

体づくりと体力向上のための食育
～いつのミネラルが大切か～

柴田学園大学生生活創生学部健康栄養学科
准教授 前田 朝美

本研究は令和2年度から令和4年度まで公益財団法人青森学術文化振興財団より助成を受けて実施しました。最終年度の令和4年度の研究成果をご報告します。

【研究概要】

体幹を支える骨の強度と弾力性を維持するには骨タンパク質であるコラーゲン繊維の網目とその間隙を埋める十分な骨ミネラル成分が不可欠です。令和3年度はカルシウムの摂取量や摂取時刻による影響に注目しました。骨ミネラル（主にカルシウム、リン、マグネシウム）と骨吸収によって生じる骨タンパク質由来のコラーゲン繊維 I型コラーゲン N 架橋テロペプチド（NTX）の尿排泄を調べ、骨の健康維持にはいつ、どのような組み合わせで摂取すると効果的かを検討しました。令和4年度はタンパク質の摂取量の違いによる骨ミネラルや NTX の尿排泄への影響を調べました。

また、令和4年度はカルシウムとタンパク質を豊富に含む牛乳を飲む時刻、例えば朝または夕のいずれかで継続して摂取した場合におけるミネラルの尿排泄や尿中 NTX への影響も併せて調べました。これらの結果から、ロコモティブシンドローム予防に若年期からの食習慣が重要かを検討しました。

【研究方法】

健康な女子大学生4名を対象に2つのミネラル代謝に関する研究を行いました。研究1では、実験食として標準食とタンパク質制限食を用い、それぞれの食事を1日3回喫食した場合のミネラル尿排泄（カルシウム、マグネシウム、リン）と骨吸収マーカーである NTX の尿排泄リズムを調べました（表1）。これらの結果を令和3年度に行った研究のカルシウム制限食を1日3回喫食した結果と比較しました。実験スケジュールは、食事時間を朝食 6:30~7:00、昼食 12:30~13:00、夕食 18:30~19:00 とし、採尿（◆）を各食前と食後2時間毎に計11回実施しました（図1）。ただし、0:30~6:30は就寝時間のため、翌朝の6:30に6時間尿を採取しました。

表1 実験食の栄養組成とエネルギー比

食事条件	1食分		
	エネルギー (kcal)	タンパク質 (g) (%エネルギー)	カルシウム (mg)
標準食	682	27.8 (16.3)	220
タンパク質制限食	671	16.5 (9.8)	208
カルシウム制限食 (R3)	601	20.2 (13.4)	106

研究2では、カルシウムとタンパク質の両方を豊富に含む牛乳200ml（カルシウム227mg、タンパク質6.5g）の摂取時間帯を朝6:30~8:30または夕方16:30~18:30とするクロスオーバー試験を行いました。牛乳摂取の期間は2週間とし、開始前日と14日目において、図1の実験スケジュールで24時間の採尿を行いました。食事の内容は研究1の標準食としました。尿中成分としてミネラル（カルシウム、リン）と NTX の分析を行い、尿排泄リズムに変化がみられるかについて調べました。

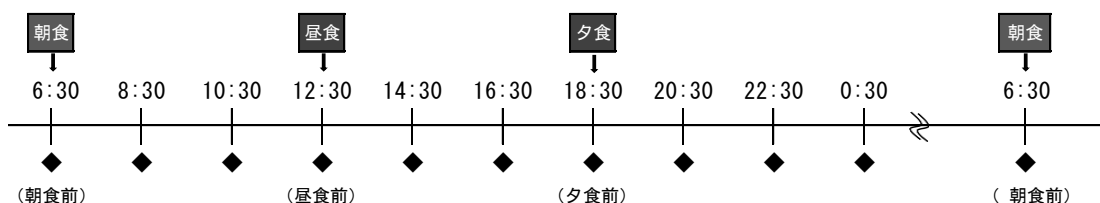


図1 摂食時刻と採尿時刻のスケジュール

【結果及び考察】

◆研究1 骨吸収におけるタンパク質とミネラルの摂取量及び摂取時刻の違いによる影響

3食標準食におけるカルシウム尿排泄は朝食摂取後の日中に増加し、夜間から早朝にかけて減少する日内変化がみられました(図2)。令和3年度に実施した3食カルシウム制限食の食事条件におけるカルシウム尿排泄を比較しました。カルシウム摂取量を約2倍にした3食標準食ほどの時間帯でも他の食事条件とくらべて多い傾向がみられ、特に夕食後6時間のカルシウム尿排泄で差が大きくなりました。

一方、3食タンパク質制限食では、3食標準食とカルシウム摂取量が同程度であるにもかかわらず、夕食後6時間のカルシウム尿排泄は少なくなり、しかも3食カルシウム制限食と同程度となりました。骨吸収マーカーである尿中NTXは、いずれの食事条件でも夜間から早朝にかけて高値となり、朝食後から夕食前までは低下する典型的な日内変化がみられました(図3)。しかし、その値を比較すると、3食カルシウム制限食は3食標準食と3食タンパク質制限食よりも常に尿中NTXは高値で、1日を通して骨吸収が高まっていると考えられます。3食タンパク質制限食において、尿中NTXがまだ低値である夕食後6時間でカルシウム尿排泄が少ないので、カルシウムの腸管吸収自体が低下していた可能性が考えられます。

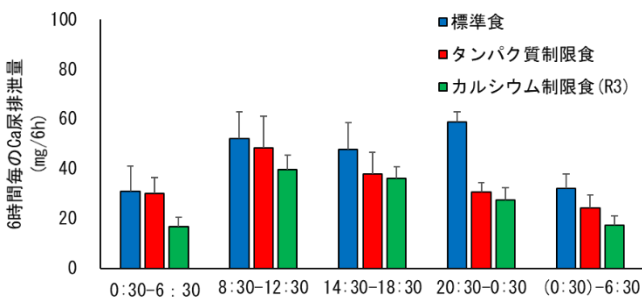


図2 6時間毎のカルシウム尿排泄量

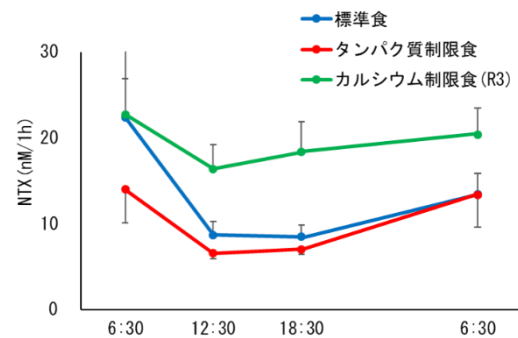


図3 NTXの尿排泄リズム

◆研究2 2週間の牛乳摂取時刻による骨吸収への影響

牛乳摂取開始前と牛乳摂取2週間後のカルシウム尿排泄を比較すると、朝の牛乳摂取及び夕の牛乳摂取のいずれも、夕食後6時間のカルシウム尿排泄量は開始時より減少する傾向がみられました(図4)。牛乳摂取前後の尿中NTXは、いずれも夜間から早朝にかけて高値で、日中には低下する同様の日内変化を示しました。しかし、朝の牛乳摂取後において夜間から早朝の尿中NTXの低い傾向がみられました(図5)。朝の骨吸収は骨のリモデリングとも関係するので、骨形成の動向と合わせて検討する必要があります。

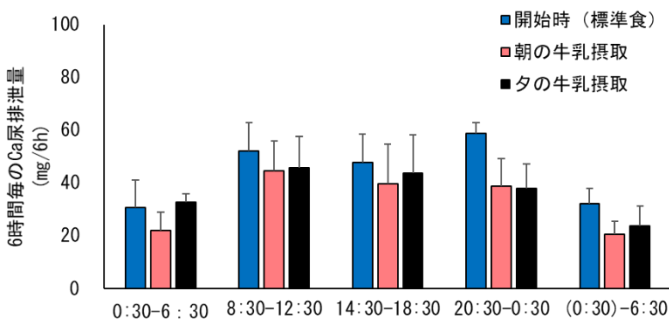


図4 牛乳摂取前後における6時間毎のカルシウム尿排泄量

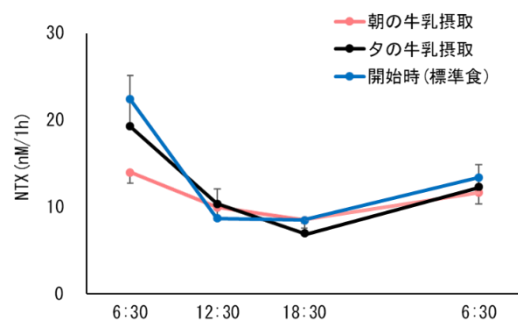


図5 牛乳摂取前後におけるNTXの尿排泄リズム

以上の結果から、骨成分となるカルシウムやタンパク質の摂取不足は、夕食後の時間帯で影響があることがわかりました。カルシウムやタンパク質の効果的な摂取時刻については、1日1回決まった時間に摂るよりも、朝夕等に分けることが骨形成に大切であると考えます。

【謝辞】

本研究は令和4年度公益財団法人青森学術文化振興財団助成事業として実施しました。協力いただきました皆様に深く感謝いたします。