

# 飲水中食塩濃度がラットの ミネラルバランスに及ぼす影響

奥 村 ミ サ ラ

Effect of Sodium Chloride Concentration in  
Drinking Water on Mineral Balance in Rats

Misao Okumura

## 1. 緒 言

食塩の摂取が一貫して実験動物や人間の血圧を上昇させることはよく知られた事実であり、最近 Ca, K, Mg などのミネラルが高血圧に対して改善効果のあることが報告されている<sup>1),2)</sup>

Dahl によれば<sup>3)</sup>、日本人の食塩摂取量は欧米人に比べて非常に高く、さらにほとんどの人が毎日溶液の形で（味噌汁、スープなど）多量の食塩を摂取している。しかし、食塩摂取と高血圧症との関連が指摘されながらも、食塩の血圧に及ぼす影響が食餌性のものか、飲水によるものかを比較した報告はみられない。

著者らは既報<sup>4)</sup>において、飼料および飲水由来の過剰な食塩が自発的な高血圧ラット（SHR）の血圧上昇やミネラルバランスに如何なる影響を及ぼすかについて検討した結果、過剰な食塩の摂取経路が、飼料（食塩濃度 1～2%）あるいは飲水（食塩濃度 1%）いずれでも血圧は対照に比して上昇するが、飲水由来の過剰な食塩により、大腿骨の破壊細胞の数が増大することを見出した。

本研究は、卵殻の破壊率が飲水中の Na の上昇により比例的に上昇するという報告<sup>5)</sup>、日本人の食塩摂取が味噌汁やその他のスープ類に依存している事実から、飲水由来の食塩摂取の影響を検索するために実施した。すなわち、既報において、骨細胞に異変が認められた標準飼料 + 1% 食塩水を投与した群に視点をあて、日本人の好む汁類の食塩濃度が 0.8% とされている事実から、0.8% 以下の食塩濃度でも多量に摂取すれば同様の危険が生じるものと考え、日常の食塩摂取濃度 0.4～1.0% レベルの飲水におけるミネラルバランスとその影響について検討した。

## 2. 実験方法

### (1) 動物の飼育

20匹の Wistar 系雄ラット（6週令）を中部科学資材(株)より購入し、Immortal 型代謝ケージ（21.5×21.5×23.5cm）の中で1週間単飼した。室温は22℃，照明は明6：00，暗20：00に調整し標準飼料と蒸留水を投与した。1週間後（7週令）体重が平均的になるように次の4群に分けて7週間飼育した。

- A：標準飼料と蒸留水
- B：標準飼料と0.4%食塩水
- C：標準飼料と0.8%食塩水
- D：標準飼料と1.0%食塩水

### (2) 飼料と飲水の調製

飼料の組成は表1に示した。<sup>6),7)</sup> 標準飼料kg当たりの Na, Ca, P, Mg 含量はそれぞれ1.02, 5.20, 3.60, 0.50gであった。B～D群の食塩水は、0.4～1.0%濃度に調製してそれぞれ7週間摂取させた。

表1 飼料組成

原 料	%
カゼイン（乳製）	20.0
DL-メチオニン	0.3
コーンスターチ	15.0
シヨ糖	50.0
繊 維	5.0
トウモロコシ油	5.0
AIN-76 塩類混合物 *	3.5
AIN-76 ビタミン混合物 **	1.0
コリン重酒石酸塩	0.2

\* Report of the American Institute of Nutrition ad hoc Committee on Standards for Nutritional Studies(6)

\*\* Second Report of the ad hoc Committee on Standards for Nutritional Studies(7)

### (3) 体重、摂食量および飲水量の測定

体重、摂食量および飲水量の測定は、毎日一定の時間（10：00～12：00）に実施した。

### (4) 尿、糞および骨中のミネラル測定

尿と糞は実験の最週6日間採集した。糞は乾燥機で98℃、一昼夜乾燥の後、電気炉（Yamato Muffle Furnace FM-36）にて580℃、3時間灰化し恒温にした後その重量を測定した（乾重量）。

また、実験の最終日にエーテル麻酔の後、腹部大動脈より採血し、屠殺の後右大腿骨を摘出、肉片を除去して重量を測定した（湿重量）。

さらに、骨は同様に98℃、一昼夜乾燥の後580℃の電気炉で12時間灰化し恒温にした後重量を測定した（乾燥重量）。尿中におけるCa, Mg, Na, K, 糞中のMg, Na, Pおよび骨中のMgの測定は原子吸光分光光度計（日立、原子吸光／炎光分光光度計170-30型）によった。骨および糞は一定量を1%塩酸で溶解し尿は蒸留水で希釈して試料とした。骨と糞中のCaはGitelmanの方法<sup>8)</sup>（Kitによる）により測定した。また、骨中のPの定量はFiske-Subbarowの方法<sup>9)</sup>によった。

### (5) 統計方式

結果の数値は $P < 0.05$ の場合有意差ありと断定し、すべての統計処理はSASの方法<sup>10)</sup>により行なった。

## 3. 実験結果および考察

### (1) 体重の変化と摂食量

表2は飼育7週間における体重の変化と摂食量を示したものである。体重の増加量においては、各群間における有意差はみられなかったが、1%食塩水投与群(D)で最も低く、次いで0.4%群(B)、対照群(A)であり、0.8%群(C)で最も高かった。摂食量では、0.4%(B)と対照群(A)の間に有意差が認められたのみであった。摂食効率においては0.8%投与群(C)が最も良く対照群と並んで効率の良い成長が伺えた。

### (2) 飲水量と尿量

飲水量は食塩濃度の増加とともに有意に増加した。0.8%群と実験群の間で有意差は認められたが、0.4%と1.0%の間には有意な差はなくむしろ0.4%の方が少し多かった。尿量も飲水量と同様な傾向を示した（表3）。

表2 体重の変化と摂食量

実験群	体重 (g)		体重増加量 (x) (g)	摂食量 (y) (g)	摂食効率 (x) ÷ (y)
	初体重	終体重			
A	210 ± 2	397 ± 17	187 ± 18	132 ± 7b	1.41 ± 0.07a,b
B	208 ± 2	401 ± 17	190 ± 16	149 ± 5a	1.29 ± 0.07b
C	209 ± 2	426 ± 11	218 ± 13	135 ± 4a,b	1.61 ± 0.07a
D	209 ± 3	385 ± 20	176 ± 21	146 ± 7a,b	1.20 ± 0.07b

\* A : 標準飼料+H<sub>2</sub>O (対照)      B : 標準飼料+0.4%食塩水  
C : 標準飼料+0.8%食塩水      D : 標準飼料+1.0%食塩水

Mean ± SE (N=5) 、 異符号間に有意差あり (P<0.05)  
a, b : 全ての群と有意差なし

表3 飲水量と尿量 (ml/日)

実験群	飲水量	尿量
A	20.9 ± 1.6b	10.7 ± 1.4b
B	40.8 ± 5.8b	25.2 ± 5.3a,b
C	82.9 ± 20.0a	29.3 ± 9.5a
D	30.3 ± 3.1b	18.2 ± 2.5a,b

\* : Mean ± SE (N = 5) 、 異符号間に有意差あり  
(P<0.05)  
a, b : 全ての群と有意差なし

### (3) 投与食塩レベルとミネラルバランス

実験最終6日間におけるNa, K, Mg, およびCaのバランスは表4に示した。

Na摂取量は食塩添加により増加したが対照群, 0.8%群, 1.0%群で有意差が認められ, 0.8%群で最も多く飲水量と比例した。しかし, 1.0%群は飲水量は0.4%群より低いにもかかわらずNa摂取量は多かった。糞および尿中Naの排泄量は摂取量と同様に0.8%, 1.0%群で有意に高く, 1.0%群は摂取量より排泄量が著しく上回った。糞中Kの排泄量では各群間における有意差は認められなかった。また, 尿中Kの排泄量は対照群と実験群の間に有意差はみられたが, 3群間に有意な差は認められなかった。

Mgの摂取量ならびに糞中排泄量は0.4%と0.8%群の間で有意差が認められ, 0.8%で低かった。

Caの摂取量においてもMgと同様に0.4%と0.8%で有意差が認められ0.4%群で高かった。

表4 投与食塩レベルがラットのミネラルバランスに及ぼす影響

ミネラル	実験群 含量(mg/日)	A	B	C	D
		Na	19.3 ± 0.9c 2.47 ± 0.30b 26.9 ± 2.0c	85.7 ± 8.9b,c 2.76 ± 0.31a,b 104.1 ± 11.4b	279.9 ± 63.2a 3.90 ± 0.46a 246.7 ± 32.3a
K	摂取量 糞 尿	68.1 ± 3.3a,b 5.83 ± 0.90 9.56 ± 1.18b	75.7 ± 2.7a 7.38 ± 1.36 41.5 ± 7.0a	66.0 ± 2.6b 6.23 ± 0.25 41.7 ± 8.0a	73.4 ± 3.0a,b 7.88 ± 1.42 32.6 ± 3.8a
Mg	摂取量 糞 尿	9.45 ± 0.46a,b 4.16 ± 0.11b 0.06 ± 0.01	10.5 ± 0.4a 4.53 ± 0.17a 0.04 ± 0.02	9.17 ± 0.36b 4.10 ± 0.04b 0.05 ± 0.02	10.2 ± 0.4a,b 4.77 ± 0.04a 0.05 ± 0.03
Ca	摂取量 糞 尿	76.7 ± 3.7a,b 52.4 ± 3.2b 0.04 ± 0.01b	85.3 ± 3.1a 55.5 ± 4.2a,b 0.35 ± 0.15a,b	74.4 ± 2.9b 47.6 ± 1.8b 0.48 ± 0.21a	83.3 ± 3.4a,b 61.9 ± 3.0a 0.11 ± 0.05a,b

\* : Mean ± SE (N=5) 、 異符号間に有意差あり (P<0.05)  
a, b : 全ての群と有意差なし

糞中 Ca の排泄量では、0.8%と1.0%群で有意差が認められ1.0%群で最も高かった。尿中 Ca 排泄は対照群と比較して0.8%群で有意に高かったが、1.0%群で対照群よりやや多い程度で低かった。

(4) 投与食塩レベルと骨中ミネラル含量

右大腿骨中のミネラル含量を表5に示した。湿重量、乾重量およびCa含量に有意差はみられなかったが、Ca含量は0.4%群で高く1.0%群で低かった。P含量は対照群を除く3実験群で有意差は認められなかったが、1.0%群で最も高かった。Ca/Pをみると食塩投与により有意差が認められ、0.4%群で高く、0.8%、1.0%群の順で低くなった。Ca/Mgでは有意差はみられなかったが、Ca/Pと同様に0.4%群で高く1.0%群で低くなり、食塩投与によりCaの骨への吸収が低くなる傾向が伺えた。

SHRが強い食塩に対する嗜好性を示すことが鳥居らによって見出され<sup>11)</sup> 既報における著者らの実験においても、食塩消費量は食塩レベルの上昇とともに高い傾向を示した。本実験においても、SHRではないが、Wistar系ラットでも投与食塩レベルの上昇とともに食塩消費量は増大したが、飲水量からその最も好む濃度は0.8% (137mM)であり、この濃度は鳥居らの示したSHRの嗜好濃度に近似した。また0.8%群では飲水量は多かったが摂取量は少なく効率のよい成長を示した。しかしながら、食塩投与量の増大とともにCa/PおよびCa/Mgが低下し、その結果として骨の強度が低下すると予測されることから、飲水中の食塩濃度は既報の結果から破骨細胞数の増大が危険視される濃度が1.0%以下、すなわち絶対量で上限0.8%濃度にする

表5 投与食塩レベルがラットの骨中ミネラル含量に及ぼす影響

実験群 項目	A	B	C	D
湿重量 (g)	0.96 ± 0.07	1.06 ± 0.05	1.11 ± 0.03	1.00 ± 0.04
乾重量 (g)	0.53 ± 0.04	0.59 ± 0.02	0.62 ± 0.01	0.57 ± 0.03
Ca含量 (mg/骨)	19.1 ± 1.1	21.2 ± 1.8	17.8 ± 0.6	17.7 ± 0.8
P 含量 (mg/骨)	8.45 ± 0.25b	8.96 ± 0.23a,b	8.77 ± 0.14a,b	9.32 ± 0.31a
Mg含量 (mg/骨)	0.49 ± 0.02a	0.45 ± 0.01b	0.43 ± 0.01b	0.45 ± 0.01b
Ca/P	2.25 ± 0.09a,b	2.35 ± 0.18a	2.03 ± 0.06b	1.95 ± 0.08b
Ca/Mg	39.0 ± 3.5	46.5 ± 3.1	41.1 ± 2.0	39.5 ± 2.4

\* : Mean ± SE (N = 5) 、 異符号間に有意差あり (P<0.05)  
a, b : 全ての群と有意差なし

ことが望ましいと思われる。

平成5年度の国民栄養調査成績<sup>12)</sup>より、我々日本人の食塩摂取量は平均13g弱で、これは欧米人の2倍以上である。食品の味付け以上に汁ごと食する様式(味噌汁、スープ、ラーメンなど)も多く<sup>13)</sup>この傾向は中年期以降の年代に多くみられ、加齢とともに食塩や砂糖に対する意識が高いにもかかわらずとくに塩味、砂糖に対する味覚が減少することから、濃い味を感じないまま飲する結果と思われる。基本的には、若い時から薄味に慣れさせることであるが、薄味でもおいしく食べられるよう塩分を少なくする工夫(酢の物、香辛料、天然だしの利用、油や香ばしさの利用、一品重点主義、食べる時に表面に調味料をつける、砂糖分をへらすなど)をすることがより効果的であると思われる。

#### 4. 要 約

飲水中の食塩レベルがラットのミネラルバランスに与える影響を観察し、併せて日本人の食生活への指針を得るべく検討した結果、以下の点が判明した。

- (1) ラットの体重は0.8%群で最も高く、1.0%群で最も低かった。
- (2) 飲水量は食塩レベルの上昇とともに増加し、尿量とほぼ比例関係を示した。
- (3) ミネラルバランスにおいては、Naの摂取量は0.8%群で有意に高く、次いで1.0%群、0.4%群の順であった。K, MgおよびCaの摂取量は群間で大差がなかったが、0.4%群と0.8%群に有意差があり、いずれも0.4%群で高かった。
- (4) 投与食塩レベルと骨中ミネラル含量においては、Ca含量では群間における有意差は認

められなかったが、P含量は1.0%群で高かった。また、Ca/PおよびCa/Mgは1.0%群で最も低く、既報の破骨細胞数の増大が予測された。

(5) 以上の結果より、0.8%食塩濃度がラットの好む濃度であり、これは人間にも共通する点から、健康維持のためには日常の飲水食塩濃度は絶対量で0.8%以下が適当と考える。

#### 文 献

- 1) Battarbee, H. D., Meneely, G. R. : Nutrient Toxicities in Animal and Man, Sodium—CRC Handbook Series in Nutrition and Food Section E : Nutritional Disorders, 119–140, 1978.
- 2) Dykner, T., Wester, P. O. : Effect of Magnesium on Blood Pressure, *Br. Med. J.*, **286**, 1847–1849, 1983.
- 3) Dahl, L. K. : Salt and Hypertension., *Am. J. Clin. Nutr.*, **25**, 231–244, 1972.
- 4) Furse, M., Okumura, M., Watanabe, T. and Okumura, J. : Mineral Balance and Bone Histology in Spontaneously Hypertensive Rats, *Physiology & Behavior*, **52**, 731–736, 1992.
- 5) 奥村純市：卵殻質に影響を及ぼす飲水のミネラルに関する最近の研究，*鶏の研究*，64(7)，69–75，1989.
- 6) Report of the American Institute of Nutrition and ad hoc committee on Standards for Nutritional Studies, *J. Nutr.*, **107**, 1340–1348, 1977.
- 7) Second Report of the ad hoc committee on Standards for Nutritional Studies, *J. Nutr.*, **110**, 1726, 1980.
- 8) Gitelman, H. J. : An Improved Automated Procedure for the Determination of Calcium in Biological Specimens, *Anal. Biochem.*, **18**, 521–531, 1967.
- 9) Fiske, C. H., Subbarow, Y. : The Colorimetric Determination of Phosphorus, *J. Biol. Chem.*, **66**, 375–400, 1925.
- 10) SAS Institute Inc. SAS User's Guide Statistics Cary, NC, SAS Institute Inc., 1985.
- 11) 鳥居邦夫：ラットにおけるタンパク質栄養とアミノ酸および食塩嗜好性に関する研究，*日本栄養・食糧学会誌*，40(1)，1–16，1987.
- 12) 厚生省保健医療局健康増進栄養課監修：国民栄養の現状—平成5年国民栄養調査成績，1995，第一出版。
- 13) 葉山誓子，原田佳奈：正しい食塩摂取のありかた（未発表），1993.