

カルシウムの摂取時刻の違いによるミネラルの尿排泄への影響

前田 朝美*・ 出口 佳奈絵*・ 齋藤 望*・ 加藤 秀夫*

The influence of calcium ingestion times on urinary excretion of calcium, magnesium,
phosphorus

Asami MAEDA, Kanae IDEGUCHI, Nozomi SAITO, Hideo KATO

Key words : カルシウム calcium
尿排泄 urinary excretion
骨代謝 bone metabolism
骨吸収 bone resorption

はじめに

急速な少子高齢化は深刻な問題であり¹⁾、高齢者が自立して生活できる期間を延伸する取り組みは必要である。高齢者の要介護になる原因は、脳卒中や認知症だけでなく、骨折や転倒などによる運動器の障害である。後期高齢者に多いロコモティブシンドロームでは日常生活の制限により、不活動が助長され、精神状態や認知機能などの低下状態であるフレイルを進行し悪循環になる。介護予防には、運動器の健康維持が重要である。

また、介護予防に関連する生活習慣病予防を見据えた体力向上も必要である。青森県では、子どもの健康問題として肥満傾向児が全年齢層において全国平均を上回っており²⁾、その予防に重点が置かれている。しかし、青森県内の小学生 126 名を対象に実施した調査³⁾では、肥満度の判定は「標準」であっても、体組成において筋肉量が少ない又は体脂肪率の高い小学生が約 1 割存在していた。運動器の発達と体脂肪の燃焼に必要な筋肉のいずれにも骨格が重要である。まず、子どもから高齢者までのライフステージの特徴を踏まえ、

運動器の 1 つである骨の健康維持を目的とし、効果的なミネラル摂取について検討した。

骨ミネラルの主成分であるカルシウムは、どの年代でも不足傾向である⁴⁾。学校給食摂取基準策定に関する調査⁵⁾において、小中学生では、平日は給食からカルシウムを十分に摂取しているものの、家庭内の朝食と夕食では不足している。このことから、食事の時間帯によるカルシウム摂取量の差が大きいと考えられる。

骨の弾力性と強度は骨ミネラル量と骨基質によって決まる。骨ミネラルはカルシウムやマグネシウム、リンなどの摂取量や摂取比率によって影響を受ける。また、骨吸収と骨形成を繰り返す骨代謝には日内リズムがあり、ミネラルをいつ・どのようなバランスで摂取するかは栄養生理学上重要であると考えられる。

本研究では、ミネラル含量（主にカルシウム、リン、マグネシウム）が異なる食事を朝・昼・夕に摂取した場合のミネラルの尿排泄を調べ、摂取時刻の違いによる骨代謝への影響を検討した。

* 東北女子大学

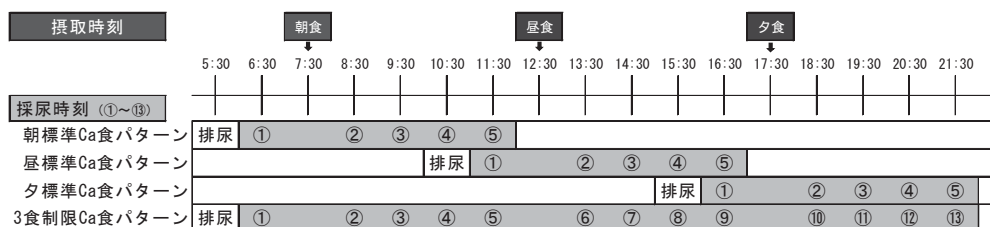


図1 実験食の摂取時刻と採尿タイムスケジュール

方法

健康な女子大生4名を対象として、カルシウムの不足した条件下で、朝・昼・夕のいずれかの時間帯に適量のカルシウムを含む標準Ca食を摂取した場合、食前及び食後4時間のミネラルの尿排泄がどのように変化するかを調べた。また、3食ともカルシウムの不足した制限Ca食を摂取した場合の朝食前から夕食後4時間までのミネラルの尿排泄も併せて調べ、標準Ca食を摂取した場合と比較した。実験は2020年8月～9月の期間で行った。

実験のタイムスケジュールを図1に示した。食事時刻は朝食7:30、昼食12:30、夕食17:30とした。食事条件は標準Ca食をいずれか1食で摂取する朝標準Ca食パターン、昼標準Ca食パターン、夕標準Ca食パターンと、3食とも制限Ca食を摂取する3食制限Ca食パターンの4条件とした。実験開始前の2食は制限Ca食とし、ミネラル摂取による尿排泄が起こりにくい条件で実験を行った。採尿については、いずれのパターンも食事の2時間前に排尿した上で、食事時刻の1時間前に1回目の採尿を行った。食後の採尿は、朝・昼・夕の標準Ca食パターンでは、1時間後から4時間後まで1時間毎に4回の採尿を行った。3食制限Ca食パターンでは、3食それぞれの食後1時間から4時間で12回の採尿を行った。被験者はこれらの4つの条件を無作為の順番で実施し、クロスオーバー試験を行った。実験パターンを変える際は

1日以上ウォッシュアウト期間を設けた。

実験食の栄養組成を表1に示した。標準Ca食はカルシウムの量を日本人の食事摂取基準2020年版に基づき、1食分として推奨量の3分の1を摂取できるように設定した。制限Ca食は、カルシウムを標準Ca食の半分以下とした。また、マグネシウムとリンはカルシウムとの比率で調整し、カルシウム：マグネシウムは2:1、カルシウム：リンは1:2となるように調整した。実験中の飲水は、指定したミネラルウォーターのみとし、食事中に150ml、食後1時間毎に100mlを摂取した。

採尿の際は、尿を全量採取し、尿量を記録した後、一部を蒸留水で10倍に希釈して-30℃で保管した。尿中成分の分析は、カルシウム、リン、マグネシウム、クレアチニンの測定を

表1 実験食の栄養組成

| | 標準Ca食 | 制限Ca食 |
|--------------|-------|-------|
| エネルギー (kcal) | 615 | 608 |
| タンパク質 (g) | 22.1 | 20.8 |
| (エネルギー比) (%) | 14.1 | 13.7 |
| 脂質 (g) | 16.7 | 11.7 |
| (エネルギー比) (%) | 24.4 | 17.3 |
| 糖質 (g) | 88.2 | 98.5 |
| (エネルギー比) (%) | 57.3 | 64.8 |
| カルシウム (mg) | 210 | 117 |
| マグネシウム (mg) | 94 | 65 |
| リン (mg) | 340 | 219 |
| カリウム (mg) | 836 | 616 |
| ビタミンD (μg) | 2.8 | 2.7 |
| 食塩 (g) | 2.2 | 2.1 |

カルシウムの摂取時刻の違いによるミネラルの尿排泄への影響

行った。分析には、それぞれ、カルシウム E-テストワコー (和光純薬)、ホスファ C-テストワコー (和光純薬)、マグネシウム B-テストワコー (和光純薬)、ラボアッセイクレアチニン (和光純薬) を用いた。

被験者の身体状況として、1 回目の実験が始まる前日の昼食前に、身長、体重、体脂肪率、筋肉量の測定を行った。測定には InBody270 (株式会社インボディジャパン) を用い、各指標の判定基準は同社の定める標準値・標準範囲を用いた。

統計処理は、IBM SPSS Statistics 20 Advanced Models を用いた。各時間帯における標準 Ca 食と制限 Ca 食の比較には対応のある t 検定、実験食毎の朝・昼・夕の比較及び経過時間による変化には一元配置分散分析を行った。実験食を摂取する時間帯の違いによるミネラル尿排泄量の変化は、被験者内因子を実験食と時間帯とする二元配置分散分析を行い、主効果の検定には Bonferroni 法を用いた。

結果

1.身体状況

対象者の BMI は、4 名とも標準範囲内で平均値は $20.4 \pm 0.8 \text{ kg/m}^2$ であった (表 2)。体組成では、標準体重に対する筋肉量が標準範囲より少ない者は 3 名、体脂肪率は高い者が 2 名であった。

2.食後の尿中成分の変化

各食事パターンにおけるカルシウム、マグネシウム、リンの食後 4 時間の尿中への排泄量を各時間帯のクレアチニン排泄量で除した値で示した。標準 Ca 食後におけるカルシウムの尿排泄を各時間帯で比較すると、朝食後は 0.44 ± 0.13 と多く、夕食後は 0.32 ± 0.15 に低下する傾向がみられた (図 2)。この傾向は 3 食制限 Ca 食後でも同様にみられた。各時間帯における標準 Ca 食と制限 Ca 食の食後のカルシウム尿排泄を比較すると、朝食後

表 2 対象者の身体生理

| | 平均値±標準誤差 | 人数 |
|--------------------------|----------|-----------|
| BMI (kg/m ²) | 20.4±0.8 | 肥満 (人) 0 |
| | | 標準 (人) 4 |
| | | やせ (人) 0 |
| 筋肉量 (kg) | 36.0±3.3 | 少ない (人) 3 |
| | | 標準 (人) 1 |
| | | 多い (人) 0 |
| 体脂肪率 (%) | 28.4±2.1 | 低い (人) 0 |
| | | 標準 (人) 2 |
| | | 高い (人) 2 |

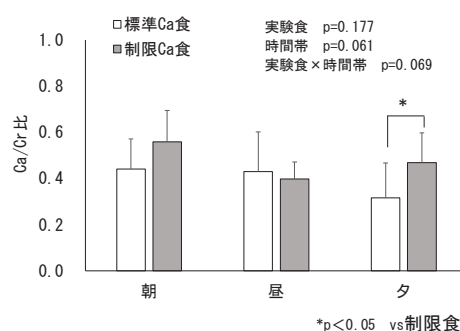


図 2 食後(4 時間)のカルシウム尿排泄

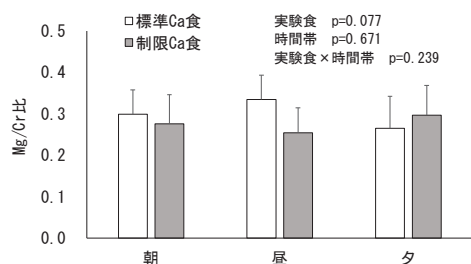


図 3 食後(4 時間)のマグネシウム尿排泄

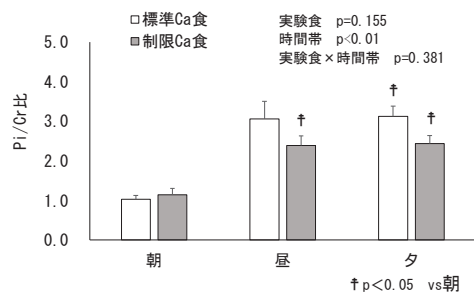


図 4 食後(4 時間)のリン尿排泄

と夕食後において、制限 Ca 食を摂取した方が多い傾向がみられ、特に夕食後では 0.47 ± 0.13 で有意に増加した。

マグネシウムの尿排泄は、標準 Ca 食及び制限 Ca 食のいずれの実験食においても、食事時刻による差はみられなかった (図 3)。標準 Ca 食と制限 Ca 食の食後のマグネシウム尿排泄を比較すると、昼食後において標準 Ca 食後は 0.33 ± 0.06 、制限 Ca 食後は 0.25 ± 0.06 で低下する傾向がみられたものの有意な差ではなかった。

標準 Ca 食後におけるリンの尿排泄は、朝食後に 1.03 ± 0.10 と最も少なく、昼食後は 3.06 ± 0.45 、夕食後は 3.13 ± 0.26 と朝食後に比べて増加した。制限 Ca 食後においても同様の変化がみられ、摂取量に関わらず時間帯による違いがみられた。

3. 食後のカルシウム尿排泄の経時的変化

食後 4 時間のカルシウム尿排泄は、実験食の種類による違いがみられたことから、朝・昼・夕の各採尿時刻におけるカルシウム/クレアチニン比を比較した。朝食後は、標準 Ca 食、制限 Ca 食ともに食後 4 時間後までカルシウムの尿排泄は増加し続け、食前のレベルまで低下しなかった (図 5)。朝食後は標準 Ca 食に比べ制限 Ca 食においてカルシウムの尿排泄が増える者が多かったものの、有意な差はみられなかった。昼食後は、いずれの実験食も食後 3 時間後までカルシウムの尿排泄は増加がみられたが、4 時間後には低下した (図 6)。昼食後は食後 2 時間後 (14:30) に有意差がみられたものの、実験食によるカルシウムの尿排泄にほとんど差はみられなかった。夕食後は、標準 Ca 食において食後 3 時間後 (20:30) に 0.12 ± 0.05 まで増加し、その後低下したのに対し、制限 Ca 食では食後 3 時間後 (20:30) に 0.14 ± 0.04 、食後 4 時間後 (21:30) は 0.14 ± 0.03 と食前レベルまで低下しなかった (図 7)。夕食では制限 Ca 食後のカルシウムの尿排泄は、食後 1 時

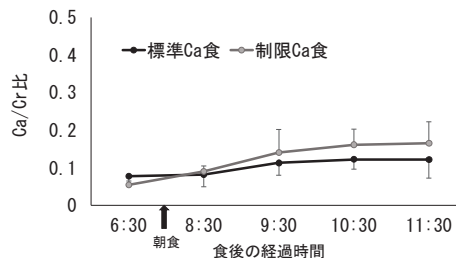


図 5 朝食後のカルシウム尿排泄の経時的変化

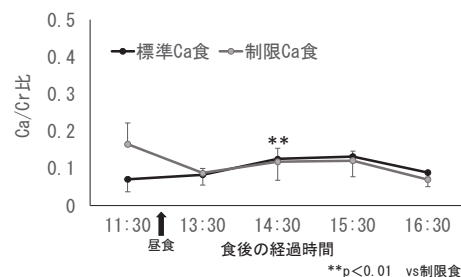


図 6 昼食後のカルシウム尿排泄の経時的変化

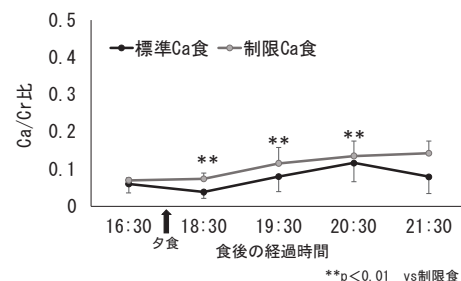


図 7 夕食後のカルシウム尿排泄の経時的変化

間後 (18:30) から 3 時間後 (20:30) まで標準 Ca 食よりも有意に増加した。

考 察

カルシウムの不足状態が長期に続いた 3 食制限 Ca 食パターンにおいて、夕食後は標準 Ca 食よりカルシウムの尿排泄が多くなった。本研究は食前にカルシウムの不足した制限 Ca 食を摂取させたことから、Ca の過剰な尿

カルシウムの摂取時刻の違いによるミネラルの尿排泄への影響

排泄はなかったと考えられる。むしろ、カルシウムが不足し、骨吸収が高まりやすい生理条件下であった可能性が考えられる。カルシウムの摂取不足により血中のカルシウム濃度が低下すると、PTH 分泌により骨吸収の促進が起こる。この場合、腎臓ではカルシウムが尿中に排泄されないように再吸収が高まる。今回の結果は、夕方の制限 Ca 食によって尿中へのカルシウム排泄は高まった。骨代謝には日内リズムがあり、夜間は骨吸収と骨形成のいずれもが活発となり代謝回転が高まる⁶⁾。カルシウムの摂取不足により骨のリモデリングは活発化し、骨強度の低下になることが考えられる。このような骨代謝が高まる時間帯の前に摂取する夕食は、カルシウムが不足しやすいことが考えられた。ただし、今回の実験は、消化管での吸収を配慮せず、ミネラルの尿排泄のみで検討しているため、実際に尿中に増加したカルシウムが骨吸収によるかは不明であった。

また、朝食後のカルシウムの尿排泄は夕食後より多くなる傾向がみられた。朝食の時間帯はカルシウムの尿排泄が高まると考えられる。カルシウム摂取量は関係ない可能性もあり、カルシウムの適量摂取を習慣化することで余分な排泄を抑えると考えられる。

マグネシウムの尿排泄は時間帯による違いは見受けられなかった。しかし、マグネシウムの摂取量が少ない制限 Ca 食では、活動期にあたる日中は尿排泄が低下する傾向がみられた。マグネシウムは種々の酵素に含まれ、十分に摂取する条件下では、日中の活動期に利用されたと考えられる。一方で、摂取量の少ない制限 Ca 食において、昼食後のマグネシウムの尿排泄は低下したことから、昼にマグネシウムを十分に摂取する必要があると考えられる。

リンの尿排泄については、日内変動がみられ、朝に比べ、日中の昼食後から夕食後にかけて増加した。リンの尿排泄量は、朝に低く

日中に上昇する日内変動が報告されており⁷⁾、本実験でも類似の結果が得られた。朝食におけるリンの過剰摂取は、余分なリンが排泄されにくいと考えられる。

以上の結果から、骨の健康維持において、骨ミネラルであるカルシウム、マグネシウム、リンは、それぞれの時間帯で適量を摂取することで、各時間帯にみられる不足のリスクを防いだり、効果的に利用したりすることが可能と考える。現状では、昼食以外はカルシウムが不足していることから、骨ミネラルを 1 日の摂取量で評価するのではなく、1 食 1 食の摂取量を改善することは栄養生理学的に重要であると考えられる。

参考文献

- 1) 青森県企画政策部，青森県の推計人口年報，令和元年
- 2) 青森県教育庁スポーツ健康課，令和元年度児童生徒の健康・体力
- 3) 青森県，子どもの健康づくり体制支援事業報告書
- 4) 厚生労働省，令和元年国民健康・栄養調査
- 5) 佐々木敏他，日本の小中学生の食事摂取量詳細調査，平成 26 年度厚生労働科学研究費補助金（循環器疾患・糖尿病等生活習慣病対策総合研究事業）報告書
- 6) 篠田壽，骨系細胞のサーカディアンリズム発現機構の分子生物学的解析，2003 年度科研費実績報告書
- 7) Kemp, G.J., Blumsohn, A., Morris, B.W.; Circadian changes in plasma phosphate concentration, urinary phosphate excretion, and cellular phosphate shifts, Clin.Chem., 38,400-402(1992)

謝辞

本研究は、公益財団法人青森学術文化振興財団の助成を受けて実施しました。