

成熟ラットの骨塩代謝に及ぼす食塩過剰摂取と運動の影響

山 崎 英 恵, 奥 田 豊 子, 片山(須川)洋子
大阪市立大学生生活科学部

Effects of Sodium Chloride Supplements and Running Exercise on Bone Metabolism in Rats Fed Low Calcium Diet

Hanae YAMAZAKI, Toyoko OKUDA, Yohko SUGAWA-KATAYAMA
Faculty of Human Life Science, Osaka City University

The effects of dietary supplements of Sodium chloride (8g/100g diet) and voluntary running exercise on bone metabolism were studied in rats fed low calcium diet (0.012% diet). Sodium chloride supplement significantly reduced weight gain. The mean weight of kidney were significantly increased by intake of Sodium chloride. The mean weight of femur and humerus were significantly lower in the group consuming a low calcium diet. The Sodium chloride supplemented rats exhibited a five-to sevenfold increase in urinary calcium excretion, so calcium retention in those groups lost its balance. There were no differences in breaking force of femur between the groups consuming a low calcium diet and control. However, the breaking force of femur in the group that exercised was significantly lower than that in the sedentary group of the low calcium diet. It is suggested that the low calcium intake restricts the bone formation though voluntary exercise rises bone turnover. The results of this study indicate that dietary Sodium chloride mediate bone loss and that sufficient calcium should be supplied during exercise.

骨粗鬆症の発症にはライフスタイルや食の嗜好^{1), 2)}, 遺伝因子^{3), 4)} などさまざまな因子が関与しており, これらは複雑に絡み合って骨代謝に作用している。一般に日本人の食生活上の問題点としては, 食塩のとりすぎとカルシウム不足が挙げられる。食塩と健康とのかかわりは高血圧や腎臓病のみならず, 食塩の過剰摂取により尿中へのカルシウム排泄量が増加するという報告⁵⁾ から, 食塩のとりすぎが骨に負の影響を及ぼすことも推測される。そこで本実験では, 低カルシウム食に食塩を過剰に負荷した場合の骨代謝について検討した。また, そうした栄養状態における運動の影響についても併せて検討した。

実 験 方 法

15週令の Sprague-Dawley 系雌ラット35匹を固形飼料で3日間予備飼育した後6群に分け, 1群は実

験食開始前群 (Pre) とし、直ちに実験に供した。コントロール食群以外の4群は炭酸カルシウムを除いた AIN-93 ミネラルミックスを用い低 Ca 食 (0.012%) とし、そのうちの2群には食塩を 8% 添加した飼料を与え、各々 6 週間飼育した。各群の飼料組成は Table 1 に示す。また低 Ca 食群と食塩添加食群に運動群 (Exercise 群) を設け、回転式運動量測定ケージ内で飼育し、自発運動をさせた。

実験食投与開始後、5 週目に15匹ずつ 2 回に分けてミネラルの出納実験を行った。1 日絶食後、右大腿骨、右上腕骨を採取し、骨破断力を測定した。骨破断力は、飯尾電機製 Rheolometer MAX RX-1600 を用い、3 点曲げ試験で測定した。骨中および糞尿中カルシウム、マグネシウムは原子吸光法、リンは p-アミノフェノール法、ナトリウムは炎光分析法で測定した。

Table 1. Composition of the diets (%)

Diet	+ Ca	- Ca	- Ca + NaCl
Casein	25	25	25
Corn oil	5	5	5
Cellulose	5	5	5
Mineral	3.5	3.5	3.5
Vitamin	1	1	1
Sucrose	8.75	8.75	8.75
Starch	50.25	51.5	43.5
Choline bitartate	0.25	0.25	0.25
CaCO ₃	1.25	—	—
NaCl	—	—	8

+ Ca diet : Ca 0.5% Na 0.1%

- Ca diet : Ca 0.012% Na 0.1%

- Ca + NaCl diet : Ca 0.012% Na 4.95%

P : 0.33%

結果および考察

各群の最終体重を Fig. 1 に示す。成熟期のため、緩やかな体重の増加を示した。コントロール群は順調な体重増加を示したが、低 Ca 食群は低い傾向を示した。低 Ca 食を摂取したラットは体重の伸びが悪く、食塩添加群で有意に体重増加が抑えられた。食塩の過剰摂取による体重増加抑制は以前から報告されているが⁶⁾、本研究でも同様の結果が得られた。

食塩添加食の非運動群は、腎臓重量が食塩の負荷により高くなったが、同食の運動群では他の群との差が認められなかった (Fig. 2)。ラットは体温調節のほとんどを唾液塗布で行うが、パンティングと少しの発汗もあるとされている⁷⁾。汗の組成はほとんどが塩分であり、ヒトでは運動強度が高いほど汗中のナトリウム濃度は高くなると報告されていることから⁸⁾、激しいランニングにより多少なりとも発汗がおこり、ナトリウムが排泄されたと推測される。

大腿骨重量、骨破断力、灰分重量および骨中 Ca 含量を Fig. 3 に示す。大腿骨重量は低 Ca 食で低い傾向が認められた。また食塩添加食の運動群の骨重量は、低 Ca 食の運動群に比較して有意に低くなっ

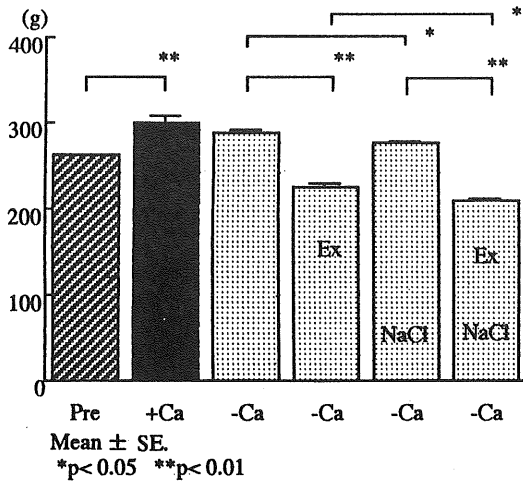


Fig. 1. Final body weight

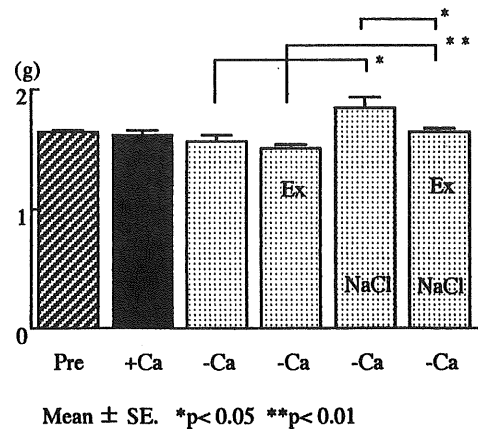


Fig. 2. Weight of kidney

た。骨破断力は低 Ca 食とコントロール間に差は認められなかったが、低 Ca 食の運動群は非運動群より有意に低くなり、食塩添加食の運動群も同様の傾向が見られた。

運動の刺激や荷重によって骨重量は増加するといわれているが、本実験では骨重量が増加しなかった。本実験における運動群の一日平均走行距離量は、通常のラットに比べて非常に多く、食塩の過剰摂取に加えて過剰な運動が体重を減少させ、骨重量や骨破断力低下を導いたと推測される。運動群の血清 ALP 活性は非運動群よりも高く、運動により骨代謝回転は活発になったが摂取カルシウムが非常に少ないため、骨形成が抑制されたと思われる（データ省略）。また、低 Ca 食群における大腿骨灰分重量は、コントロール群に比べて有意に低い値を示し、また Pre に対しても低い傾向が見られた。このことは、飼育期間中骨形成より骨吸収が促進していたことを示している。破骨細胞のマーカーとして TR-ACP を用いた実験では、低カルシウム状態において破骨細胞数が減少し、骨吸収が促進されていることが報告⁸⁾されている。骨中のリン、マグネシウム含量も有意に低くなり、カルシウム含量についても $P = 0.056$ ではほぼ有意な差が見られ、骨塩量に対する低カルシウムの影響が顕著に表れた（データ省略）。

カルシウムの摂取量、見かけの吸収量、尿中排泄量、および蓄積率を Fig. 4 に示す。カルシウムの吸収率はコントロール群に比べて低 Ca 食群で有意に高くなった。低 Ca 食群は、カルシウム摂取量が非常に少ないので摂取量のほとんどが効率良く吸収されていた。食塩添加による影響は観察されなかったが、運動群はいずれも非運動群より低くなり、食塩添加食群における運動群の吸収率は有意に低くなった。

尿中排泄量は、コントロール群に比べ食塩を添加していない低 Ca 群で有意に低くなったが、食塩添加食群はコントロール群よりも有意に高い排泄量を示した。また、食塩添加食の運動群の排泄量は非運動群より多い傾向を示し、これは運動によって骨代謝回転が促進されたためであると推測される。カルシウムの尿中への排泄はナトリウム排泄と高い相関がある⁹⁾ことから、過剰のナトリウムを排泄するた

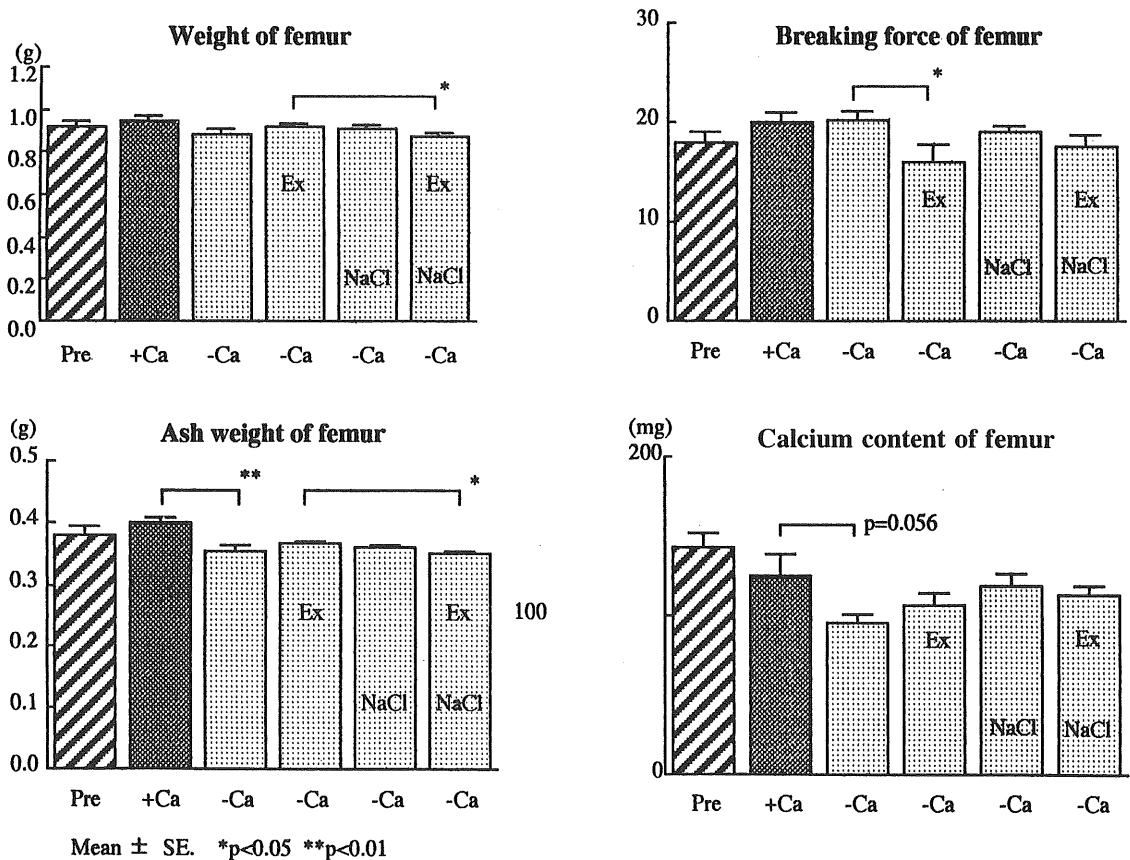


Fig. 3. Weight, ash weight, breaking force and calcium content of femur

めに水分を大量に摂取し、その尿量の増加にともなってカルシウムの排泄も促進されたと思われる。

低Ca食群のカルシウム摂取量は2日あたり4 mgと、コントロール群の143mgに比較しわずかにすぎなかったが、カルシウムの蓄積率は有意に高く、正の出納を示した。しかし、食塩を添加した食塩添加食群のカルシウム蓄積率は尿中排泄量が摂取量を上回ったため負となった。

低カルシウムでの食塩過剰摂取がラットの骨代謝に及ぼす影響を検討した結果、低Ca食群及び食塩添加食群の大腿骨重量は、コントロール群に比べて低い傾向を示した。また運動刺激や荷重により骨重量は増加するといわれているが、今回どちらの運動群も骨重量の増加が認められなかったのは、低カルシウム食であったことと過剰な運動量が原因していると思われる。

大腿骨の骨破断力について、コントロール群と低Ca食群の間に差は認められなかったが、低Ca食運動群の骨破断力は、非運動群に比べて有意に低くなり、食塩添加食群についても非運動群より運動群で低い傾向が認められた。今回は、運動群の過剰な運動量が骨に負の影響をもたらしたと推測される。運動により骨代謝は活発になったが、摂取カルシウムが非常に少なかったため、骨形成が亢進されなかつ

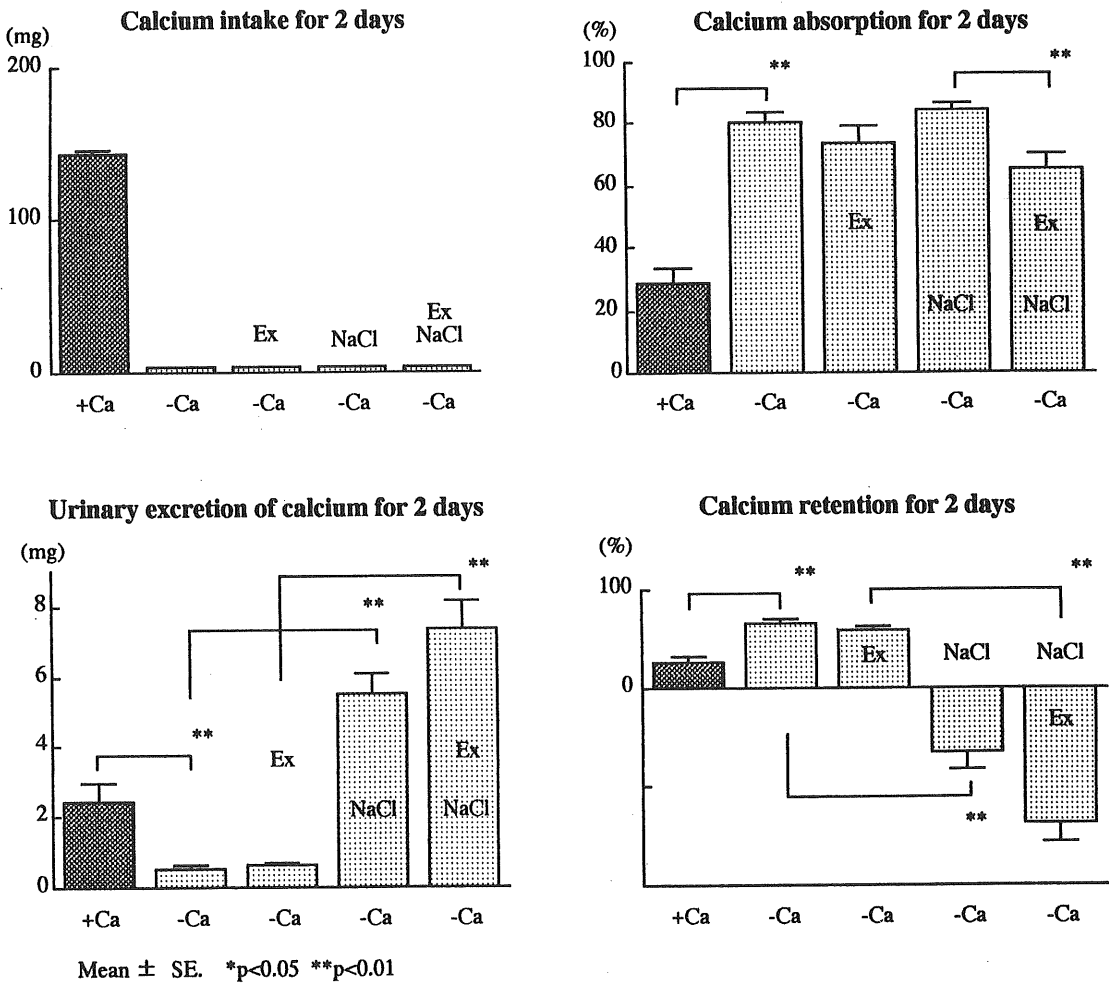


Fig. 4. Balance of calcium for 2 days

たとえられる。

尿中のカルシウム排泄は食塩摂取により高められ、カルシウムの蓄積率は負を示した。もともと尿中に排泄されるカルシウム量は非常に少なく、飼育期間が短かったため、今回は骨に対する明らかな影響は認められなかった。しかし、カルシウム不足と高食塩摂取が長期に渡れば、骨にも大きな影響が及ぶと推測される。

文 献

- 1) Ito R. and Oka J. (1985) : J. Nutr. Sci. Vit. **31** (suppl) S7-10
- 2) Matkovic V. and Kostial K. (1979) : Am. J. Clin. Nutr. **32** 540-549

- 3) Peacock N. A. (1987) : J. Clin. Invest. **80** 706-710
- 4) Krall E. A. and Dawson-Hughes B. (1993) : J. Bone Miner. Res. **8** 1-9
- 5) Chan. E. L. and Swaminathan. R (1993) : J. of Bone and Min. Res. **8** 1185-1189
- 6) 小川徳雄 : 新汗の話 アドア出版 (1994)
- 7) 山田哲雄, 村松成司, 高橋徹三 (1993) 日本栄養・食糧学会誌 **46** 39-46
- 8) C. Shortt and A. Flynn (1991) : British J. Nutr. **66** 73-81
- 9) B. E. C. Nordin and A. G. Need (1993) : J. Nutr. **123** 1615-1622