明して、途中で辞退できることを理解させた上で、文書による実験参加の同意を得た。なお、本研究は神奈川県立保健福祉大学研究倫理委員会の承認(承認番号22-32-004)を得て行われた。

2) 実験プロトコル

(1) タイムスケジュール

被験者1人につき3種類の試験食を用いて実験を行った。実験の測定は1日以上空けて実施した。各被験者に、実験前日は21時までに夕食を食べ終え、その後は絶食とし、水分のみ自由摂取として、23時以前に就寝するように依頼した。実験当日、被験者は食事摂取1時間前である8:00までに本大学の実験室に来室し、身長、体重、体脂肪率を測定した。体重、体脂肪率の測定にはInBody3.2(Biospace社製)を使用した。身体計測後は安静を保った。測定した実験室の室温は 23°C - 27°C の範囲を維持した。

(2) 試験食

試験食は3種類用いた(表2)。試験食は市販品を用い、ハムたまごサンド1パック、ミニトマト60g、牛乳200mlを摂取することとした。つまり試験食1はハムたまごサンドと水200ml、試験食2はハムたまごサンド、ミニトマト、水、試験食3はハムたまごサンド、ミニトマト、牛乳とした。エネルギー量および栄養素量は、5訂日本食品成分表(女子栄養大学出版部)および購入した試験食に記載された栄養表示を参照して算出した。

3) 測定および評価項目

(1) 血糖値の測定

血糖値の測定には、株式会社三和化学研究所の血糖測定機器を使用した。採血用穿刺器具ジェントレットと採血針ジェントレット針を用い、被験者自身により指先から微量血液採取を行った。血液はグルテストNEOセンサーに採取し、自己検査用グルコース測定器グルテストNeoスーパーを用いて血糖値を測定した。

測定は、試験食を食べ始めた時点を0分とし、食直前、食後15分、30分、45分、60分、90分、120分、150分、180分の計9回測定した。

(2) 血糖曲線下面積の算出

結果の検討は0-30分(30分値)、0-60分(60分値)、0-120分(120分値)および0-180分(180分値)の血糖曲線下面積(Area Under Curve: AUC)を食後血糖の累積値として算出した⁵⁾。また、試験食ごとに栄養素組成が異なるため炭水化物20gあたり、エネルギー100kcalあたりに換算した食後血糖の累積値についても検討を行った。

(3) 満腹感の評価

VASを用いて満腹感の評価した⁶⁾。VASを100mmの線分の左端の0mmを空腹、右端の100mmを満腹と設定して、被験者は満腹感の程度をVASの線分上に記載して、左端からの長さを満腹感の値として評価した。満腹感の評価は、試験食を食べ始めた時点を0分とし、食直前、食後30分、60分、90分、120分、180分の計6回実施した。なお、各時間帯のAUCを満腹感の累積値として算出した。

4) 統計処理

データはすべて平均値±標準偏差で表した。統計処理にはSPSS (SPSS 17.0J for Windows)を用いた。満腹感の時系列による変化は二元配置分散分析を行い、時間と時間・摂食時における有意差を求めた。食前からの変化は反復測定による一元配置の分散分析を用いて検定し、その後の検定にDunnnettの検定を用いた。各摂食時における食後血糖値と満腹感の比較は、一元配置の分散分析を用いて検定し、多重比較はBonferroniの検定を行った。有意水準は、5%未満を有意差ありとした。

II-3 結果

1) 血糖値

(1) 1食当たりの食後血糖の累積値

試験食ごとに対象者9名の食後血糖の累積値を、図1に示した。空腹時血糖は試験食1、試験食2、試験食3でそれぞれ86.6±8.0、80.7±11.6、86.9±6.1 mg/dlであり、有意な差異は認められなかった。試験食の摂取により食後血糖の増加が観察された。しかし、試験食摂取後30分、60分、120分、180分の食後血糖の累積値には、摂食時ごとに有意な差異はみられなかった。

(2) 炭水化物20gあたりの食後血糖の累積値

食後血糖の累積値を炭水化物20gあたりに補正した結果を、図2に示した。炭水化物量が等しくなるよう補正した場合、主食、主菜から成る試験食1では食後180分間にわたり高い値が観察され、副菜を組み合わせた試験食2、さらに牛乳を組み合わせた試験食3では、摂取した料理数が増加するに従い、累積値の低下がみられた。摂食後30分、60分、120分、180分の各時間の食後血糖の累積値には、摂食時ごとに有意な差異が観察された。摂食後180分間の累積値は試験食1、試験食2、試験食3でそれぞれ14230.03±1225.09、12039.18±894.59、9149.73±618.85 mg/dl/炭水化物20g/180minであり、試験食3では試験食1、試験食2と比較して有意な累積値の低下が認められた(p<0.01)。

(3) エネルギー100kcalあたりの食後血糖の累積値

食後血糖の累積値をエネルギー100kcalあたりに補正した結果を図3に示した。摂取エネルギー量が等しくなるよう補正した場合、炭水化物20gあたりの食後血糖の累積値と同様に、試験食1では食後180分間にわたり高い値が観察され、試験食2、試験食3では、摂取した料理数が増加するに従い、累積値の低下がみられた。摂食後120分まで、試験食3では、試験食1、2と比較して有意な血糖値の低下が認められた($p < 0.01$)。加えて、摂食後180分間の累積値は、試験食1、試験食2、試験食3でそれぞれ 5363.97 ± 461.80 、 5075.69 ± 377.13 、 3698.42 ± 250.15 mg/dl/エネルギー100kcal/180minであり、試験食3では有意な食後血糖値の低下が認められ($p < 0.01$)、試験食2においても、試験食1と比較して食後血糖値が低下する傾向が観察された($p = 0.091$)。

2) 満腹感

(1) 満腹感の経時的変化

満腹感の経時的変化を図4に示した。満腹感の各摂食時における時系列の変化に有意差が認められた($p < 0.05$)。満腹感は、各摂食時とも食直後に大きく上昇し、摂食後30分にそれぞれ 61.3 ± 21.1 、 63.3 ± 29.6 、 75.9 ± 18.3 mmと最大値を示し、その後は時間とともに徐々に低下した。試験食1、試験食3では、試験食摂取後180分まで空腹時と比較して有意な満腹感の増加が観察された($p < 0.01$)。試験食2では、摂食後120分まで有意な増加がみられ($p < 0.01$)、摂食後180分には増加する傾向が観察された($p = 0.051$)。試験食3は、食後30分、60分、90分に試験食1と比較して有意な満腹感の増加がみられ($p < 0.05$)、摂食後180分には試験食2と比較して有意な増加が観察された($p < 0.05$)。摂食後120分には試験食1、試験食2と比較して、満腹感が増加する傾向が観察された(試験食1: $p = 0.066$ 、試験食2: $p = 0.081$)。

(2) 満腹感の累積値

満腹感の経時的変化(図4)より、満腹感の累積値を算出した(図5)。摂食後30、60、120、180分間の各時間において、試験食1と比較して試験食3では有意な満腹感の増加が観察された($p < 0.05$)。食後180分間の累積値は試験食1、試験食2、試験食3でそれぞれ 7206.7 ± 4033.9 、 7455.0 ± 3963.1 、 9935.0 ± 2944.4 mm/180minであり、試験食3は、試験食1と比較して有意に満腹感が増加し($p < 0.05$)、試験食2と比較した場合にも満腹感が増加する傾向が認められた($p = 0.066$)。

II-4 考察

本研究では、健康で喫煙習慣のない女子大学生を被験者とし、主食、主菜としてのサンドイッチに、副菜を組み合わせた食事、更に牛乳を加えた食事の3つの試験食を用いて、牛乳が食後血糖に及ぼす影響を、血糖および満腹感を評価項目として検討した。

本研究では9名の被験者を対象に、3種類の試験食を用いた実験を実施し、分析を行った。各摂食時における被験者の身体的特徴に有意な差は認められなかったため、被験者の偏りはなかった(表1)。

1) 食後血糖値

現在行われている糖尿病患者のための食事療法には、カーボカウント、GIや食品交換表などが

ある。カーボカウント法およびGIは食後の血糖変動に影響する糖質に着目したものであり、前者は糖質の量に、後者は糖質の質を考慮して食事の摂り方について調節する方法である。一方、食品交換表は、特に2型糖尿病患者の食事療法で利用されることが多く、摂取エネルギーをコントロールしながら食事制限を行っていく方法である。本研究では日常的な食事に牛乳を補食することによる、食後血糖に及ぼす影響を検証する目的で、試験食のエネルギー量及び栄養素組成を一律のものとしなかった。このために1食あたりの食後血糖値の変化(図1)に加え、炭水化物(図2)およびエネルギー摂取量(図3)が等しくなるように補正した場合についても検討した。なお糖質量に着目したカーボカウント法およびGIは、欧米の食事を中心に広がったものであり、本研究においては炭水化物摂取量に着目し、分析を行った。

食後血糖の累積値の結果(図1)から、1食あたりの食後血糖値は主食、主菜から成る試験食1、副菜を加えた試験食2、さらに牛乳を加えた試験食3において、差異がないことが明らかとなった。食事の料理品目を増やすことにより、栄養素組成の面から、エネルギーおよび炭水化物摂取量が増加したが、有意な血糖増加には繋がらなかった。

炭水化物摂取量を揃えた場合、副菜を加えた試験食2では、試験食1と比較して有意な食後血糖の低下がみられ、さらに牛乳を加えた試験食3では、試験食1、試験食2と比較して有意な低下が観察された。エネルギー摂取量を揃えた場合においても、炭水化物摂取量で補正した値と同様の傾向が観察され、試験食3では牛乳の摂取により、試験食1、試験食2と比較して有意な食後血糖の低下が観察された。

試験食1と試験食2を比較した場合、副菜に多く含まれる食物繊維が血糖抑制に作用したと考えられる。副菜に多く含まれる食物繊維は、糖質の分解、吸収遅延をもたらし、食後血糖値の上昇抑制とインスリンの節約作用を発揮すると考えられている⁷⁾。本研究では、主食、主菜に副菜を組み合わせることにより食後血糖の抑制がみられることが明らかとなった。

一方、試験食2と試験食3を比較した場合には食物繊維摂取量は等しいため、牛乳の摂取が影響したといえる。牛乳の摂取に関して、米飯に牛乳・ヨーグルトを組み合わせる場合のGI値は、主食である米飯のみを摂取した場合よりも低下することが報告されている⁴⁾。また栄養素の影響を検討すると、脂質は食品の胃からの排泄、消化を遅らせるため、試験食3では、牛乳中の脂肪が作用し、食後の血糖上昇を抑制することが推察された。加えて、牛乳に含まれる、乳清タンパクがインスリン分泌を促進することが報告されており⁸⁾⁹⁾、本研究においても牛乳中のタンパク質がインスリン分泌に作用し、試験食3では食後の血糖上昇を緩和した可能性が考えられた。

試験食1と試験食3を比較した場合、炭水化物及びエネルギー摂取量を補正し、一律にそろえた際に、顕著に差異がみられた。各摂食時を比較した場合に、試験食1と試験食3の比較において最も顕著な差異がみられ、両摂食時の差異には、食物繊維と牛乳の2つの要因による影響が考えられた。試験食1と試験食2、試験食2と試験食3の比較ならびに先行研究の結果^{4) 7)}から、食物繊維ならびに牛乳単体の血糖抑制効果が明らかとなっている。牛乳はカルシウムや良質なタンパク質が多く含まれ栄養価が高い食品であるが、食物繊維は含まない。本研究の結果から、副菜と牛乳を同時に付加的に摂取することにより、2つの要因が食後血糖の抑制に相加、相乗的に作用し、有意な血糖抑制を引き起こすことが示唆された。

以上の結果から、主食、主菜からなる食事に、副菜、牛乳を加えた場合、炭水化物ならびにエ

エネルギー摂取量が増加するにも関わらず、食後の血糖値を増加させないことが明らかとなった。また、等量の炭水化物およびエネルギーを摂取したと仮定した場合、副菜ならびに牛乳の摂取が、有意に食後の血糖増加を抑制し、副菜と牛乳を同時に摂取することにより更なる食後血糖の抑制効果が得られることが明らかとなった。

2) 満腹感

VASを用いた満腹感の経時的変化(図4)結果から、各摂食時において、満腹感の変化に有意な差異が認められ、空腹時と比較して食後に有意な満腹感の増加が観察された。また試験食3は、試験食1と比較して食後90分まで有意な満腹感の増加がみられ、180分には試験食2と比較して有意な増加が認められた。また満腹感の累積値(図5)の結果から、牛乳を加えた試験食3では、試験食1と比較して有意に満腹感が高まることが明らかとなり、副菜のみを加えた試験食2と比べても増加する傾向がみられた。満腹感は、高タンパク質食の摂取により増加することが報告されており¹⁰⁾、牛乳を付加することによるタンパク質摂取量の増加が、満腹感の増加に寄与した可能性がある。結果、主食、主菜のみからなる1品の食事や、副菜を追加した食事に比べ、牛乳を加えた食事では満腹感が高まることが明らかとなった。

以上の結果より、主食、主菜、副菜のそろった一般的な食事構成に牛乳を加えることは、食後の血糖増加を抑制し、同時に満腹感を高め、肥満及び糖尿病等の予防改善に寄与する可能性が示唆された。

Ⅲ 「研究2 食事における牛乳摂取がDITに及ぼす影響」

Ⅲ-1 序論

エネルギー消費量は、主に安静時代謝量、活動代謝量およびDITから構成されている。DITは、食事によって上昇するエネルギー消費であり、脂質で0-3%、炭水化物で5-10%、タンパク質で20-30%とされ、一日の総エネルギー消費量の10%に相当する¹¹⁾。DITと肥満との関連では、DITは肥満者で小さく、やせで大きいことが報告されている¹²⁾。DITは、自律神経活動を介したエネルギー調節機能の上で注目されており、牛乳がDITを上昇させることができれば、エネルギー出納を調節する機能を持つ食品としての付加価値が見出される。また牛乳摂取とDITに関する先行研究³⁾は、牛乳単体としての効果を検証したものであり、食事構成の中に牛乳を加えた場合の食後の生体反応については検証されておらず、自律神経系の関与についても言及されていない。加えて、日本人の成人における牛乳・乳製品摂取状況とメタボリックシンドロームの関係についての横断的研究において、非喫煙女性で牛乳・乳製品の摂取量が多いグループほどメタボリックシンドロームに該当する者が有意に少なく、非喫煙男性でも同様の傾向がみられたことが報告されている¹³⁾。このため牛乳摂取は、エネルギー消費量の増大等、エネルギー出納の調節機構に作用し、肥満予防に有効的に働くことが予測される。

そこで、研究Ⅱとして主食、主菜、副菜の揃った食事に牛乳または野菜ジュースを組み合わせた場合のDITへの影響と自律神経活動、満腹感を測定し、食事における牛乳摂取がDITに及ぼす影響を検証することとした。

Ⅲ-2 実験方法

1) 被験者

被験者は、2010年6月から2010年10月にかけて、自由意思で参加した喫煙習慣がない健康な女子大学生とした(被験者数9名、平均年齢 20.1 ± 0.8 歳)(表3)。全被験者に、エネルギー消費量、呼吸商(respiratory quotient: 以下RQ)、自律神経活動、ヴィジュアルアナログスケール(Visual Analogue Scale: 以下VAS)による満腹感の測定、自己血糖測定(self-monitoring of blood glucose: SMBG)を実施した。あらかじめ、全ての被験者に研究の目的と手順を説明して、途中で辞退できることを理解させた上で、文書による実験参加の同意を得た。なお、本研究は神奈川県立保健福祉大学研究倫理委員会の承認(承認番号22-32-004)を得て行われた。

2) 実験プロトコル

(1) タイムスケジュール

被験者1人につき2種類の試験食を用いて実験を行った。それぞれの試験食を用いた実験の測定は1日以上空けて実施した。各被験者に、実験前日は21時までに夕食を食べ終え、その後は絶食とし、水分のみ自由摂取として、23時以前に就寝するように依頼した。実験当日、被験者は食事摂取1時間前である8:00までに本大学の実験室に来室し、身長、体重、体脂肪率、除脂肪体重を測定した。体重、体脂肪率、除脂肪体重の測定にはInBody3.2を使用した。身体計測後は安静を保った。自律神経活動を測定するために、心電図RR間隔自動計測システムであるアクティブトレーサーAC301AまたはAC301を装着し、朝食前の安静時エネルギー消費量を測定するために、座位または横臥位で30分間の安静を保持した。この際に体温、血圧、心拍数を測定した。測定以外の時間は活動によるエネルギー消費量の上昇を抑えるため、被験者は本を読むなどして静かに過ごした。測定した実験室の室温は 23°C - 27°C の範囲を維持した。なお、採血による自律神経系への影響を考慮して、血糖値の測定は同一条件のもと、別日程で行った。

(2) 試験食

試験食は2種類用いた(表4)。試験食は市販品を用い、ハムたまごサンド1パック、ミニトマト60g、牛乳または野菜ジュースを200mL摂取することとし、ハムたまごサンドとミニトマトに牛乳を付加した場合を牛乳付加食、野菜ジュースを付加した場合を、野菜ジュース付加食とした。エネルギー量および栄養素量は、5訂日本食品成分表(女子栄養大学出版社)および購入した試験食に記載された栄養表示を参照して算出した。

3) 測定および評価項目

(1) エネルギー消費量および呼吸商(RQ)の測定

エネルギー消費量は、間接熱量計であるエアロモニタAE-301Sと解析ソフトAT for Windows(共にミナト医科学株式会社)を用いて測定した。エアロモニタはガス分析計(O_2 ・ CO_2 濃度計)と呼吸流量計の測定機能を組み合わせて一体化し、マイクロコンピュータで制御することにより、簡易な操作で生体の代謝を表わす重要な指標の一つである、酸素摂取量・炭酸ガス排泄量を breath-by-breath 法で連続的に求めるものである。また解析ソフトAT for Windowsはエアロモ

ニタによって測定した呼吸代謝データを解析、評価するためのソフトウェアである。キャノピーを蛇管でエアロモニタとつないで設置し、被験者がキャノピーを被り、エアロモニタで呼気ガスを測定した。測定された呼気ガスは分析され、コンピュータにエネルギー消費量、RQ、酸素消費量、炭酸ガス産生量が30秒ごとに出力された。

測定当日の測定開始前に一度、ガス・キャリブレーションによる校正を行い、測定と測定の間にもガス・キャリブレーションを行った。測定開始から5分間の測定値を除外し、安静状態が保たれた測定値を10分間の平均値として求め、測定開始時刻のエネルギー消費量[kcal/day]およびRQとして用いた。安静時エネルギー消費量を15分測定した後、キャノピーの外に出て試験食を15分間で摂取した。その後食後60分間までの値を連続で測定し、食後180分間までを30分ごとに測定した。

(2) 食事誘発性熱産生 (DIT) の評価

本研究における「DIT」は、食事の影響のみを評価するために、各食前の安静時エネルギー消費量からの食後のエネルギー消費量の上昇量として示した。すなわち、「DIT」=測定時のエネルギー消費量-各食前の安静時エネルギー消費量で算出して、さらに、被験者の体格による影響をなくすために、体重当たりのDITを求めて、1分当たりに変換した値として示した。「累積DIT」は、食事開始からのDITの曲線下面積(AUC)を、台形の面積を求める公式を用いて算出した⁵⁾。なお、2つの試験食のエネルギー量の違いによる影響をなくすために、エネルギー100kcalあたりのDITについても検討した。

(3) 自律神経活動

被験者は、HOLTER心電図の誘導法を用いて、胸骨上端、左5、6肋骨、および右肋骨の3カ所に電極を貼り、心電図RR間隔自動計測システムであるアクティブトレーサーAC-301AまたはAC-301を装着した。測定開始から終了までのRR間隔を測定した。アクティブトレーサーにより測定されたRR間隔の心拍ゆらぎの様相は、時系列データ解析プログラムMemCalc/Winを用いて、1分間ごとにパワースペクトル解析をして表示させた。0.04-0.15Hzの周波数帯を低周波数(low frequency: 以下LF)成分として、0.15-0.4Hzの周波数帯を高周波数(high frequency: 以下HF)成分として抽出して、交感神経活動の指標としてLF/HF比、副交感神経活動の指標としてHF値[msec²]を得た¹⁴⁾。自律神経活動の測定値は、エネルギー消費量を測定している間の安静状態およそ10分間を抽出して、その平均値を評価に用いた。

(4) 満腹感の評価

VASを用いて満腹感を評価した⁶⁾。VASを100mmの線分の左端の0mmを空腹、右端の100mmを満腹と設定して、被験者は満腹感の程度をVASの線分上に記載して、左端からの長さを満腹感の値として評価した。満腹感の評価はエネルギー消費量測定前、摂食直後、各測定終了後である、食後60分、90分、120分、150分、180分の計7回実施した。

(5) 血糖値の測定

採血用穿刺器具ジェントレットと採血針ジェントレット針を用い、被験者自身により指先から微量血液採取を行った。血液はグルテストNEOセンサーに採取し、自己検査用グルコース測定器グルテストNeoスーパーを用いて血糖値を測定した。

測定は、試験食を食べ始めた時点を0分とし、食直前、食後15分、30分、45分、60分、90分、

120分、150分、180分の計9回測定した。なお、2つの試験食のエネルギー量の違いによる影響をなくすために、DIT同様に、エネルギー100kcalあたりの血糖値についても検討した。

4) 統計処理

データはすべて平均値±標準偏差で表した。統計処理にはSPSS (SPSS 17.0J for Windows) を用いた。各測定項目の時系列による変化は二元配置分散分析を行い、時間と時間・摂食時における有意差を求めた。その後、各測定項目の安静時からの変化は反復測定による一元配置の分散分析を用いて検定し、その後の検定にDunnettの検定を用いた。各測定項目の平均値の比較には対応のあるt検定を用いた。各時間帯の累積DITの比較は一元配置の分散分析を用いて検定し、多重比較はBonferroniの検定を行った。関連についてSpearmanの相関係数を求めた。有意水準は、5%未満を有意差ありとした。

Ⅲ-3 結果

1) DIT

(1) DITの経時的変化

試験食摂取前の安静時エネルギー消費量に両時で有意な差はみられなかった(表5)。DITの経時的変化を10分間の平均値で示した(図6)。主食、主菜、副菜の揃った食事に牛乳を加えた場合、野菜ジュースを加えた場合と比較して、全体を通してDITが高い値で推移し、両摂食時で食後60分までDITは上昇する傾向にあった。DITの最大値は牛乳付加食、野菜ジュース付加食においてそれぞれ 0.0040 ± 0.0021 、 0.0035 ± 0.0015 kcal/kg/minであった。摂食後180分の値は、牛乳付加食では 0.0032 ± 0.0015 kcal/kg/minであり、野菜ジュース付加食の 0.0014 ± 0.0012 kcal/kg/minと比較して有意に高値を示した($p < 0.05$)。

(2) エネルギー100kcalあたりのDITの経時的変化

エネルギー100kcalあたりのDITの経時的変化を10分間の平均値で示した(図7)。食直後から食後60分にかけて、牛乳付加食は 0.00059 ± 0.00044 kcal/kg/min/エネルギー100kcalから 0.00085 ± 0.00044 kcal/kg/min/エネルギー100kcalまでDITが上昇し、野菜ジュース付加食は 0.00059 ± 0.00038 kcal/kg/min/エネルギー100kcal から 0.00086 ± 0.00038 kcal/kg/min/エネルギー100kcalまで上昇し、両摂食時において類似した変動を示した。食後60分から食後180分にかけて、牛乳付加食では、野菜ジュース付加食に比べて高い値でDITが推移し、食後180分値には、野菜ジュース付加食と比較して、牛乳付加食でDITが増加する傾向がみられた($p = 0.081$)。

(3) 試験食ごとの各時間帯の累積DIT

牛乳付加食、野菜ジュース付加食のそれぞれの各時間帯の累積DITを図8に示した。牛乳付加食では、0-60分、60-120分、120-180分の各時間帯で、野菜ジュース付加食と比較して一貫してDITが高い傾向にあった。牛乳付加食では、各時間帯のDITに有意な差異はみられなかったが、野菜ジュース付加食では、0-60分の累積値と比較して120-180分の累積値では、DITが減少する傾向が観察された($p = 0.055$)。

2) RQ

(1) RQの経時的変化

両摂食時におけるRQの経時的変化を示した(図9)。RQの両摂食時における時系列の変化に有意差が認められた($p < 0.05$)。食前値は、牛乳付加食は 0.83 ± 0.06 、野菜ジュース付加食は 0.80 ± 0.04 であり、牛乳付加時にやや高い値を示したが、両時の値に有意な差はみられなかった。摂食により牛乳付加ではRQが低下し、 0.77 ± 0.02 から 0.82 ± 0.06 の範囲で変動がみられ、食後10分、20分、120分の値はそれぞれ 0.78 ± 0.03 ($p < 0.05$)、 0.77 ± 0.02 ($p < 0.01$)、 0.77 ± 0.04 ($p < 0.05$)であり、食前値と比較して有意な低下が観察された。また摂食後180分の値は、 0.78 ± 0.03 であり、食前値と比較して低下する傾向が観察された ($p = 0.062$)。野菜ジュース付加では摂食後にRQは 0.80 ± 0.03 から 0.84 ± 0.06 の範囲で変動したが、食前値からの有意な変動は認められず、摂食後10分の値のみ、 0.84 ± 0.06 と食前値と比較して増加する傾向が観察された ($p = 0.081$)。両摂食時の差異を比較すると、食後10分、20分には、牛乳付加食が野菜ジュース付加食に比べて有意に低値を示し ($p < 0.05$ 、 $p < 0.01$)、食後90分には低下する傾向が観察された ($p = 0.057$)。

3) 自律神経活動

自律神経活動の経時的変化を交感神経活動の指標LF/HF比(図10)と副交感神経活動の指標HF(図11)を用いて、食事の影響を評価するために、両食前の値を基点とした食後の変化量を示した。両指標で、両試験食摂取における時系列の変化に有意な差異は認められなかった。

(1) 交感神経活動の経時的変化

LF/HFは、牛乳付加食では、摂食中、食後30分、40分、50分、60分の値は、それぞれ 2.98 ± 1.23 ($p < 0.01$)、 1.28 ± 1.19 ($p < 0.05$)、 1.52 ± 1.96 ($p < 0.01$)、 1.13 ± 1.10 ($p < 0.05$)、 1.39 ± 0.75 ($p < 0.01$)であり、食前値と比較して有意な上昇がみられた。野菜ジュース付加食では摂食中と食後60分の値はそれぞれ 3.45 ± 2.08 、 1.66 ± 1.75 であり、食前値と比較して有意な上昇がみられた ($p < 0.01$ 、 $p < 0.05$)。両摂食時の差異を比較すると、食後30分には、牛乳付加食が野菜ジュース付加食に比べて有意に高値を示し ($p < 0.05$)、食後40分、180分には増加する傾向が観察された ($p = 0.071$ 、 $p = 0.098$)。

(2) 副交感神経活動の経時的変化

HFは、牛乳付加食では、摂食中、食後30分、40分、50分、60分、90分、120分、150分、180分の値はそれぞれ、 -1043 ± 731 ($p < 0.01$)、 -477 ± 403 ($p < 0.05$)、 -589 ± 561 ($p < 0.01$)、 -632 ± 605 ($p < 0.01$)、 -686 ± 626 ($p < 0.01$)、 -454 ± 536 ($p < 0.05$)、 -466 ± 431 ($p < 0.05$)、 -475 ± 593 ($p < 0.05$)、 -417 ± 681 msec² ($p < 0.05$)であり、食前値と比較して有意な減少が観察され、摂食後20分の値は -477 ± 403 msec²であり、減少する傾向が観察された ($p = 0.051$)。野菜ジュース付加食では、摂食中、食後20分、30分、40分、50分、60分、90分の値はそれぞれ、 -760 ± 512 ($p < 0.01$)、 -377 ± 434 ($p < 0.05$)、 -317 ± 362 ($p < 0.05$)、 -459 ± 470 ($p < 0.01$)、 -415 ± 550 ($p < 0.01$)、 -346 ± 477 ($p < 0.05$)、 -325 ± 301 msec² ($p < 0.05$)であり、牛乳付加食と同様に食前値と比較して有意な低下がみられた。食後60分、120分には、牛乳付加食が野菜ジュース付加食に比べ低い値を示す傾向が観察された ($p = 0.095$ 、 $p = 0.077$)。

4) 満腹感

(1) 満腹感の経時的変化

満腹感の経時的変化を図12に示した。満腹感の両摂食時における時系列の変化に有意差が認められた($p < 0.05$)。満腹感は、両時とも食直後に大きく上昇し、牛乳付加食、野菜ジュース付加食において、それぞれ 79.9 ± 11.9 、 74.5 ± 17.0 mmと最大値を示し、その後は時間とともに徐々に低下した。両摂食時において、食前値と比較して各時間帯で有意な満腹感の増加が見られた($p < 0.01$)。また食後120分、150分、180分は、牛乳付加食が野菜ジュース付加食と比較して有意に高値を示した($p < 0.05$)。

5) 食後血糖値

(1) 食後血糖値の経時的変化

両試験食摂食時における食後血糖値の経時的変化を示した(図13)。食後血糖値の両摂食時における時系列の変化に有意差が認められた($p < 0.01$)。血糖値は、両時とも食後に増加し、牛乳付加食では、食後30分、45分に 22.6 ± 10.9 、 21.3 ± 14.3 mg/dlとなり、空腹時と比較して有意な増加が観察され($p < 0.01$)、食後60分、120分にも 12.6 ± 18.4 、 12.2 ± 9.8 mg/dlの増加がみられた($p < 0.05$)。また摂食後90分の値は 10.3 ± 10.8 mg/dlであり、血糖値が増加する傾向が観察された($p = 0.064$)。野菜ジュース付加食では、食後15分、30分、45分、60分にそれぞれ 16.9 ± 15.1 、 42.7 ± 16.1 、 28.7 ± 21.2 、 20.6 ± 16.0 mg/dlの有意な増加が観察された($p < 0.01$)。また食後120分の値は 12.7 ± 17.0 mg/dlであり、増加する傾向がみられた($p = 0.058$)。

両時における食後血糖の値を比較すると、野菜ジュース付加食では牛乳付加食と比較して、食後15分、30分に有意な血糖値の増加が認められた($p < 0.05$)。

(2) エネルギー100kcalあたりの食後血糖値の経時的変化

DIT同様に、両摂食時におけるエネルギー100kcalあたりの食後血糖値の経時的変化を示した(図14)。エネルギー100kcalあたりの食後血糖値の両摂食時における時系列の変化に有意差が認められた($p < 0.01$)。摂取エネルギー量が等しくなるよう補正した場合も、空腹時と比較して補正前と同様の変化が観察された。

両試験食摂取時における食後血糖の値を比較すると、野菜ジュース付加食は牛乳付加食と比較して、補正前同様に、食後15、30分に有意な増加が認められ($p < 0.05$ 、 $p < 0.01$)、食後60分にも食後血糖の値が増加する傾向が観察された($p = 0.06$)。

6) 相関関係

各測定項目における関連性を、摂食時ごとに相関係数を用いて評価した。

(1) DITと各測定項目の相関関係

DITと各測定項目の試験食摂取による変化の相関関係を表6に示した。

DITとRQの間には、牛乳を付加した場合にのみ有意な負の相関関係が認められた(牛乳付加食: $r = -0.646$ 、 $p < 0.01$ 、野菜ジュース付加食: $r = 0.156$ 、 $p = 0.221$)。

DITと交感神経活動(LF/HF)、満腹感、食後血糖値の間には、両摂食時において有意な正の相関関係が認められた(LF/HF; 牛乳付加食: $r = 0.433$ 、 $p < 0.01$ 、野菜ジュース付加食: $r = 0.395$ 、 $p < 0.01$ 、

満腹感；牛乳付加食： $r = 0.284$ 、 $p < 0.05$ 、野菜ジュース付加食： $r = 0.589$ 、 $p < 0.01$ 、食後血糖値；牛乳付加食： $r = 0.395$ 、 $p < 0.01$ 、野菜ジュース付加食： $r = 0.458$ 、 $p < 0.01$ 。

Ⅲ-4 考察

本研究では、健康で喫煙習慣のない女子大学生を被験者とし、牛乳または野菜ジュースを組み合わせた食事における、DIT、RQ、自律神経、満腹感及び食後血糖値の差異を比較検討することにより、食事における牛乳摂取がDITに及ぼす影響を検討した。

本研究では9名の被験者を対象に、2種類の試験食を用いた実験を実施し、分析を行った。各摂食時における被験者の身体的特徴(表3)及び、安静時のエネルギー消費量、自律神経活動、空腹時血糖に有意な差は認められなかったため(表5)、被験者の偏りはなかった。

1) DIT

DITの経時的変化(図6)より、主食、主菜、副菜の揃った食事に牛乳を加えた場合、野菜ジュースを加えた場合に比べ有意にDITが増加した。この結果は牛乳とフルーツ風味飲料を単体で用いて行った実験結果³⁾と同様であり、主食・主菜・副菜がそろった食事に加えて牛乳を摂取した場合においても、牛乳を単体で摂取した場合と同様に高いDITが得られることが明らかとなった。

DITの主要な決定要因は食事のエネルギー量であると考えられているため¹¹⁾、両試験食摂食時のエネルギー摂取量が等しくなるように補正した結果についても検討した。その結果、エネルギー100kcalあたりで両時の値を補正した場合にも、補正前と同様に試験食摂取後180分に、牛乳付加食では野菜ジュース付加食と比較してDITが増加する傾向があった(図7)。摂食後60分までのDITの変化は両時において類似していたが、摂食後60分以降は、両時のDITの経時的変化に明確な差異が観察された。また各時間帯の累積DIT(図8)をそれぞれの試験食ごとに比較すると、野菜ジュース付加食では時間の経過とともにDITが減少する傾向がみられたが、牛乳付加食ではDITの上昇値が長時間維持されていた。

栄養素別に評価した場合、DITはタンパク質摂取時に最も高くなることがいわれており¹¹⁾、牛乳付加食では、牛乳を加えたことによるタンパク質摂取量の増加が、DIT増加に寄与したと考えられた。加えて、DIT増加の要因のとして、アミノ酸組成が影響していたと考えられる。牛乳のタンパク質は必須アミノ酸のうちロイシンが多く、また、他の食品に不足がちなリジン含有量が高い¹⁵⁾。動物実験ではタンパク質摂取後の生体内におけるタンパク質合成量は食事の必須アミノ酸組成が生体のタンパク質合成のための至適必要量にどれだけ適しているかに依存することが示されている¹⁶⁾¹⁷⁾。ヒトでの研究においても、よくバランスのとれたアミノ酸混合食は生物価の低いアミノ酸混合食と比較して高い産熱効果をもつことが示されている¹⁸⁾。さらに、Tsujinakaらは、アミノ酸の中でもロイシンが特にタンパク質合成の増加を介し、高い産熱効果をもつことを報告している¹⁹⁾。上記の先行研究より、アミノ酸組成の差異がDITに影響を及ぼすことが推察でき、牛乳付加食では、牛乳を摂取することにより、穀類の一般的な制限アミノ酸であるリジンが補われ、加えてDITとの関連性が言及されているロイシンの摂取量が増加したことにより、DIT増加を引き起した可能性が考えられた。

上述したタンパク質の影響に加え、牛乳により付加された脂質が関与した可能性が考えられた。摂取した食物を消化する過程で、胃内容物は蠕動運動によって少量ずつ十二指腸へ送られる。胃

内容物が十二指腸に送られる速度は食物の種類や、量によって異なり、胃内滞留時間は糖質が最も短く、次いでタンパク質、そして脂質が最も長い²⁰⁾。また、吸収の過程でも大部分の長鎖脂肪はリンパ管へ吸収される経路をたどるため、糖質およびタンパク質よりも吸収に時間を要すると考えられている²¹⁾。栄養素別に評価した場合、脂質のDITは0-3%であると報告されており¹¹⁾、脂質がDITに及ぼす影響はわずかである。しかしながら、本研究のように一般的な食事に牛乳を加え、脂質を付加した場合、食事の消化および吸収に要する時間が増加し、結果としてエネルギー消費量を高める可能性が考えられた。

2) RQ

野菜ジュース付加食では、食後にRQの有意な変化は観察されなかったが、牛乳付加食では、食後にRQの有意な減少がみられ、0.77-0.82の間を推移した(図9)。RQは産生された二酸化炭素と消費された酸素の比として定義され、体内におけるそれぞれの栄養素の燃焼比率を知る手段として有用性が示唆されている。RQが1ならば糖質のみ、また脂肪のみが燃焼した場合には約0.71となり、その中間の値なら両者がともに燃焼したことを示す²²⁾。炭水化物の割合が高い野菜ジュースを加えた野菜ジュース付加食では、有意なRQの上昇はみられなかったが、牛乳付加食では牛乳の摂取により、有意なRQの低下が認められ、特に食後20分以内に、エネルギー基質として脂質を利用していることが示唆された。脂質摂取量の差異が1つの要因として考えられるが、他の因子の影響も予測された。Melansonらはヒューマンカロリメーターを使って、ヒトの脂質酸化を測定し、その脂質酸化は一時的なカルシウム摂取量または日常的なカルシウムの摂取量と有意な正相関を示し、RQと有意な負の相関を示したことを報告している²³⁾。また、Alfenasらによると、RQは、高炭水化物食に乳漿タンパクを付加したことにより、大豆タンパク付加時と比較して低下したことが報告されている²⁴⁾。また、牛乳・乳製品に含まれるカルシウム吸収促進ペプチド(CPP)はカルシウムをより効率よく体内に吸収させる働きを持つことから^{2,5)}、カルシウムの脂質酸化作用をより高めている可能性がある。このことから牛乳を食事に加えて摂取することは、脂質、タンパク質、カルシウム等の要因が複合的に作用し、脂質燃焼を促進することが推察された。

加えて、牛乳付加時には、DITとRQの間に有意な負の相関関係が認められた(表6)。このことから、主食、主菜、副菜の揃った食事と共に牛乳を摂取することは、脂質酸化を高め、同時にエネルギー基質として脂質を利用し、DITを増加させると考えられた。

3) 自律神経活動

交感神経活動の指標であるLF/HF比の経時的変化をみると、両摂取時において摂食中および食後60分以内に、安静時と比較して有意な交感神経活動の上昇がみられた(図10)。副交感神経活動は安静時と比較して摂食中および食後に有意に減少した(図11)。また、両摂食時において、DITと交感神経活動の間に有意な正の相関関係が観察された(表6)。

牛乳付加食では、摂食中に加え、食後30分から60分にかけて安静時と比較して有意な交感神経活動の増加が観察され、食後30分には野菜ジュース付加食と比較して有意な増加が認められた。LeBlancらは犬を用いた実験によってDITには2相性が存在することを明らかにしており、第1相は約40分まで続きcephalic phaseとよばれ食物の嗜好性など味覚刺激が関与し、第2相は栄養素の消

化、吸収により上昇すると報告されている²⁶⁾²⁷⁾。またDITの一部は交感神経系によって調節されると報告されており²⁸⁾、本研究でも、両摂食時でDITと交感神経活動の関連性が示唆された。また牛乳付加食では、第1相である摂食後40分以内の交感神経活動の増加が著しく、野菜ジュース付加食と比較して、交感神経活動のDIT増加への寄与が大きいことが予測された。

しかしながら、交感神経活動は食物摂取によって影響を受け、栄養素別に評価した場合、炭水化物摂取は有意に交感神経活動を増加させる一方、タンパク質、脂質の摂取は有意な交感神経作用をもたないことが報告されている²⁹⁾。加えて、Nakamuraらは、牛乳カゼイン加水分解飲料摂取後に、交感神経活動の低下と副交感神経活動の亢進が生じると報告している³⁰⁾。エネルギー代謝の観点から、交感神経系を刺激することは、肥満予防に寄与する。食事に牛乳を組み合わせた場合には、栄養素を単体で摂取した場合とは異なり、複合的な要因が作用し、交感神経活動を亢進させる結果となり、DIT増加に寄与する可能性が考えられた。

副交感神経活動は、牛乳付加食では、安静時と比較して摂食中に加え、食後30分から180分まで有意に低下し、野菜ジュース付加食では摂食後20分から90分まで低下した。牛乳付加食では、食後60分、120分に野菜ジュース付加食と比較して副交感神経活動が低下する傾向があり、牛乳を食事に加えて摂取した際の副交感神経活動の低下は、野菜ジュースを摂取した場合と比較して、より大きく、持続することが明らかとなった。交感神経活動と副交感神経活動は拮抗するため、牛乳付加食では、副交感神経活動の持続的な低下が、牛乳摂取時のDITの持続に関与する可能性が推察された。

DIT、RQ、自律神経活動の結果から、食事の献立に牛乳を加えることにより、野菜ジュースの摂取と比較して、脂質代謝及び自律神経活動の亢進が生じ、DITを長時間持続させる可能性が示唆された。

4) 満腹感

VASを用いた満腹度測定の結果から、両摂食時において、空腹時と比較して、試験食摂取後に有意に満腹感が増加することが明らかとなった(図12)。両摂食時において、満腹感は有意に増加したが、牛乳付加食では、野菜ジュース付加食と比較して食後120分以降に有意な満腹感の増加が認められた。満腹感もDIT同様に牛乳を摂取した場合、摂食後に高い値で推移し、牛乳付加食では、相関関係が弱いものの、両時において満腹感とDITの間に有意な正の相関関係が認められた(表6)。食事摂取による熱産生が体温を上昇させ、満腹感を増加させる可能性があり、DIT同様に満腹感に関しても、タンパク質ならびに脂質の影響が予測された。タンパク質に関して、Pa1らは、乳清タンパクは、高いインスリン分泌反応および食欲の減少を引き起こすことを報告している⁸⁾。他の研究では、アミノ酸であるフェニルアラニンとトリプトファンは食欲に強力に関与すると報告しており³¹⁾³²⁾、乳清タンパクはそれらの含有量が多い。加えて、Ha11らは、乳清タンパクの摂取は、コレシストキニンAやグルカゴン様ペプチド-I、グルコース依存性インスリン分泌性ポリペプチドを含む満腹感に関与するいくつかの消化管ペプチドやインスリンの放出につながることを示唆している³³⁾。結果、牛乳を一般的な食事構成に加えることによっても、これらの機序を介して、高い満腹感が得られる可能性が推察された。

5) 食後血糖値

食後血糖値の経時的変化(図13)およびDIT同様にエネルギー100kcalあたりの経時的変化(図14)から、牛乳付加食は、野菜ジュース付加食に比べ食後の血糖値の上昇が小さく、このことはエネルギー補正を行った場合においても同様の結果が得られた。牛乳付加食では、空腹時と比較して食後30分から120分に食後血糖値の増加がみられた。野菜ジュース付加食では、食後15分から60分の早期に食後血糖値の有意な増加が認められ、摂食後120分においても増加する傾向が観察された。また野菜ジュース付加食では、牛乳付加食と比較して食後15分、30分に食後血糖値の有意な増加を認めた。この結果から、野菜ジュースを加えた場合には、食後60分以内に血糖値の増加が生じ、牛乳を加えた場合には、血糖増加は小さく、比較的持続することが明らかとなった。DIT同様にエネルギー摂取量が等しくなるように補正した場合にも同様の傾向が観察され、エネルギー摂取量を揃えた場合には、両時の差異がより明確化した。

両摂食時における、DITと食後血糖値の相関関係を検討すると、両摂食時において、DITと食後血糖値の間に有意な正の相関関係が観察された(表6)。このことから、DIT増加には、脂質同様に、血液中のグルコースも利用されていることが推察されたが、炭水化物含量の多い野菜ジュース付加食では牛乳付加食と比較して相関関係が強い傾向にあった。

満腹感および血糖値の結果から、牛乳を食事に加えて摂取するにより、野菜ジュースを摂取することと比較して、高い満腹感が得られ、食後血糖値の上昇を抑制することが明らかとなった。

IV 結論

主食、主菜としてのサンドイッチに副菜であるトマトを組み合わせることにより、食後の血糖上昇が抑制された。さらに牛乳を主食、主菜、副菜の揃った食事に加えることにより、食後血糖上昇の抑制と満腹感の増大がみられ、牛乳の摂取が食後血糖のコントロールに有効であることが示された。加えて、食後血糖の変化を炭水化物及びエネルギーの摂取量で補正し検討した場合、副菜を組み合わせることにより、有意に食後血糖の上昇が抑制され、さらに牛乳を加えることにより、より明確な血糖抑制作用が示された。

食事における牛乳摂取がDITに及ぼす影響の検証結果より、牛乳を主食、主菜、副菜の揃った食事に加えることは、食後全体を通し、高いDIT増加を引き起こすことが示唆された。また牛乳摂取によりRQが有意に減少したことから、牛乳を食事に加えて摂取することはエネルギー基質として脂質の利用を促進し、エネルギー消費量を増加させることが推察された。両摂食時においてDITと交感神経活動の間に正の相関関係がみられ、牛乳では交感神経活動の増加及び副交感神経活動の低下が、野菜ジュースの摂取と比較して大きく、しかも長時間観察された。このことから、牛乳を食事に加えて摂取することは自律神経系を刺激し、DITの上昇を誘発することが推察された。また野菜ジュースの摂取と比較して、牛乳摂取時には高い満腹感が得られつつ、血糖上昇を抑制することが明らかとなった。

『食事バランスガイド』に基づいた食事構成、つまり主食、主菜、副菜が揃った日本人の一般的な食事パターンをすすめること、更に牛乳を組み合わせることは、食後の血糖上昇を抑制し、満腹感を高めることが明らかとなった。加えて、食事に付加する飲料として牛乳を摂取することは、野菜ジュースを摂取した場合と比較して、脂質代謝及び自律神経活動を亢進させ、DITを長時

間持続させることが示唆された。また、満腹感を持続させ、血糖上昇を抑制することも同様に明らかとなった。結果、日本人の一般的な食事パターンに牛乳を組み合わせることは、血糖コントロール及びエネルギー代謝の両側面から有効性が検証され、肥満及び糖尿病等の予防、改善に寄与すると考えられた。

文献

- 1) 厚生労働省健康局総務課生活習慣病対策室：平成20年国民健康・栄養調査結果の概要
- 2) 厚生労働省「日本の食事摂取基準」策定検討委員会：日本の食事摂取基準[2010年度版]
- 3) St-Onge MP, Claps N, Heshka S, Heymsfield SB, Kosteli A. Greater resting energy expenditure and lower respiratory quotient after 1 week of supplementation with milk relative to supplementation with a sugar-only beverage in children. *Metabolism*. 2007;56:1699-1707.
- 4) 若木陽子, 杉山みち子, 中本典子, 小山和作, 安部真佐子, 細谷憲政：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. *日本健康科学雑誌*. 2001;17:133-142
- 5) Nagai N, Sakane N, Hamada T, Kimura T, Moritani T. The effect of a high-carbohydrate meal on postprandial thermogenesis and sympathetic nervous system activity in boys with a recent onset of obesity. *Metabolism*. 2005;54:430-8.
- 6) 永井成美, 坂根直樹, 森谷敏夫, 鳴神寿彦, 久下沼裕. 香辛料辛味成分が小児の食事誘発性熱産生, 満腹感, 及び交感神経活動へ及ぼす影響に関する影響. *肥満研究*. 2003;9:52-59.
- 7) Bornet FR, Jardy-Gennetier AE, Jacquet N, Stowell J. Glycaemic response to foods: impact on satiety and long-term weight regulation. *Appetite*. 2007;49:535-53.
- 8) Pal S, Ellis V. The acute effects of four protein meals on insulin, glucose, appetite and energy intake in lean men. *Br J Nutr*. 2010;104:1241-8.
- 9) Pal S, Ellis V, Dhaliwal S. Effects of whey protein isolate on body composition, lipids, insulin and glucose in overweight and obese individuals. *Br J Nutr*. 2010;104:716-23.
- 10) Smeets AJ, Soenen S, Luscombe-Marsh ND, Ueland Ø, Westerterp-Plantenga MS. Energy expenditure, satiety, and plasma ghrelin, glucagon-like peptide 1, and peptide tyrosine-tyrosine concentrations following a single high-protein lunch. *J Nutr*. 2008;138:698-702.
- 11) Westerterp KR. Diet induced thermogenesis. *Nutr Metab (Lond)*. 2004;18:1:5.
- 12) de Jonge L, Bray GA. The thermic effect of food and obesity: a critical review. *Obes Res*. 1997;5:622-31.
- 13) 上西一弘, 田中司朗, 石田裕美, 細井孝之, 大橋靖雄, 門脇孝, 折茂肇. 牛乳・乳製品摂取とメタボリックシンドロームに関する横断的研究. *日本栄養・食糧学会誌*. 2010;63:151-159

- 14) 大塚邦明, 久保豊, 品川亮. 生体リズムと心臓病. 川崎晃一 編. 生体リズムと健康. 学会出版センター. 1999:85-114
- 15) 五明紀春, 長谷川恭子. アミノ酸&脂肪酸組成表. 女子栄養大学出版部. 2005:52-53
- 16) Garlick PJ. Protein synthesis and energy expenditure in relation to feeding. *Int J Vitam Nutr Res.* 1986;56:197-200.
- 17) Lopez J, Goodband RD, Allee GL, Jesse GW, Nelssen JL, Tokach MD, Spiers D, Becker BA. The effects of diets formulated on an ideal protein basis on growth performance, carcass characteristics, and thermal balance of finishing gilts housed in a hot, diurnal environment. *J Anim Sci.* 1994;72:367-79.
- 18) Pitkänen O, Takala J, Pöyhönen M, Kari A. Branched-chain and mixed amino acid solutions and thermogenesis in postoperative patients. *Nutrition.* 1994 ;10:132-7.
- 19) Tsujinaka T, Sakaue M, Iijima S, Ebisui C, Kan K, Kishibuchi M, Morimoto T, Kido Y. Modulation of thermogenic response to parenteral amino acid infusion in surgical stress. *Nutrition.* 1996;12:36-9.
- 20) 小林修平, 山本茂. 管理栄養士講座 人体栄養学の基礎. 株式会社建帛社. 2007:48
- 21) 武藤泰敏. 新版 消化・吸収-消化機能の調節と適応-. 第一出版株式会社. 1988:239-245
- 22) 社団法人 日本栄養・食糧学会. 栄養・食糧学データハンドブック. 2006:325
- 23) Melanson EL, Sharp TA, Schneider J, Donahoo WT, Grunwald GK, Hill JO. Relation between calcium intake and fat oxidation in adult humans. *Int J Obes Relat Metab Disord.* 2003;27:196-203.
- 24) Alfenas Rde C, Bressan J, de Paiva AC. Effects of protein quality on appetite and energy metabolism in normal weight subjects. *Arq Bras Endocrinol Metabol.* 2010;54:45-51.
- 25) 内藤博. カゼインの消化時生成するホスホペプチドのカルシウム吸収促進機構. 日本栄養・食糧学会誌. 1986;39:433-439
- 26) Diamond P, LeBlanc J. Role of autonomic nervous system in postprandial thermogenesis in dogs. *Am J Physiol.* 1987;252:719-726.
- 27) 木村修一, 小林修平 翻訳監修. 最新栄養学第9版. 株式会社建帛社. 2007:47-51.
- 28) Acheson KJ. Influence of autonomic nervous system on nutrient-induced thermogenesis in humans. *Nutrition* 1993;9:373-380.
- 29) Kopp W. Chronically increased activity of the sympathetic nervous system: our diet-related "evolutionary" inheritance. *The Journal of Nutrition, Health & Aging* 2009;13:27-29.
- 30) Nakamura H, Iwamoto M, Washida K, Sekine K, Takase M, Park BJ, Morikawa T, Miyazaki Y. Influences of casein hydrolysate ingestion on cerebral activity, autonomic nerve activity, and anxiety. *J Physiol Anthropol.* 2010;29:103-8.
- 31) Ballinger AB, Clark ML. L-phenylalanine releases cholecystokinin (CCK) and is

associated with reduced food intake in humans: evidence for a physiological role of CCK in control of eating. *Metabolism*. 1994;43:735-738.

- 32) Muurahainen N, Kissileff HR, Pi-Sunyer FX. L-phenylalanine and L-tryptophan reduce food intake when given with a food preload. *Am J Clin Nutr*, 1988;47:774
- 33) Hall WL, Millward DJ, Long SJ, Morgan LM. Casein and whey exert different effects on plasma amino acid profiles, gastrointestinal hormone secretion and appetite. *Br J Nutr*. 2003;89:239-248.

表1 被験者の身体的特性 (n=9)

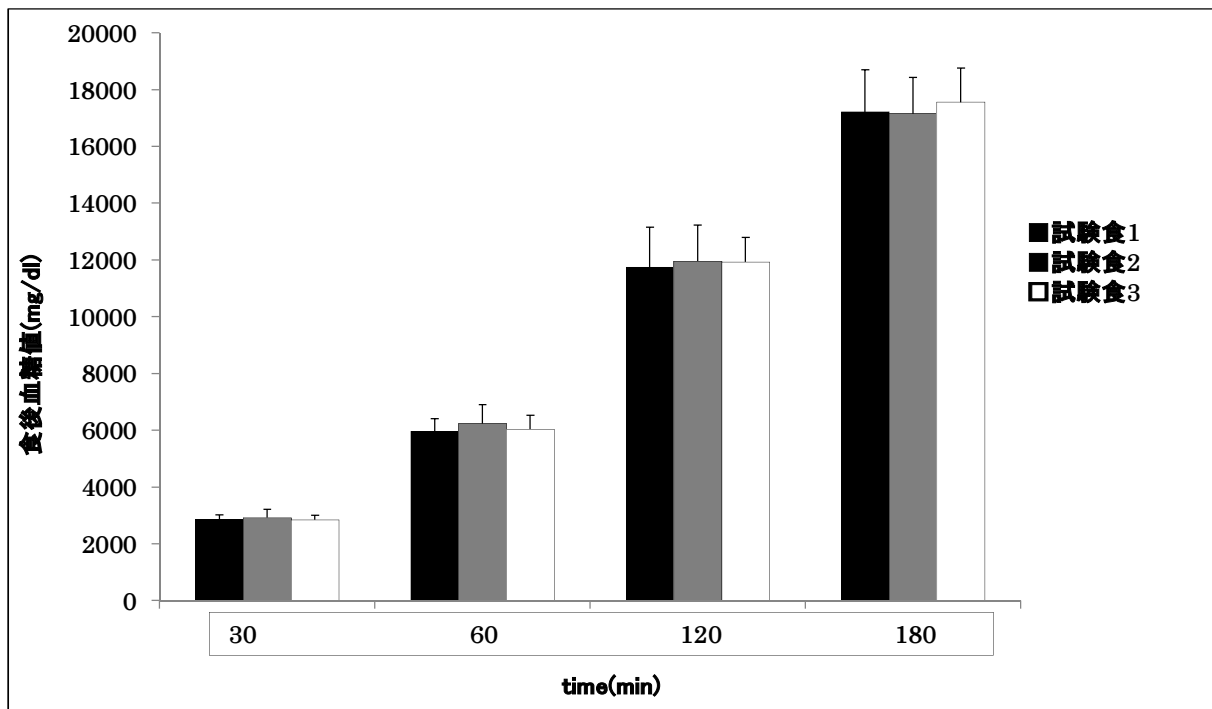
	平均値±標準偏差
年齢(歳)	20.1±0.8
身長(cm)	162.3±6.5
体重(kg)	53.2±8.1
BMI(kg/m ²)	20.1±2.0
体脂肪率(%)	25.4±5.1

表2 試験食の栄養素組成

試験食	栄養素量					PFC比
	エネルギー	炭水化物	タンパク質	脂質	食物繊維	
	kcal	(g)	(g)	(g)	(g)	
1	321	24.2	13.5	18.9	1.3	17:53:30
2	338	28.5	14.2	19	2.1	17:50:33
3	475	38.4	21	26.8	2.1	17:51:32

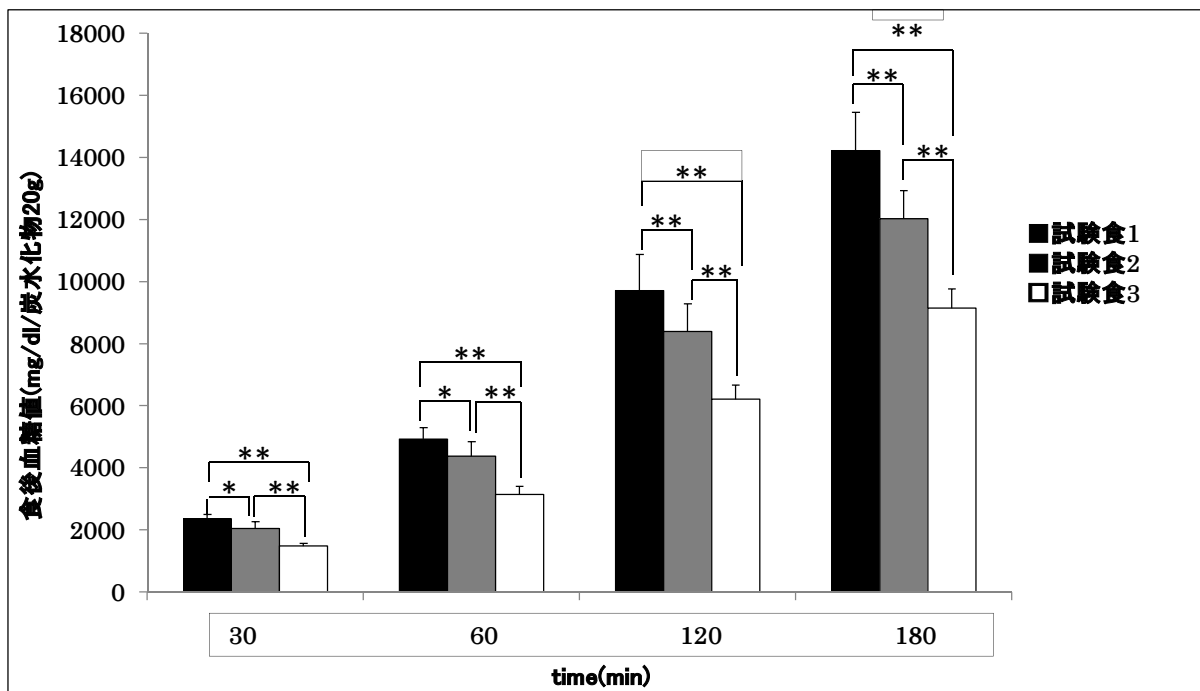
- ・試験食1: 主食・主菜(ハムたまごサンド)+水
- ・試験食2: 主食・主菜(ハムたまごサンド)+副菜(ミニトマト)+水
- ・試験食3: 主食・主菜(ハムたまごサンド)+副菜(ミニトマト)+牛乳

図1 1食あたりの食後血糖の累積値



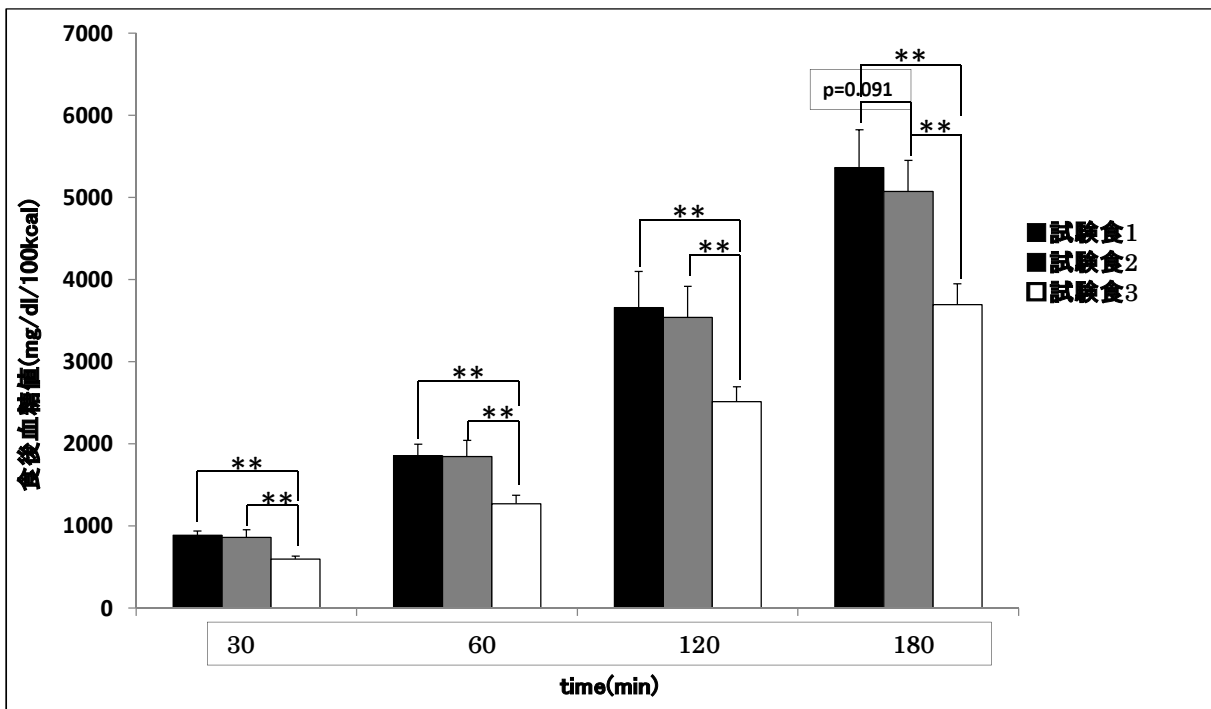
*: p<0.05 (Bonferroni 検定): 群間比較

図2 炭水化物20gあたりの食後血糖の累積値



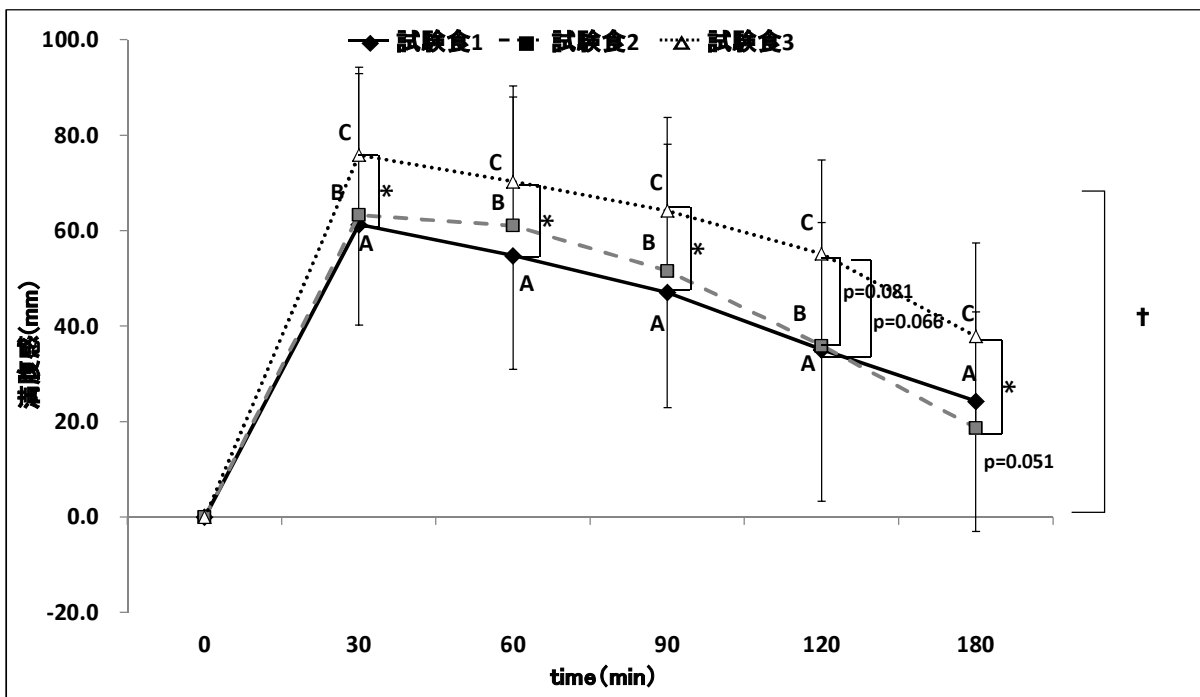
*: p<0.05, **: p<0.01 (Bonferroni 検定): 群間比較

図3 エネルギー100kcalあたりの食後血糖の累積値



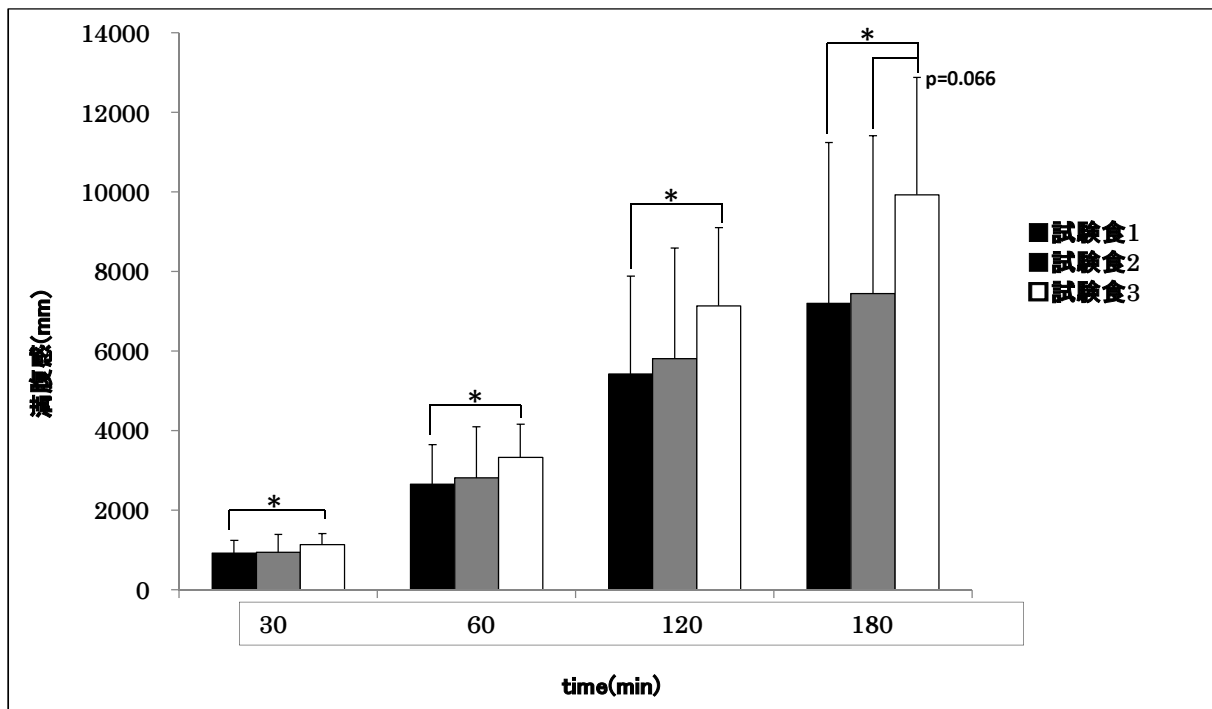
*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ (Bonferroni 検定): 群間比較

図4 満腹感の経時的変化



†: $p < 0.05$ (二元配置分散分析): 交互作用の検定、*: $p < 0.05$ (Bonferroni 検定): 群間比較
 a b c: $p < 0.05$, A B C: $p < 0.01$ (Dunnnettの検定): 群内における食前値との比較(a A: 試験食1, b B: 試験食2, c C: 試験食3)

図5 満腹感の累積値



*: $p < 0.05$ (Bonferroni 検定): 群間比較

表3 被験者の身体的特性 (n=9)

	平均値±標準偏差
年齢(歳)	20.1±0.8
身長(cm)	162.2±6.5
体重(kg)	53.1±7.5
BMI(kg/m ²)	20.1±1.9
体脂肪率(%)	25.9±4.8
除脂肪体重(kg)	39.2±4.9
収縮期血圧(mmHg)	102.8±9.1
拡張期血圧(mmHg)	65.9±8.2
体温(°C)	36.5±0.3

表4 試験食の栄養素組成

試験食	栄養素量					PFC比
	エネルギー	炭水化物	タンパク質	脂質	食物繊維	
	kcal	(g)	(g)	(g)	(g)	
牛乳付加食	475	38.4	21	26.8	2.1	17:51:32
野菜ジュース付加食	404	44.2	14.8	19	2.7	14:42:44

- ・牛乳付加食: 主食・主菜(ハムたまごサンド)+副菜(ミニトマト)+牛乳
- ・野菜ジュース付加食: 主食・主菜(ハムたまごサンド)+副菜(ミニトマト)+野菜ジュース

表5 安静時の測定値

	牛乳付加食	野菜ジュース付加食	p値
エネルギー消費量(EE) [kcal/day]	1085±161	1101±119	n.s.
交感神経活動(LF/HF比)	0.48±0.22	0.78±0.49	n.s.
副交感神経活動(HF) [msec ²]	1483±889	1088±588	n.s.
血糖値 [mg/dl]	86.9±6.1	84.2±6.9	n.s.

n.s.: not significant (対応のあるt検定)

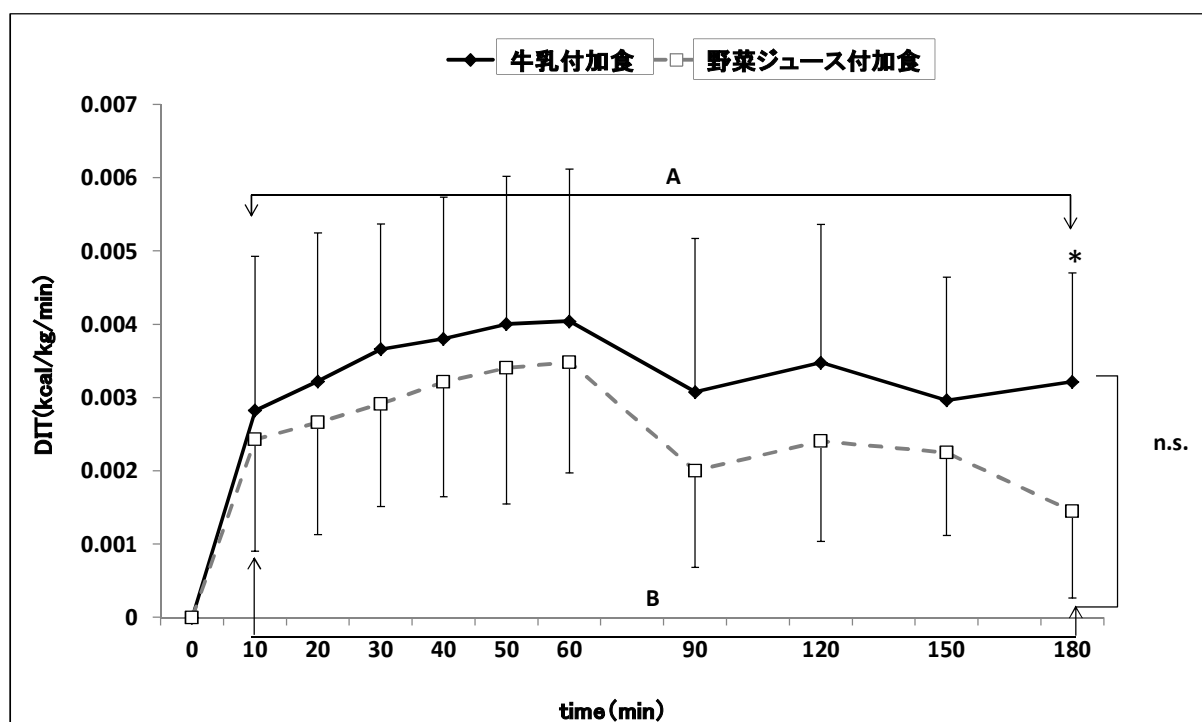
表6 DITと各測定項目の相関関係

	RQ		LF/HF		満腹感		食後血糖値	
	牛乳付加食	野菜ジュース付加食	牛乳付加食	野菜ジュース付加食	牛乳付加食	野菜ジュース付加食	牛乳付加食	野菜ジュース付加食
DIT	r -0.646**	0.156	0.433**	0.395**	0.284*	0.589**	0.395**	0.458**
	p 0.000	0.221	0.000	0.001	0.024	0.000	0.001	0.000

n=63, r: Spearman の相関係数

*: p<0.05, **: p<0.01

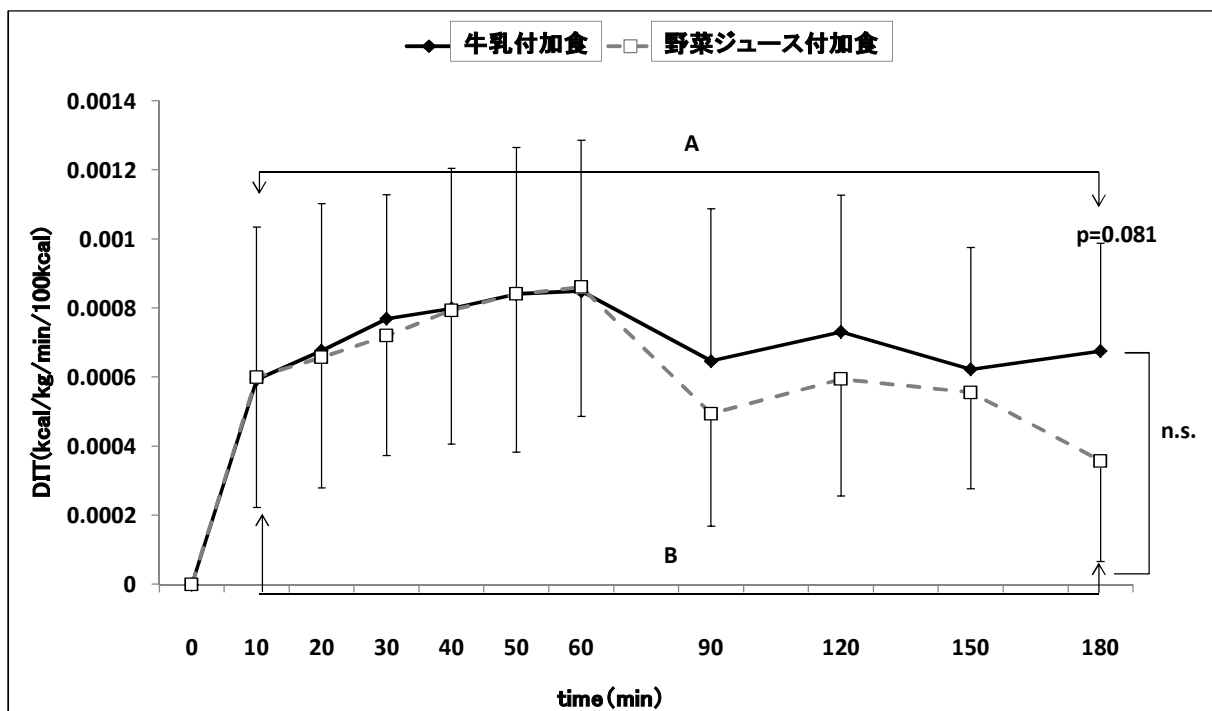
図6 DITの経時的変化



†: p<0.05 (二元配置分散分析): 交互作用の検定, *: p<0.05 (対応のあるt検定): 群間比較

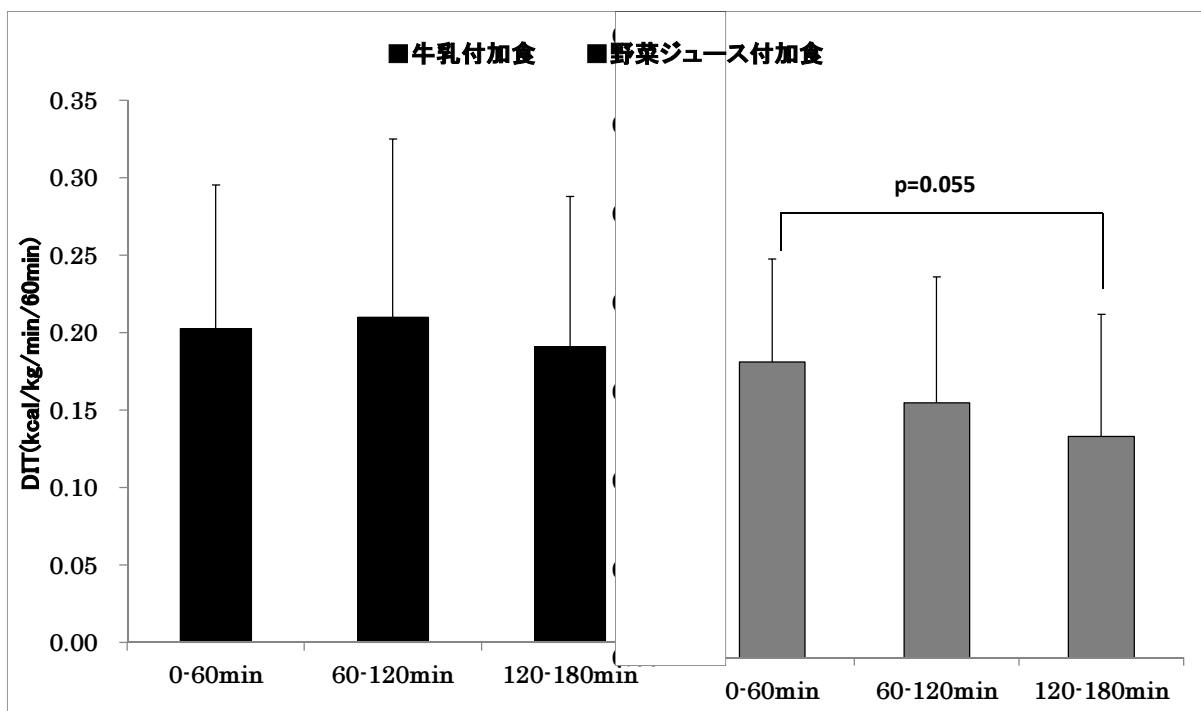
A B: p<0.01 (Dunnettの検定): 群内における食前値との比較 (A: 牛乳付加食, B: 野菜ジュース付加食)

図7 エネルギー100kcalあたりのDITの経時的変化



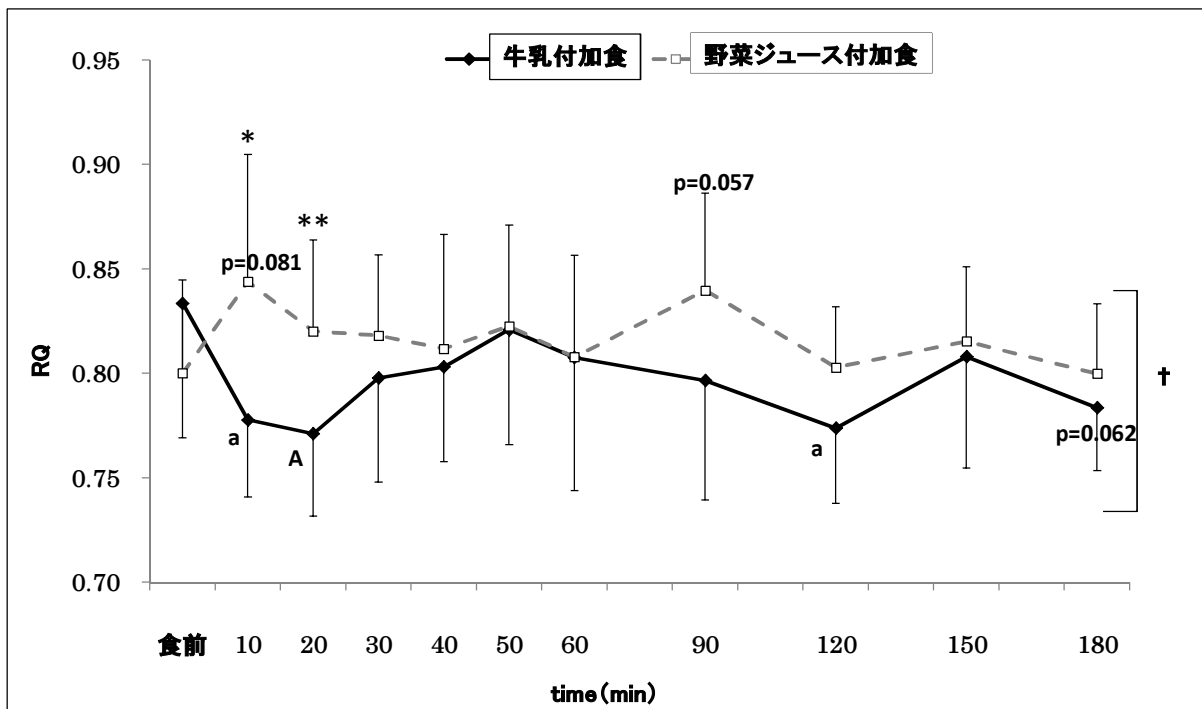
†: $p < 0.05$ (二元配置分散分析): 交互作用の検定, *: $p < 0.05$ (対応のあるt検定): 群間比較
 A B: $p < 0.01$ (Dunnettの検定): 群内における食前値との比較 (A: 牛乳付加食, B: 野菜ジュース付加食)

図8 各時間帯の累積DITの比較



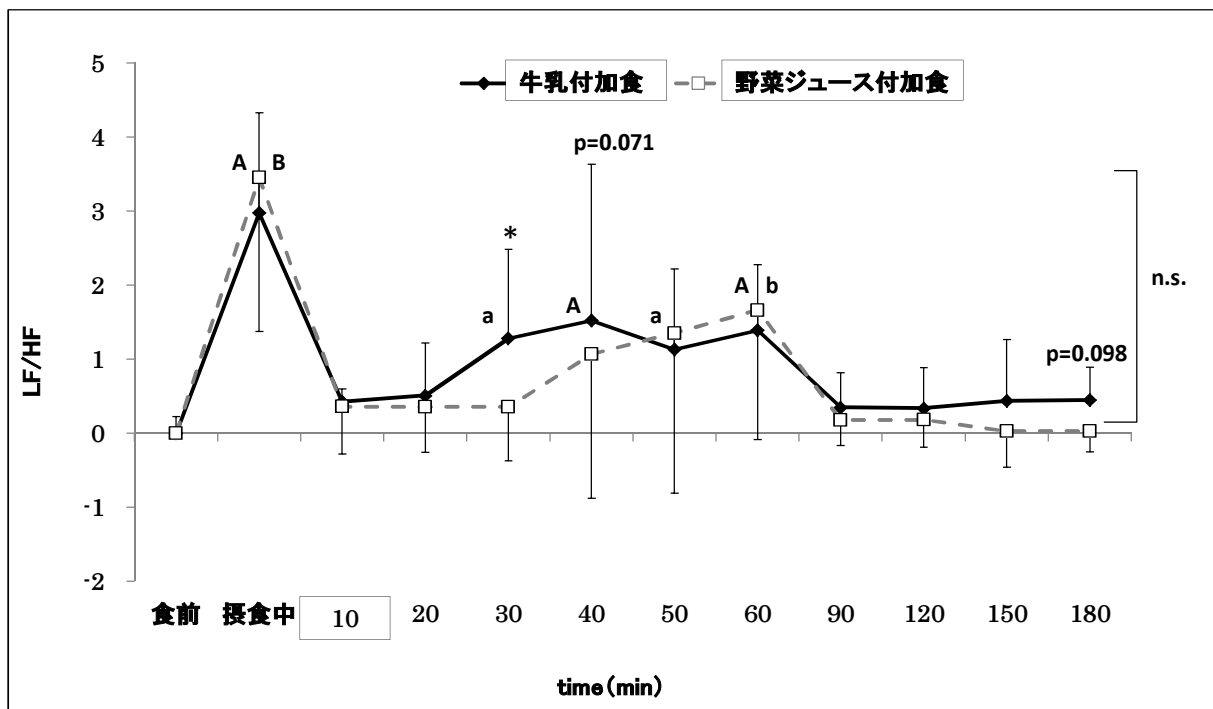
*: $p < 0.05$ (Bonferroni 検定): 時間帯の比較

図9 RQの経時的変化



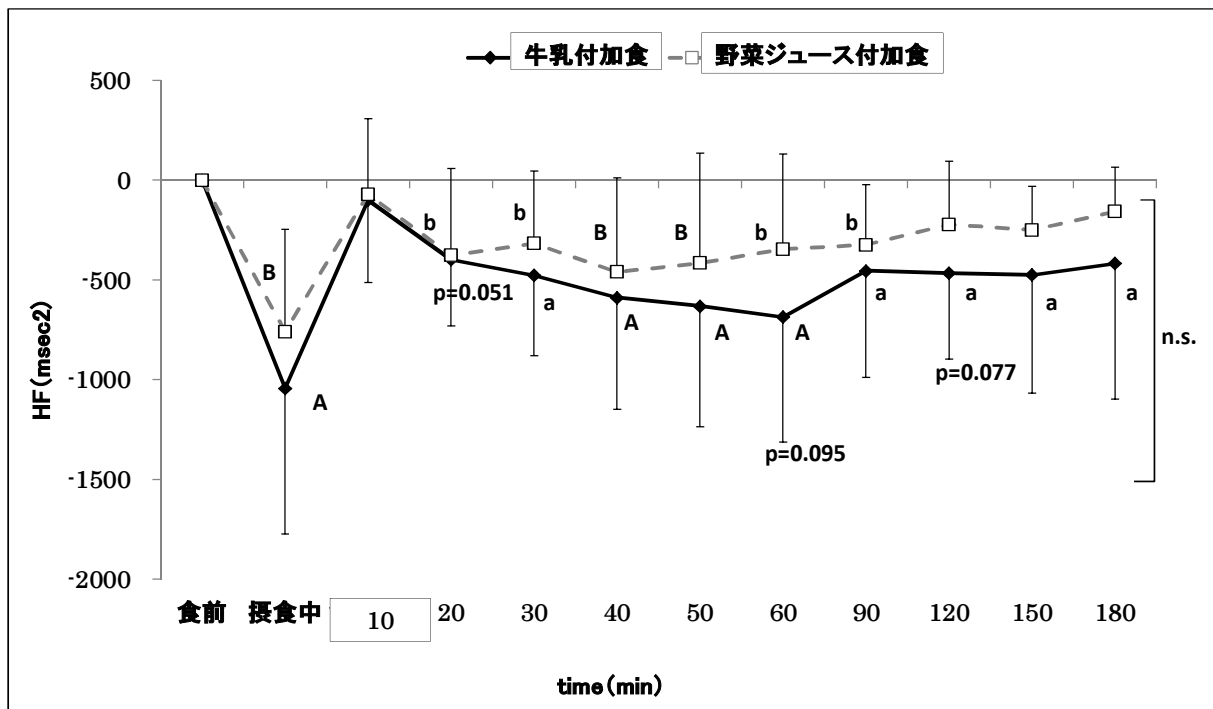
†: $p < 0.05$ (二元配置分散分析): 交互作用の検定、*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ (対応のあるt検定): 群間比較
 a b: $p < 0.05$, A B: $p < 0.01$ (Dunnettの検定): 群内における食前値との比較 (a A: 牛乳付加食, b B: 野菜ジュース付加食)

図10 交感神経活動の経時的変化



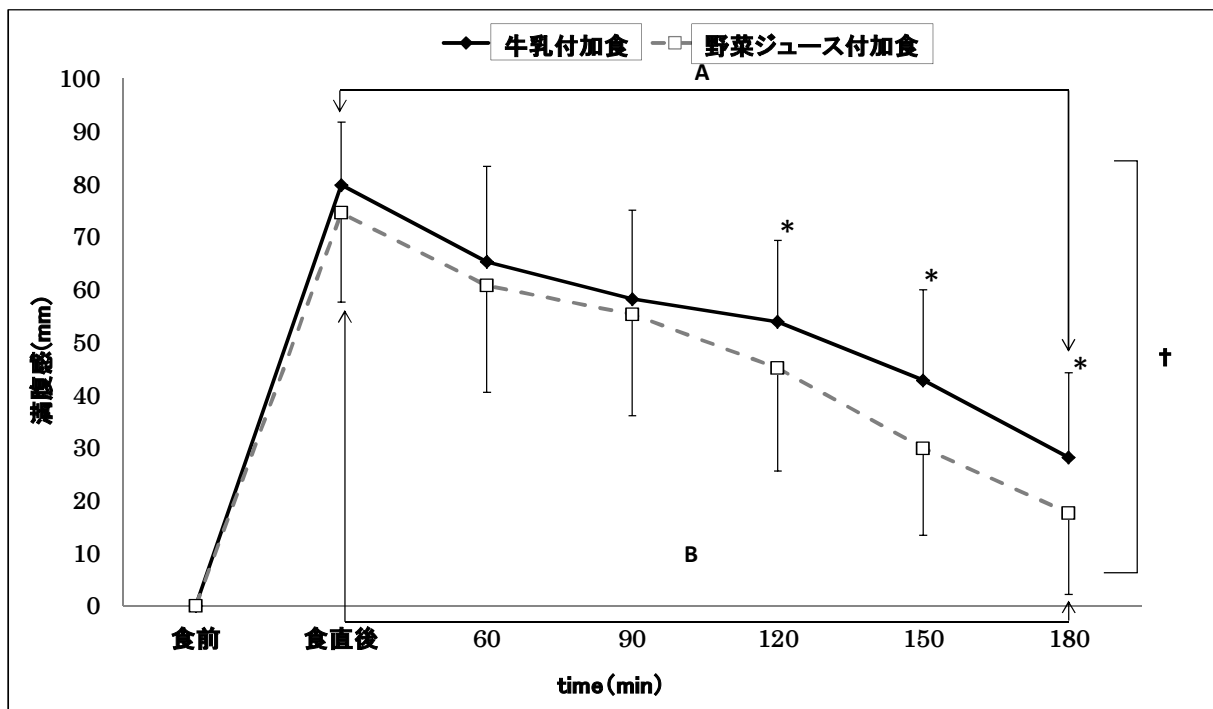
†: $p < 0.05$ (二元配置分散分析): 交互作用の検定、*: $p < 0.05$ (対応のあるt検定): 群間比較
 a b: $p < 0.05$, A B: $p < 0.01$ (Dunnettの検定): 群内における食前値との比較 (a A: 牛乳付加食, b B: 野菜ジュース付加食)

図11 副交感神経活動の経時的変化



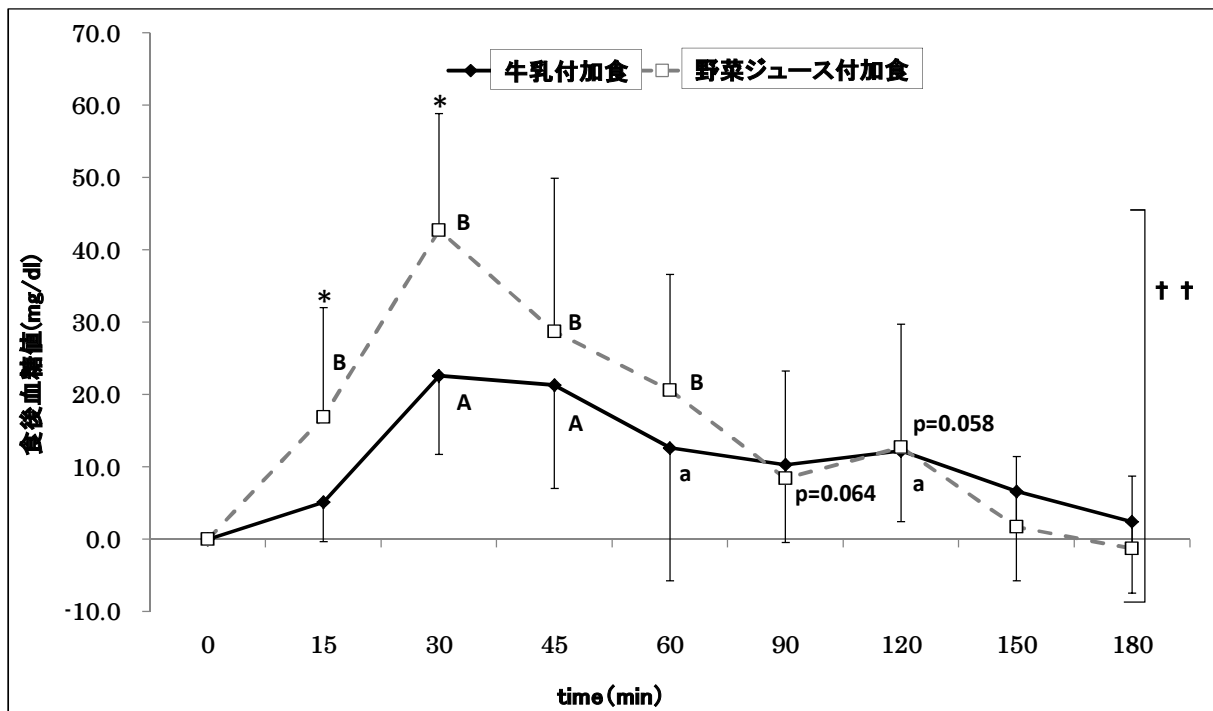
†: $p < 0.05$ (二元配置分散分析): 交互作用の検定、*: $p < 0.05$ (対応のあるt検定): 群間比較
 a b: $p < 0.05$, A B: $p < 0.01$ (Dunnnettの検定): 群内における食前値との比較 (a A: 牛乳付加食, b B: 野菜ジュース付加食)

図12 満腹感の経時的変化



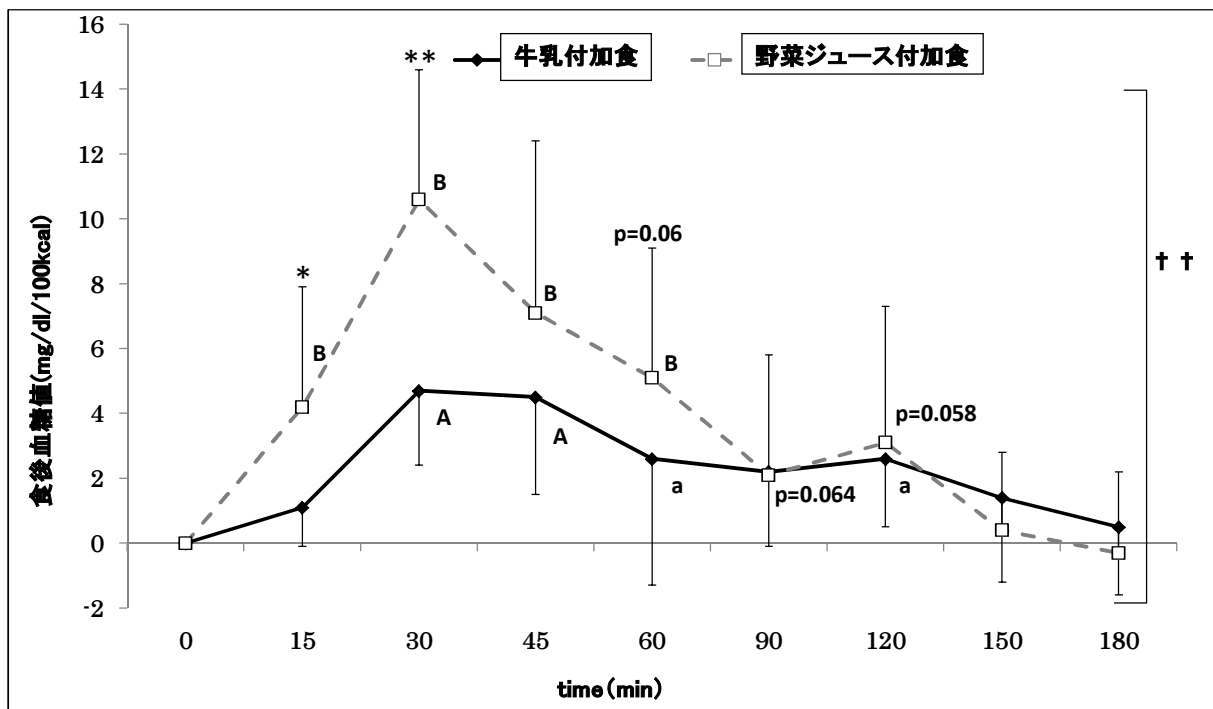
†: $p < 0.05$ (二元配置分散分析): 交互作用の検定、*: $p < 0.05$ (対応のあるt検定): 群間比較
 A B: $p < 0.01$ (Dunnnettの検定): 群内における食前値との比較 (A: 牛乳付加食, B: 野菜ジュース付加食)

図13 食後血糖値の経時的変化



† †: $p < 0.01$ (二元配置分散分析): 交互作用の検定、*: $p < 0.05$ (対応のあるt検定): 群間比較
 a b: $p < 0.05$, A B: $p < 0.01$ (Dunnnettの検定): 群内における食前値との比較 (a A: 牛乳付加食, b B: 野菜ジュース付加食)

図14 エネルギー100kcalあたりの食後血糖値の経時的変化



† †: $p < 0.01$ (二元配置分散分析): 交互作用の検定、*: $p < 0.05$, **: $p < 0.01$ (対応のあるt検定): 群間比較
 a b: $p < 0.05$, A B: $p < 0.01$ (Dunnnettの検定): 群内における食前値との比較 (a A: 牛乳付加食, b B: 野菜ジュース付加食)