

ラットのカルシウム代謝に関する研究

——骨発育に及ぼす高蔗糖・高脂肪食の影響——

及川桂子*・鎌田暁子**・佐藤絵里***

(1998年6月30日受理)

はじめに

現在日本人の食生活は食品が豊富でかつ自由に入手できる状態にあり、厚生省が行っている国民栄養調査によると、国民1人1日当たりの栄養素等摂取量は平均的にはほとんど所要量を満たし、良好な状況にある。しかしながら、カルシウム (Ca) は依然として所要量を下回っており、老若男女を問わず Ca の摂取不足が問題視されている¹⁾。このような現状において学童の骨折率の増加が危惧され、若年の骨粗鬆症も増えていると言われている²⁾。一方、学童の砂糖および脂肪の過剰摂取についても問題となっている³⁾。

砂糖および脂肪の過剰摂取と Ca 吸収に関する研究をみると、田村⁴⁾や片瀬⁵⁾は砂糖の過剰摂取が Ca 体内利用を低下させるというが、不明な点が多い。また脂肪摂取量と Ca 吸収との関係については、脂肪は Ca 吸収に影響を与えるという報告⁶⁾⁻⁸⁾と、関係ないという報告⁹⁾⁻¹²⁾があり、意見の一致をみていない。

そこで、砂糖および脂肪の過剰摂取が Ca の生体利用に及ぼす影響についてさらに検討する必要があると考え、今回幼若ラットに高蔗糖及び高脂肪食を与え骨発育に及ぼす影響を検討した。

実験方法

1. 実験動物および飼育方法

実験動物は3週齢の Wistar 系雄ラットを用い、表1に示す除 Ca の飼料で7日間予備飼育した後、1群6匹ずつ6群に分けて表2に示す実験飼料を投与し6週間飼育した。ラットはステンレス製ケージに個別に入れ、室温 22.0~23.0°C、湿度 60±5%の動物室で飼育した。飼料および水(蒸留水)は自由摂取させた。

* 岩手大学教育学部
** 尚綱女学院短期大学生活科学科
*** 岩手県立遠野緑峰高校

表1 除Ca飼料の組成(%)

カゼイン	20.00
でんぷん	67.85
蔗糖	—
繊維	2.00
炭酸Ca	—
大豆油	5.00
バター	—
ビタミン混合*1	1.00
ミネラル混合*2	4.00
塩化コリン	0.15

*1:ハーバーのビタミン混合

*2:ハーバーのミネラル混合からCa塩 (CaCO₃, CaHPO₄·2H₂O) を除去し、乳糖で調整。

2. 飼料

対照飼料および実験飼料は表2に示した。Ca源は全群CaCO₃を用いた。高蔗糖飼料はでんぷんのかわりに蔗糖、高脂肪飼料は大豆油のかわりにバターを用いた。なお、ミネラル混合は全群除Ca塩を用いた。各群のCaレベルは1群および2群は0.12%、3群~6群は0.30%とした。

表2 実験飼料の組成(%)

	1群 (対照Ⅰ)	2群 (高蔗糖・高脂肪)	3群 (対照Ⅱ)	4群 (高蔗糖)	5群 (高脂肪)	6群 (高蔗糖・高脂肪)
カゼイン	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00	20.00
でんぷん	67.55	—	67.10	—	62.10	—
蔗糖	—	62.55	—	67.10	—	62.10
繊維	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00	2.00
炭酸Ca	0.30	0.30	0.75	0.75	0.75	0.75
大豆油	5.00	—	5.00	5.00	—	—
バター	—	10.00	—	—	10.00	10.00
ビタミン混合*1	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00	1.00
ミネラル混合*2	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00	4.00
塩化コリン	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15	0.15

*1:ハーバーのビタミン混合

*2:ハーバーのミネラル混合からCa塩 (CaCO₃, CaHPO₄·2H₂O) を除去し、乳糖で調整。

3. 測定項目および方法

(1) 大腿骨重量, 骨長, 骨長径, 骨短径

大腿骨の湿重量は、飼育最終日に大腿骨を摘出し、骨膜を剥離して測定した。乾燥重量は湿重量測定後、大腿骨を100±5℃で12時間乾燥後、デシケーターで1時間放冷し測定した。大腿骨の長さ、長径、短径はノギスを用いて測定した。

(2) 大腿骨および糞中の Ca 含量の測定

乾燥した大腿骨を 550~600°C で 10 時間灰化後、塩酸で溶解し蒸留水で希釈した。これに塩化ストロンチウムを加え原子吸光光度計で測定した。糞中 Ca も同様に測定した。

(3) 血清中の Ca 含量の測定

飼育最終日にエーテル麻酔のもとで、腹部大動脈より採血し、血清を分離した。塩化ストロンチウムを加え原子吸光光度計で測定した。

(4) 大腿骨および糞中のリン (P) 含量の測定

乾燥させた大腿骨を 550~600°C で 10 時間灰化し、塩酸で溶解した。これを蒸留水で希釈し、モリブデン酸溶液と硫酸ヒドラジン溶液を加えて沸騰浴中で 10 分加熱した。それを原子吸光光度計で測定した。糞中 P も同様に測定した。

4. 統計処理

試験データの有意差検定は Student の t 検定によった。測定値は平均±標準偏差で示した。

結 果

1. 発育

各群とも全期間を通して順調な体重増加を示した。0.12%Ca 食 (低 Ca 食) では 1 群 (対照 I) は、2 群 (高蔗糖・高脂肪) と比較してやや低値を示したが有意ではなかった。0.30%Ca 食 (正常 Ca 食) の 3 群 (対照 II) は 4 群 (高蔗糖), 5 群 (高脂肪), 6 群 (高蔗糖・高脂肪) と比較してやや低値を示したが有意ではなかった。なお、0.30%Ca 食の方が良好な発育を示したが有意差は認められなかった (図 1)。

2. 大腿骨重量, 骨長および骨長径・骨短径

大腿骨湿重量, 乾燥重量は同じ傾向を示し Ca 同レベル群間 (1 群, 2 群間, 3~6 群間) では有意差は認められなかったが, 対照群および高蔗糖・高脂肪群では Ca レベルの違いにより有意差が認められ 0.30%Ca 食の方が高い値を示した (各 $p < 0.001$) (図 2)。

骨長および骨長径・骨短径は Ca レベルの違いおよび飼料の違いによる差は認められなかった。

3. 大腿骨中 Ca 含量

大腿骨全骨 Ca 含量は 0.12%Ca 食では群間で有意差は認められなかったが, 0.30%Ca 食では 5 群 (高脂肪) が 3 群 (対照 II) と比較して有意に低い値を示した ($p < 0.01$)。また 4 群 (高蔗糖) と 5 群 (高脂肪) 間 ($p < 0.05$), 5 群 (高脂肪) と 6 群 (高蔗糖・高脂肪) 間 ($p < 0.01$) で有意差がみられた。対照群 (1 群と 3 群) および高蔗糖・高脂肪群 (2 群と 6 群) では Ca レベルの違いにより有意差が認められ, 0.30%Ca 食の方が高い値を示した (各 $p < 0.001$) (図 3)。

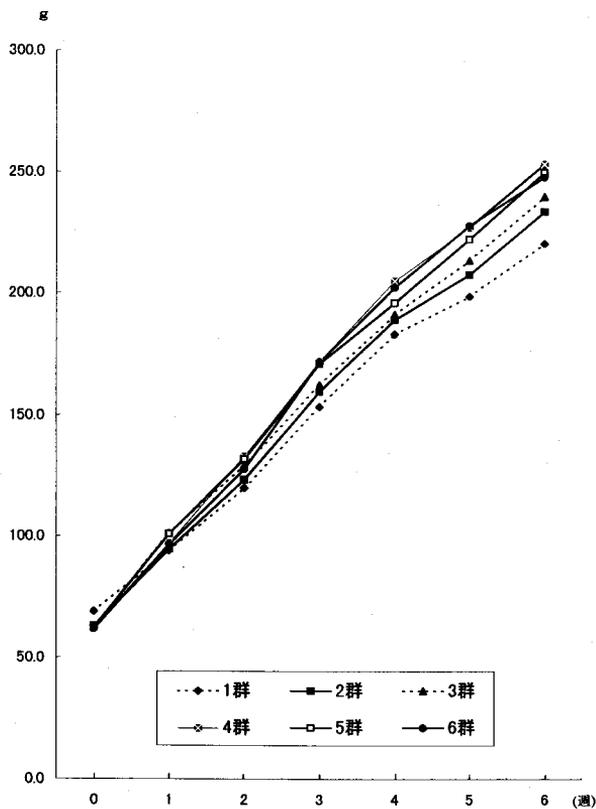


図1. 体重変化

1群, 対照Ⅰ (Ca 0.12%); 2群, 高蔗糖・高脂肪食 (Ca 0.12%);
 3群, 対照Ⅱ (Ca 0.30%); 4群, 高蔗糖食 (Ca 0.30%);
 5群, 高脂肪食 (Ca 0.30%); 6群, 高蔗糖・高脂肪食 (Ca 0.30%)

4. 血清中Ca含量

血清中Ca含量は0.12%Ca食では有意差は認められなかった。0.30%Ca食の群間(3~6群)では, 5群(高脂肪) ($p < 0.01$)と6群(高蔗糖・高脂肪) ($p < 0.001$)が対照Ⅱと比較して有意に低い値を示した。Caレベルの違いによる影響をみると, 対照群間では対照Ⅰ(0.12%Ca食)に比べ対照Ⅱ(0.30%Ca食)が有意に高かったが ($p < 0.01$), 高蔗糖・高脂肪群間ではCaレベルによる差は認められなかった(図4)。

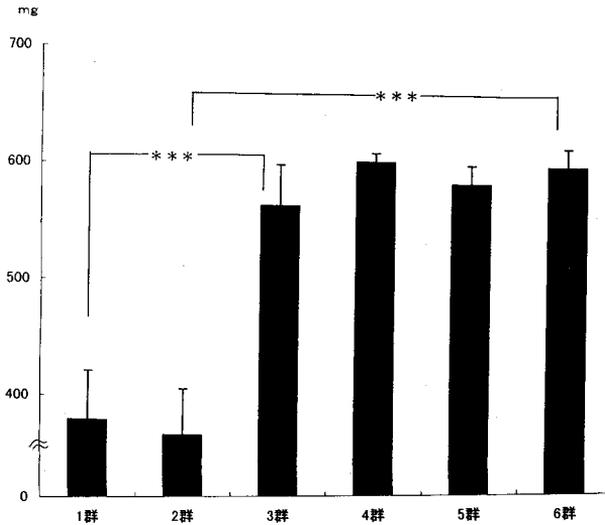


図2. 大腿骨乾燥重量

***p<0.001

- 1群, 対照 I (Ca 0.12%); 2群, 高蔗糖・高脂肪食 (Ca 0.12%);
- 3群, 対照 II (Ca 0.30%); 4群, 高蔗糖食 (Ca 0.30%);
- 5群, 高脂肪食 (Ca 0.30%); 6群, 高蔗糖・高脂肪食 (Ca 0.30%)

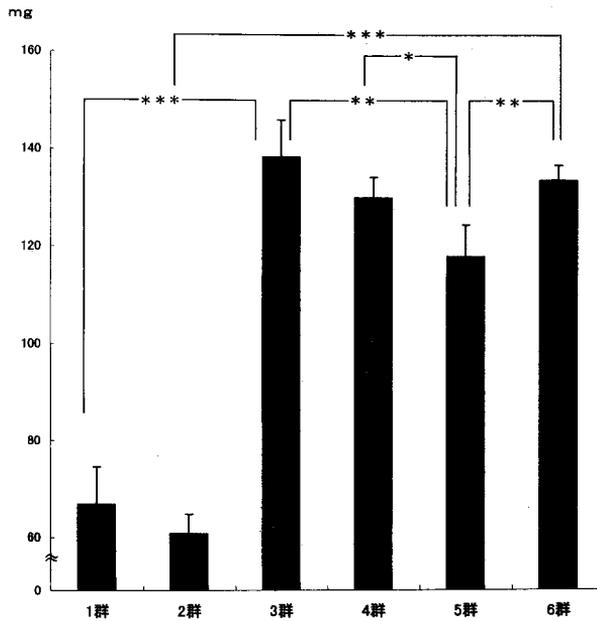


図3. 大腿骨全骨 Ca 含量

***p<0.001, **p<0.01, p<0.05

- 1群, 対照 I (Ca 0.12%); 2群, 高蔗糖・高脂肪食 (Ca 0.12%);
- 3群, 対照 II (Ca 0.30%); 4群, 高蔗糖食 (Ca 0.30%);
- 5群, 高脂肪食 (Ca 0.30%); 6群, 高蔗糖・高脂肪食 (Ca 0.30%)

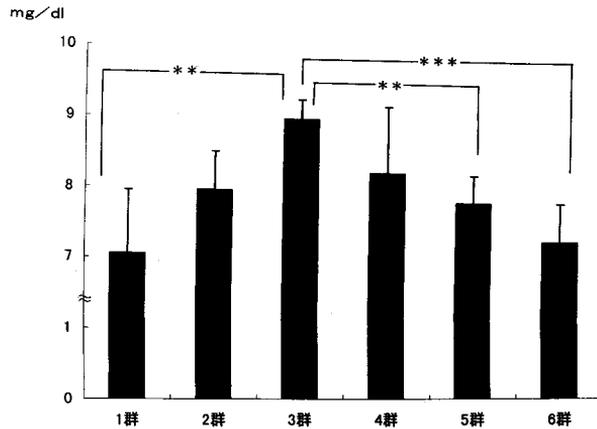


図4. 血清中Ca含量

***p<0.001, **p<0.01

- 1群, 対照Ⅰ (Ca 0.12%); 2群, 高蔗糖・高脂肪食 (Ca 0.12%);
- 3群, 対照Ⅱ (Ca 0.30%); 4群, 高蔗糖食 (Ca 0.30%);
- 5群, 高脂肪食 (Ca 0.30%); 6群, 高蔗糖・高脂肪食 (Ca 0.30%)

5. 糞中Ca含量

糞全量中Ca含量は同Caレベルでは有意差は認められなかったが, Caレベルの違い(対照群間, 高蔗糖・高脂肪群間)による顕著な差がみられた(各p<0.001)(図5)。

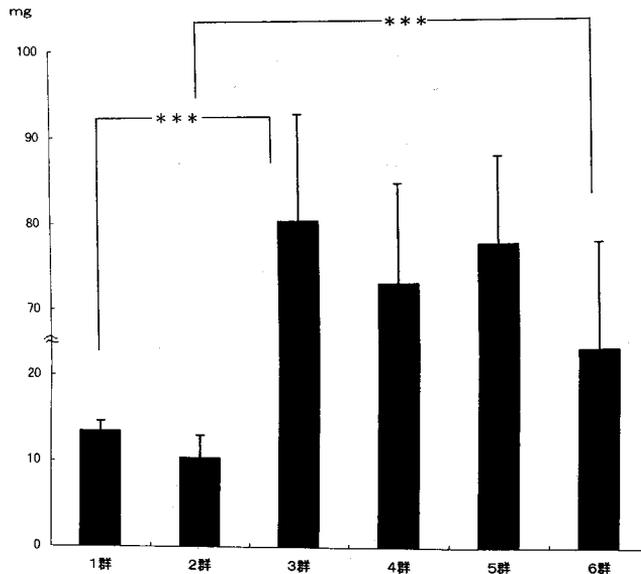


図5. 糞中Ca

***p<0.001

- 1群, 対照Ⅰ (Ca 0.12%); 2群, 高蔗糖・高脂肪食 (Ca 0.12%);
- 3群, 対照Ⅱ (Ca 0.30%); 4群, 高蔗糖食 (Ca 0.30%);
- 5群, 高脂肪食 (Ca 0.30%); 6群, 高蔗糖・高脂肪食 (Ca 0.30%)

6. 大腿骨中のP含量

大腿骨全骨P含量は0.12%Ca食の群間で有意差は認められなかった。0.30%Ca食の群間(3~6群)では対照Ⅱに比べ4群(高蔗糖)が有意に高く($p < 0.01$), 5群(高脂肪)は有意に低かった($p < 0.05$)。Caレベルの違いによりP含量に著しい違いがみられCaレベルが高いほどP含量が高かった。

考 察

今日、学童が好んで食べているおやつの上位5つは、スナック菓子、アイスクリーム、せんべい・あられ、プリン・ゼリー、チョコレートとなっており¹³⁾、これらに砂糖と脂肪が多く含まれていることから、砂糖や脂肪のとり過ぎが問題になっている。さらに学童期は骨発育が旺盛で重要な時期であるということをふまえ、本実験では砂糖や脂肪の過剰摂取に着目し、それが骨発育にどのような影響を及ぼすかについて検討した。

体重、骨の長さや太さについては高蔗糖食、高脂肪食、高蔗糖・高脂肪食の影響は認められず、砂糖や脂肪の過剰摂取は肥満要因であるが、本実験ではこれらによる著しい体重増加はみられなかった。

脂肪摂取量とCaの吸収との関係については、食事中に脂肪が適量存在することは腸管内容を酸性に保ちCaの吸収を高めるが、脂肪が多い場合にはCaが脂肪酸と結合し、不溶性のCa石けんができ、Caの利用を阻害するといわれてきた。Tadayyonら⁶⁾、Swellら⁷⁾はラットの実験で脂肪酸の量がCa吸収に影響を与えること、Williamsら⁸⁾は乳児において、脂肪の摂取量によってCaの吸収量に差があり、Caの尿中への排泄量は脂肪の排泄量に比例していた、と報告している。

一方、Fuqua⁹⁾は女子学生に脂肪を45, 91, 135g与えてCaの吸収への影響を調べ、脂肪の量の違いによる影響がなかったとしている。五島も脂肪量とCa吸収の関係を健康な幼児と成人で観察し、脂肪量はCa利用に影響を及ぼさなかったと報告している¹⁰⁻¹²⁾。このようにCaの吸収と脂肪の摂取量との関係については、まだ一致した成績が得られていないが、被検対象による違いがあるかも知れない。

本実験において、高脂肪群は大腿骨中Ca量および血清Ca量が正常飼料群に比べて有意に低いことが認められた。この結果のみで、Caの生体利用に及ぼす脂肪の影響について結論づけるのは早計かも知れないが、現在の栄養摂取状況における脂肪の摂り過ぎを改善する一つの指標になるものと考えられる。

高蔗糖食については体重、骨の太さ、骨中Ca量においてその影響は認められなかったことから、今回の実験では砂糖の過剰摂取は骨発育に影響しないものと推論された。

Ca摂取量はこの20年間をみても殆ど増加せず横ばい状態にあり、未だ所要量に達したことがないという状況である¹⁾。これほど飽食時代、Ca不足といわれながらもこのような状態にあることは、日本人の食生活においてCaは余程心掛けない限りいかに摂りにくい栄養素であるかを示している。

今回の実験で脂肪の摂り過ぎはCaの体内利用を低下させることが認められたことから、Ca摂取が十分であっても脂肪を過剰摂取すると、実際に吸収されるCa量は少ないことが推測される。従って、より多くのCa摂取と脂肪の適量摂取が望まれる。

要 約

砂糖および脂肪の過剰摂取が骨発育にどのような影響を及ぼすかについて、幼若ラットを用いて検討した。ラットに高蔗糖、高脂肪食を与えて6週間飼育後、大腿骨重量、大腿骨Ca量、血清中Ca量、糞中Ca量、大腿骨P量を測定し、次のような結果を得た。

1) 体重は全期間を通して、どの群も順調な増加を示した。最終体重はすべての実験群間において有意差は認められなかった。

2) 大腿骨重量(湿重量、乾燥重量)は対照群、高蔗糖・高脂肪群で0.12%Ca食に比べ、0.30%Ca食の方が有意に高かった。骨長および骨長径、骨短径についてはすべての実験群間において差は認められなかった。

3) 大腿骨Ca量(全骨)は0.30%Ca食の群間では5群(高脂肪)が対照Ⅱと比較して有意に低値を示した。Caレベルの違いによる比較では、0.30%Ca食の方が有意に高かった。

4) 血清中Ca量は0.30%Ca食の群間では、対照Ⅱと比較して5群(高脂肪)と6群(高蔗糖・高脂肪)が有意に低値を示したが、正常範囲内であった。また、対照群間で有意差がみられ、0.30%Ca食の方が高かった。

5) 糞中Ca量はCaレベルの違い(対照群間、高蔗糖・高脂肪群間)による比較では、0.30%Ca食の方が有意に高かった。

以上より、高蔗糖群では骨発育の障害は認められなかったが、高脂肪群においては骨発育を障害する結果が得られた。このことから、脂肪の過剰摂取はCa吸収に影響を及ぼすと推測された。

- 1) 厚生省保健医療局健康増進栄養課：国民栄養の現状(平成7年成績)，第一出版，東京，35～36(1997)
- 2) 厚生省統計調査協会：国民衛生の動向，43，9，356(1996)
- 3) 原まどか，鈴木慎一郎，青木継稔，相沢昭，須藤弘：最近の小児・学童の食生活および食習慣—とくに肥満との関連について—。臨床栄養，71，129～134(1987)
- 4) 田村豊幸：カルシウム欠乏症—砂糖の副作用。芽ばえ社，125～126(1982)
- 5) 片瀬淡：「カルシウム医学」血液酸塩基平衡学。人間医学社，48～49(1948)
- 6) Tadayyon, D. and Lutuak, L.: Interrelationship of Triglycerides with Calcium, Magnesium and Phosphorus in the Rat. J. Nutr., 97, 246～254(1969)
- 7) Swell, L., Trout, C. E., Field, H. and Treadwell, C. R.: Effect of Dietary Fat and Fatty Acid on Fecal Excretion of a Calcium Oleate Phosphate Complex. Proc. Soc. Exp. Biol. Med., 92, 613～615(1956)
- 8) Williams, M. L., Rose, C. S., Marrow, G., Sloan, S. E. and Barnes, L. A.: Calcium and Fat Absorption in Neonatal Period. Am. J. Clin. Nutr., 23, 1322～1330(1970)
- 9) Fuqua M. E. and Patton M. B.: Effect of Three Levels of Fat Intake on Calcium Metabolism. J. Amer. Diet. Asso., 29, 1010～1013(1953)
- 10) 五島孜郎：脂肪摂取量がCa吸収に及ぼす影響について—第1報植物性脂肪—。栄養と食糧，7，180～187(1954)

- 11) 五島孜郎：脂肪摂取量がCa吸収に及ぼす影響について—第2報動物性脂肪—。栄養と食糧, 7, 212~215 (1955)
- 12) 五島孜郎, 石原照代：脂肪摂取量がCa吸収に及ぼす影響について—第5報幼児について—。栄養と食糧, 8, 29~33 (1955)
- 13) 武田薬品工業(株)フードビタミン事業部：現代っ子の食事—ごはんのおつきあい—に関する意識と実態調査。食生活情報ブック, 女子栄養大学出版部, 17 (1995)