

## 乳清ミネラル複合物摂取がラットの骨代謝に及ぼす影響

鶴田 健一・平林 美穂・松井 徹・矢野 秀雄  
(京都大学農学部畜産学科\*)

### Effect of Whey Mineral Complex on Bone Metabolism in Rats

Ken-ichi TSURUTA, Miho HIRABAYASHI, Tohru MATSUI and Hideo YANO  
*Department of Animal Science, Faculty of Agriculture, Kyoto University*

The effect of whey mineral complex (WMC) on bone metabolism was studied in growing male rats. The diets containing WMC, defatted WMC, or  $\text{CaCO}_3$  were fed to 7 animals in each group for 28 days. Calcium level in each diet was 0.5%. The length, width and volume of the femur were not different among all groups. Dry weight and crude ash contents of the femur were significantly higher in the WMC group than in the  $\text{CaCO}_3$  group. On the other hand, the femoral dry weight and the crude ash contents in the defatted WMC group were not different from that in the  $\text{CaCO}_3$  group. There was the same tendency in breaking energy of the femur as observed in dry weight and crude ash contents. Bone tartrate-resistant acid phosphatase, an index of bone resorption, tended to be lower in the WMC group than the  $\text{CaCO}_3$  group. These results suggest that WMC increases bone contents and its mechanical strength. Fat-soluble components of WMC may affect bone metabolism and, thus, may improve bone quality.

カルシウムは生体内の様々な反応に関与しているが、日本人の食生活において、カルシウムの摂取量はその所要量を下回ることが多いため、カルシウムを積極的に摂取する必要があると考えられる。チーズやカゼインを生成する際の副産物である酸ホエーから得られる乳清ミネラル複合物 (whey mineral complex: WMC) は骨の主要成分であるカルシウムおよびリンに富み、利用率が見直されている。WMC 給与がラットにおいてリン、マグネシウムの利用率を高め、大腿骨の強度を増すことが報告されている<sup>1)</sup>。一方、WMC 中には蛋白質や脂質も含まれており、生成方法によって骨に及ぼす影響に違いがある<sup>2)</sup>。そこで WMC は、単なるミネラル源としての働きだけではなく、WMC に含まれるミネラル以外の成分も骨代謝へ影響を及ぼしている可能性があり、特に脂質分画には活性型ビタミン D やエストロジェンといった骨代謝調節因子が含まれていることが報告されている<sup>2)</sup>。

\*所在地：京都市左京区北白川追分町 (〒606-01)

そこで、本試験では、成長中の雄ラットを用いて脱脂した WMC と未脱脂の WMC を給与し、それらが骨代謝に及ぼす影響を比較検討した。

## 実験方法

WMC は酸ホエーを中和して生成される沈殿物を水で洗浄した後、噴射乾燥したものを用いた。カルシウム含量は 24%、粗脂肪分は 0.13% であった。WMC の脱脂処理はクロロホルム：メタノール混液を用いて行った。供試動物には 5 週齢ウイスター系雄ラット 21 頭を用いた。試験食は WMC、脱脂した WMC、対照に炭酸カルシウムをカルシウム源として用い、AIN-76 標準に準じてカルシウム含量が 0.5% となるように調整した。リンについては不足分をリン酸二水素カリウムを添加して補った。動物を 7 頭ずつ 3 区に分けそれぞれに試験食を 28 日間給与した後、採血により屠殺し、大腿骨及び脛骨を採取した。大腿骨の破断特性は応力・ひずみ測定装置（オートグラフ AG-C、島津製作所）を用いて測定し、記録紙から破断応力と破断エネルギーを算出した。また、あわせて物理形態、乾燥重量、粗灰分を計測した。さらに脛骨中のアルカリ性フォスファターゼ（ALP）活性と酒石酸抵抗性酸性フォスファターゼ（TR-ACP）活性を P-ニトロフェニルリン酸法を用いて測定した。各試験区間の差を Duncan の多重検定法を用い、危険率 5% 水準で検定した。

## 結果と考察

**Table 1.** Alkaline phosphatase (ALP) and tartrate-resistant acid phosphatase (TR-ACP) activities in the tibia.

	CaCO <sub>3</sub>	WMC	Defatted WMC
		$\mu\text{mol} / \text{mg} / \text{protein} / 15\text{min}$	
ALP	4.66 ± 0.35	4.52 ± 0.08	4.75 ± 0.34
		$\mu\text{mol} / \text{mg} / \text{protein} / 30\text{min}$	
TR-ALP	2.90 ± 0.15	2.63 ± 0.11	2.70 ± 0.10

Values are means ± SEM.

**Table 2.** Physical parameters of the femur.

	CaCO <sub>3</sub>	WMC	Defatted WMC
Length (mm)	35.0 ± 0.4	34.9 ± 0.1	35.0 ± 0.2
Width (mm)	4.06 ± 0.09	4.03 ± 0.06	3.96 ± 0.07
Volume (cm <sup>3</sup> )	0.58 ± 0.02	0.62 ± 0.01	0.60 ± 0.02
Breaking force (×10 <sup>6</sup> dyn/cm <sup>2</sup> )	1.36 ± 0.13	1.60 ± 0.13	1.36 ± 0.08
Breaking energy (×10 <sup>2</sup> erg)	3.75 ± 0.40	5.73 ± 0.60*	4.56 ± 0.50

Values are means ± SEM.

\* : Significantly different from the CaCO<sub>3</sub> diet group ( $p < 0.05$ ).

Table 1 に脛骨中の酵素活性を示した。ALP 活性は、各区間に明白な差が認められなかった。一方、TR-ACP 活性は WMC 区において炭酸カルシウム区と比較し低い傾向にあった。また、脱脂 WMC 区では WMC 区よりも高い傾向が見られた。TR-ACP 活性は骨吸収の指標として知られている<sup>3)</sup>。そこで、炭酸カルシウム区と比較し、WMC 区における骨吸収は低い可能性が示唆された。Table 2 に大腿骨の

**Table 3.** Dry weight and crude ash content of the femur.

	CaCO <sub>3</sub>	WMC	Defatted WMC
Dry weight (mg)	434 ± 5	468 ± 10*	454 ± 10
Crude ash (mg)	258 ± 4	278 ± 8*	273 ± 5

Values are means ± SEM.

\* : Significantly different from the CaCO<sub>3</sub> diet group (p < 0.05).

物理形態と破断特性を示した。大腿骨の長さ、幅、体積のそれぞれにおいて、試験食の違いによる差は認められなかった。物体のひずみを考慮にいれた曲げ強さを表す破断応力において、各区間に有意な差は認められなかった。しかし、WMC区は炭酸カルシウム区に対して高い傾向があった。また、脱脂WMC区と炭酸カルシウム区との間に差は認められなかった。大腿骨が折れるまでに大腿骨が吸収したエネルギー量、すなわち、破断エネルギーはWMC区では炭酸カルシウム区と比較し有意に高い値を示した。また、脱脂WMC区は、炭酸カルシウム区とWMC区の間値を示し、炭酸カルシウム区との間に有意な差は認められなかった。Table 3に大腿骨の乾燥重量と粗灰分を示した。WMC区では炭酸カルシウム区と比較して乾燥重量は有意に高い値を示した。また、脱脂WMC区では両者の中間的な値となり、炭酸カルシウム区との間に有意な差は認められなかった。粗灰分においても同様の傾向がみられ、WMC区では炭酸カルシウム区に対して有意に高い値を示し、脱脂WMC区は炭酸カルシウム区との間に有意な差は認められなかった。

WMC区を炭酸カルシウム区と比較すると、大腿骨の乾燥重量、粗灰分が大きくなり、破断特性が向上したことから、WMCは炭酸カルシウムより利用性の高いカルシウム源である可能性が示された。乳中のカルシウムは3分の2はコロイド状、他は拡散性である。コロイド状のカルシウムはコロイド状リン酸カルシウム (CCP) として、またはカゼインと結合して存在する<sup>4)</sup>。WMCを生成して得られるカルシウムはCCPであると考えられ、炭酸カルシウムとは形態が異なるため利用性に違いがある可能性がある。しかし、今回の実験において、炭酸カルシウム区と脱脂WMC区とを比較した場合、どの項目においても有意な差がなく、これらのカルシウムの形態の違いによる骨に対する影響の違いは認められなかった。以上の結果から、WMCの中の脂質分画には骨吸収を抑制し、骨強度を上げる成分が含まれることが示唆された。

## 文 献

1. Tsuchita, H., T. Kuwata, C. Sakamaki, K. Kuwano, S. Shinoda and T. Yoshida (1992) : Bioavailabilities of calcium, phosphorus and magnesium from whey mineral complex in growing male rats. *Zeitschrift für Ernährungswissenschaft* 31 : 258-268
2. Tsuchita, H., I. Sekiguchi and T. Kuwata (1993) : Comparison of the effect of whey mineral complexes on bone metabolism in male growing rats. *J. Nutr. Sci. Vitaminol.* 39 : 473-487
3. Minkin, C. (1982) : Bone acid phosphatase : tartrate-resistant acid phosphatase as a marker of osteoclast function. *Calcif. Tissue Int.* 34 : 285-290

4. Holt, C. (1985) : The milk salts : their secretion, concentrations and physical chemistry, in Developments in dairy chemistry- 3 , ed. by Fox, P. F., Elsevier Applied Science Publishers Ltd, London : pp.143-181