

資 料

日本人の若年女性における食塩摂取と尿中カルシウムの関係

小 田 笑海子^{*1, 2} 上 西 一 弘^{*1}

Relationship Between Salt Intake and Urinary Calcium in Japanese Young Women.

Emiko ODA^{*1, 2}, Kazuhiro UENISHI^{*1}

Abstract

Objectives:

The number of osteoporosis patients is increasing annually due to the rapid aging of the population, making preventive measures a critical social issue. A significant positive correlation between urinary Na excretion and urinary Ca excretion, a surrogate indicator of salt intake, has been previously reported. However, most prior studies that have found the same association have been conducted in postmenopausal women or in foreign countries. Although there have been some reports on the association among Japanese participants, the age range of the subjects is wide. To the best of the author's knowledge, no study has specifically examined this association in young women. Therefore, this study aimed to investigate the relationship between salt intake and urinary Ca excretion in Japanese young women.

Methods:

The study involved 305 young women aged between 18 and 29 enrolled at Women's University A. A 24-hour urine collection method was employed to determine the concentrations of urinary sodium (Na) and calcium (Ca), with urinary excretion calculated by multiplying these concentrations by the total urine volume over the same period. Results indicated a significant positive correlation between urinary Ca and Na excretion levels. When participants were divided into two groups based on a median urinary Na excretion of 2652 mg, the group with values above this median showed significantly higher urinary Ca excretion. However, no significant differences were noted in urinary Ca concentration or calcium intake between the two groups. Additionally, urine output was significantly elevated in the group with Na excretion above the median. Multiple regression analysis, utilizing the stepwise method, was conducted to explore the relationships between urinary Ca excretion and survey variables, with urinary Na excretion and calcium intake serving as independent variables. Conclusions: Sodium, an extracellular osmotically active substance, plays a crucial role in osmotic pressure maintenance and the regulation of water balance both intra- and extracellularly. Increased salt intake raises blood osmotic pressure, leading to water movement into the bloodstream. Concurrently, this triggers the secretion of the antidiuretic hormone aldosterone, which stimulates thirst and promotes water consumption, thereby augmenting circulating plasma volume. This rise in plasma volume elevates blood pressure, leading to enhanced excretion of water and sodium through urine. Consequently, urine volume and indirectly urinary Ca excretion was markedly higher in the group with Na excretion above the median.

Key words: 尿中ナトリウム, 尿中カルシウム, 食塩摂取量

緒 言

骨粗鬆症とは、骨密度の低下と骨質の劣化により、骨強度が低下する疾患である¹⁾。骨粗鬆症の患者は、人口の急速な高齢化に伴い年々増加しつつあり、現時点で1,300万人と推測されている²⁾。また、そのうちの約80%が女性であり、女性の有病率が高い²⁾。骨粗鬆症によって、骨強度が低下すると、骨折のリスクが増加する。令和4年度国民生活基礎調査によると、骨折は要介護と

なった主な原因の第3位となっている³⁾。そのため、骨粗鬆症は公衆衛生上の重要な問題であり、予防対策が社会的な課題となっている。

骨粗鬆症を予防するためには、若年期に可能な限り高い最大骨量を獲得すること、若年期に獲得した骨量を維持することが重要である²⁾。個人の最大骨量は、60～80%が遺伝的要因で決まるが、残りの20～40%は食事、運動、喫煙の生活習慣に影響を受ける⁴⁾。細川ら⁵⁾は若年期の食生活が閉経期以降の骨密度に影響を及ぼすことを報告

*1 栄養生理学研究室, 女子栄養大学: Laboratory of Physiological Nutrition, Kagawa Nutrition University

*2 株式会社DREAM24: DREAM24 Co., Ltd.

している。したがって、個々の最大骨量を可能な限り高めるためには、若年期からの食生活が非常に重要であると考えられる。

これまで、食塩の摂取量と骨粗鬆症の関連をみた疫学調査が行われている。経口摂取された食塩は、通常90%以上が腎臓経由で尿から排泄されることから、尿中Na排泄量は食塩摂取量を最も反映するバイオマーカーとされており、24時間蓄尿から尿中Na排泄量を算出し、食塩摂取量を推定することはゴールドスタンダードされている⁶⁾。食塩の摂取量と骨粗鬆症の関連をみた先行研究では、24時間蓄尿から算出された尿中Na排泄量と尿中Ca排泄量の間に、有意な正の相関がみられたと報告されている^{7, 8, 9, 10)}。これらの研究は、閉経後の女性を対象にした研究や、諸外国で行われた研究が多いが、これまでに、日本人を対象に同関連をみた報告もある^{11, 12)}。伊藤らが、20～79歳の健康な日本人男女を対象に、20～49歳と50～70歳に層分けして、性別ごとに同関連を検討した研究¹¹⁾でも、同関連は有意な正の相関がみられたと報告されている。しかし、20～49歳という年齢層には、最大骨量がピークを迎える20歳と、生殖期から非生殖期への移行期である更年期が含まれている。したがって、更年期に閉経を迎えることを考慮すると、骨形成に関与するエストロゲンが結果に影響を与えている可能性もあり、結果の解釈に慎重になるべきだと考えられる。

若年期は最大骨量を獲得するために重要な時期であるため、若年女性のみを対象に同関連を検討する必要があると考える。

また、令和元年国民健康・栄養調査¹³⁾によると、食塩の摂取量は、15～19歳で8.8g/日、20～29歳で8.3g/日と、日本人の食事摂取基準（2020年版）¹⁴⁾で算定されている18～29歳の目標量6.5g/日より多い。

一方で、骨の主要な構成成分であり、骨形成に必要な不可欠なカルシウムの摂取量は、同調査¹³⁾によると15～19歳女性で平均454mg/日、20～29歳女性で平均408mg/日にとどまっており、日本人の食事摂取基準（2020年版）¹⁴⁾で算定されている18～29歳の推定平均必要量550mg/日より少ない。

このように、今日の日本人の若年女性の食事は、骨粗鬆症予防の観点からみて、望ましいとはいえない。

これらのことから、日本人の若年女性のみを対象に食塩摂取と尿中Ca排泄の関連を明らかにすることは、将来的な骨粗鬆症の予防において非常に意義のあることと考えるが、そのような先行研究は著者が知る限りない。

そこで本研究は、日本人若年女性を対象に、食塩摂取と尿中Ca排泄の関連を検討することとした。

方 法

1. 調査対象者

2022年度および2023年度にA女子大学に在学した、18～

29歳の健康な若年女性462名を対象とした。解析対象者決定のプロセスはFigure 1に示す。解析対象者は305名とした。

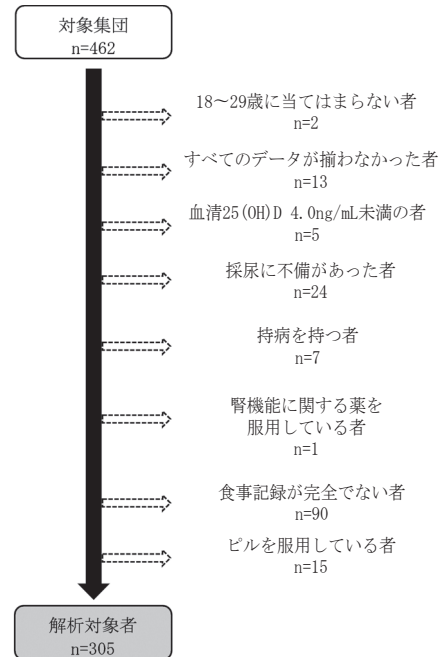


Figure 1 Process for Determining Analysis Subjects

2. 調査項目および調査期

身体計測、尿検査、血液生化学検査、食事調査、アンケート調査を各年度の4月に行った。

2-1. 身体計測

身長、体重、体脂肪量、骨格筋量、除脂肪量を測定した。身長は、最小単位0.1cmまで測定可能な身長計を用いて測定した。その他の身体組成項目はInBody720（株式会社インボディ・ジャパン）を用いて測定した。

Body Mass Index（BMI）は測定した身長および体重の値を用いて以下の式より算出した。

$$\text{BMI (kg/m}^2\text{)} = \text{体重 (kg)} / [\text{身長 (m)}]^2$$

体脂肪率は測定した体重および体脂肪量の値を用いて以下の式より算出した。

$$\text{体脂肪率 (\%)} = \text{体脂肪量 (kg)} / \text{体重 (kg)} \times 100$$

2-2. 尿検査

(1) 尿採取

対象者は、採尿当日に起床後第1尿を排尿した後、起床後第2尿から24時間すべての尿を採取した。24時間蓄尿は、食事記録の2日目と並行して行った。

(2) 尿分析

採取された尿の処理は蓄尿終了日に行った。尿量はメスシリンダーを用いて、記録した。尿量を測定後、尿中濃度が均一になるように転倒混和し、尿スピッツに分注した。尿中Na濃度、尿中K濃度は電極法、尿中Ca濃度は

アルセナゾⅢ法、尿中Cr濃度は酵素法で測定された。測定は株式会社エスアールエル（東京、日本）に依頼した。

各24時間尿中ミネラル排泄量は、尿量に各尿中ミネラル濃度を乗じて算出した。（以下、尿中Na排泄量、尿中K排泄量、尿中Ca排泄量、尿中Cr排泄量とする）。

24時間蓄尿が適切に行われていたかを検討するため、日本人の食事摂取基準（2020年版）¹⁴⁾に掲載されている、体重 (kg)^{0.75}×6 (mg/日) の式を用いて算出した尿中Ca排泄量の予測値と、尿中Ca排泄量の観測値を回帰式に当てはめ、残差分析を行った。

2-3. 血液生化学検査

血液生化学検査は一晚絶食後に行った。測定項目は血清25 (OH)Dで、ECLIA法で測定された。分析は株式会社エスアールエル（東京、日本）に依頼した。

2-4. 食事調査

秤量記録法を用いた食事調査を平日1日と休日1日の連続しない2日間行った。対象者は食事記録用紙に、料理名、調理前と調理後の食材重量をすべて記録した。中食や外食で計量が困難な場合は目安量を記録した。

調理による食品の変化を考慮できる食品は調理後の値を用いて栄養計算を行った。市販食品、外食については、材料ごとに分解できる場合は、分解して栄養計算を行った。分解できなかった場合は、日本食品標準成分表2020年版（八訂）¹⁵⁾に記載されている類似の食品に置き換え、栄養計算を行った。栄養機能食品を含む特定の栄養素が添加された食品については、企業のホームページや商品に栄養素等摂取量の値が記載されている場合、記載されている栄養素の値を用い、記載されていない栄養素については日本食品標準成分表2020年版（八訂）¹⁵⁾の値を用いた。

栄養素等摂取量の計算には、日本食品標準成分表2020年版（八訂）に準じた、Excelアドイン「栄養プラス」（株式会社建帛社）を用いた。1日あたりの摂取量は、2日間の食事記録から算出した栄養素等摂取量を平均した。

また、結果に対して、調査法に起因する測定誤差が及ぼす影響を少なくするため、基礎代謝量のゴールドバーグ・カットオフ値¹⁶⁾を用い、食事調査が妥当であるかを判断した。栄養計算で算出されたエネルギー摂取量 (Energy Intake; EI) と基礎代謝量 (Basal Metabolic Rate; BMR) から、EI/BMR比を求めた。EI/BMR比が基礎代謝量のゴールドバーグ・カットオフ値未満の者は秤量記録による食事記録が妥当ではないと評価した。

基礎代謝量は測定した身長および体重の値と年齢を用いて、Ganpuleの式より算出した。

$$\text{基礎代謝量} = (0.0481 \times \text{体重 (kg)} + 0.0234 \times \text{身長 (cm)} - 0.0138 \times \text{年齢 (歳)} - 0.9708) \times 1000 \div 4.186$$

2-5. アンケート調査

採尿、栄養強化食品・サプリメント、婦人科系疾患の罹患、薬剤の服用に関する調査を行った。すべてのアンケート調査は、Microsoft Office Formsを用いて実施した。

3. 統計解析

各調査項目における、尿中Na排泄量別の群間比較は対応のないt検定またはMann-WhitneyのU検定を行った。

尿中Ca排泄量とその他の調査項目の相関関係にはSpearmanの順位相関係数を用いた。尿中Ca排泄量とその他の調査項目の関連には単回帰分析およびステップワイズ法による重回帰分析を用いた。

すべてのデータは、IBM SPSS Statistics Version 28 (IBM, Japan Inc, 東京、日本)を用いて解析し、有意水準は5%未満とした。

4. 倫理的配慮

本研究は、女子栄養大学研究倫理審査委員会の承認（倫委第391号）のもと、対象者から書面による同意を得て実施した。

結 果

1. 対象者特性

対象者特性をTable 1に示す

2. 尿中Ca排泄量とその他の調査項目の相関

尿中Ca排泄量とカルシウム摂取量、食塩摂取量、尿中Na排泄量の相関の結果をFigure 2～4に示す。尿中Ca排泄量とカルシウム摂取量の間に有意な正の相関がみられた ($r=0.251$, $p<0.001$)。尿中Ca排泄量と食塩摂取量の間には相関がみられなかった ($r=0.001$, $p=0.990$)。尿中Ca排泄量と尿中Na排泄量の間には有意な正の相関がみられた ($r=0.308$, $p<0.001$)。

すべての相関は尿中Ca排泄量と尿中Na排泄量を尿中Cr排泄量で補正した値を用いても相関関係に変化はみられなかった（データ示さず）。

また、単回帰分析より尿中Ca排泄量と尿中Na排泄量の関係を示す回帰式は、以下の通りだった。

$$\text{尿中Ca排泄量 (mg)} = 0.013 \times \text{尿中Na排泄量 (mg)} + 63.8$$

3. 各調査項目における尿中Na排泄量が中央値未満群と中央値以上群の比較

対象者を尿中Na排泄量の中央値2,652mgで、中央値未満群と中央値以上群の2群に分け、各調査項目の比較を行った。結果をTable 2に示す。

身体組成では、体脂肪率を除くすべての項目で、中央値以上群が中央値未満群より有意に高値を示した。

Table 1 Characteristics of all subjects

Physical measurements	Height	(cm)	158.1 ± 5.2
	Weight	(kg)	52.7 [48.3–57.3]
	BMI	(kg/m ²)	21.0 [19.6–22.7]
	Fat mass	(kg)	15.8 [13.2–18.5]
	Body fat percentage	(%)	30.1 [26.7–32.8]
	Skeletal muscle mass	(kg)	19.9 ± 2.4
	Lean body mass	(kg)	37.2 ± 4.0
Blood biochemistry test	Serum25(OH)D	(ng/mL)	12.9 [10.3–15.8]
	Na concentration	(mEq/L)	112 [80–146]
	K concentration	(mEq/L)	35.8 [26.6–50.9]
	Ca concentration	(mg/dL)	9.2 [5.8–13.7]
	Cr concentration	(mg/dL)	93.98 [67.98–132.08]
	Volume	(mL)	1060 [755–1472]
	Na excretion	(mg)	2652 [2021–3378]
	K excretion	(mg)	1489 [1194–1826]
	Ca excretion	(mg)	95 [66–130]
	Cr excretion	(g)	1.01 [0.88–1.10]
	Na/Cr		2.75 [2.03–3.42]
	K/Cr		1.53 [1.19–1.85]
	Ca/Cr		0.10 [0.07–0.13]
Dietary intake	Energy	(kcal/day)	1505 [1338–1694]
	Protein	(g/day)	56 [47–65]
	Fat	(g/day)	51 [40–63]
	Carbohydrate	(g/day)	195 [173–217]
	Sodium	(mg/day)	2747 [2221–3361]
	Potassium	(mg/day)	1945 [1601–2259]
	Calcium	(mg/day)	401 [299–524]
	Magnesium	(mg/day)	199 [162–240]
	Phosphorus	(mg/day)	905 [747–1042]
	VitaminD	(μg/day)	4.7 [3.0–9.6]
	Salt	(g/day)	6.9 [5.6–8.5]

Date are presented as mean ± standard deviation or median [25-75 percentile values]
n=305

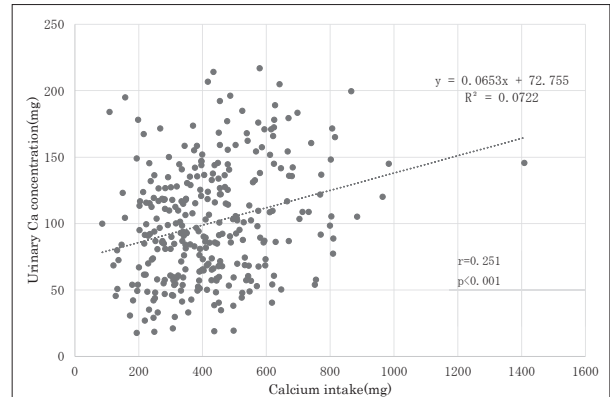


Figure 2 Correlation between Urinary Ca concentration and Calcium intakeSpearman rank correlation coefficient n=305

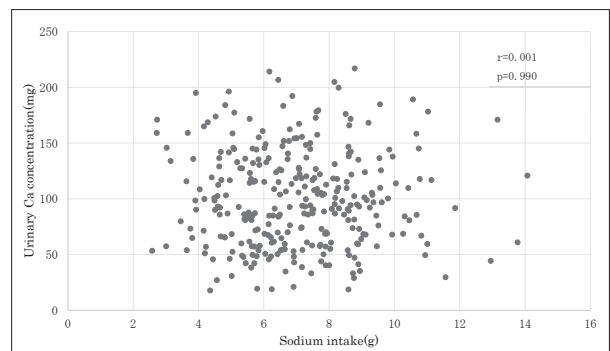


Figure 3 Correlation between Urinary Ca concentration and Sodium intakeSpearman rank correlation coefficient n=305

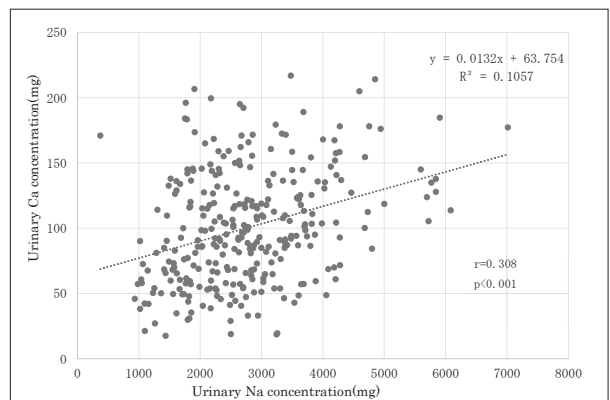


Figure 4 Correlation between Urinary Ca concentration and Urinary Na concentration Spearman rank correlation coefficient n=305

尿分析では、尿量、尿中K排泄量、尿中Ca排泄量、尿中Cr排泄量で、中央値以上群の方が有意に高値を示した。

血清25(OH)Dでは両群に有意な差はみられなかった。

栄養素等摂取量の項目では、脂質、ナトリウム、食塩で中央値以上群の方が有意に高値を示した。カルシウムを含むその他の項目は両群に有意な差はみられなかった。

Table 2 Physical measurements, Blood biochemistry test, 24-h urine analyses and Dietary intake among differences by urinary Na excretion (median split).

			Urinary Na concentration		<i>p</i>
			"below median (n=152) "	above median (n=153)	
Physical measurements	Height	(cm)	157.5 ± 5.3	158.7 ± 4.9	*
	Weight	(kg)	51.6 [47.0–56.2]	53.9 [49.6–57.5]	**
	BMI	(kg/m ²)	20.7 [19.4–22.5]	21.4 [19.8–22.7]	*
	Fat mass	(kg)	14.9 [12.9–17.7]	16.1 [13.6–18.9]	*
	Body fat percentage	(%)	29.2 [26.3–32.7]	30.5 [27.0–33.0]	n.s
	Skeletal muscle mass	(kg)	19.6 [18.0–21.2]	20.2 [18.8–21.6]	**
	Lean body mass	(kg)	36.7 [33.9–39.1]	37.7 [34.9–39.9]	*
Blood biochemistry test	Serum25 (OH) D	(ng/mL)	13.1 [10.0–16.2]	12.8 [10.4–15.6]	n.s
24-h urine analyses	Na concentration	(mEq/L)	93 [64–128]	123 [95–167]	**
	K concentration	(mEq/L)	38.5 [28.0–52.9]	31.7 [26.4–47.6]	n.s
	Ca concentration	(mg/dL)	9.3 [5.8–14.5]	8.9 [5.8–13.1]	n.s
	Cr concentration	(mg/dL)	107.14 [75.84–142.97]	82.91 [62.25–115.90]	**
	Volume	(mL)	880 [647–1235]	1250 [930–1540]	**
	Na excretion	(mg)	2004 [1643–2307]	3378 [2923–3914]	—
	K excretion	(mg)	1353 [1081–1717]	1584 [1360–2002]	**
	Ca excretion	(mg)	86 [58–123]	105 [82–136]	**
	Cr excretion	(g)	0.97 [0.86–1.08]	1.02 [0.90–1.13]	**
	Na/Cr		2.03 [1.66–2.54]	3.36 [2.91–3.91]	**
	K/Cr		1.45 [1.12–1.76]	1.59 [1.25–1.94]	**
	Ca/Cr		0.09 [0.06–0.12]	0.10 [0.07–0.13]	*
Dietary intake	Energy	(kcal/day)	1489 [1299–1646]	1536 [1358–1740]	n.s
	Protein	(g/day)	54 [46–61]	57 [49–66]	n.s
	Fat	(g/day)	48 [38–60]	53 [43–63]	*
	Carbohydrate	(g/day)	195 [171–220]	195 [176–216]	n.s
	Sodium	(mg/day)	2536 [2079–3179]	2899 [2433–3427]	**
	Potassium	(mg/day)	1938 [1590–2228]	1945 [1608–2280]	n.s
	Calcium	(mg/day)	436 [282–535]	391 [309–479]	n.s
	Magnesium	(mg/day)	198 [160–244]	203 [164–240]	n.s
	Phosphorus	(mg/day)	894 [735–1039]	936 [761–1043]	n.s
	VitaminD	(µg/day)	4.8 [3.1–9.5]	4.7 [2.6–10.0]	n.s
	Salt	(g/day)	6.4 [5.3–8.1]	7.3 [6.2–8.7]	**

Date are presented as mean ± standard deviation or median [25-75 percentile values]

Independent-samples t-test or Mann-Whitney U test

* : p<0.05, ** : p<0.01, n.s : not significant

Table 3 Characteristics of all subjects

	Urinary Ca concentration		
	R2	β	P
Weight	0.017	0.129	*
BMI	0.016	2.283	*
Fat mass	0.009	1.015	n.s
Body fat percentage	0.006	0.682	n.s
Skeletal muscle mass	0.014	2.124	*
Lean body mass	0.013	1.23	*
Urinary Na excretion	0.106	0.325	**
Serum25 (OH)D	0.003	0.052	n.s
Protein intake	0.039	0.197	**
Calcium intake	0.072	0.269	**
Magnesium intake	0.022	0.103	**
Phosphorus intake	0.059	0.243	**
VitaminD intake	0.003	0.057	n.s

R2: coefficient of determination

 β : standardized partial regression coefficient
n=305

* : p<0.05, ** : p<0.01, n.s : not significant

Table 4 Multiple regression analysis among urinary Ca concentration and another survey items

	Urinary Ca concentration	
	β	P
(constant)	-0.051	
Urinary Na concentration	0.313	**
Calcium intake	0.240	**
Adj R-Sq (R2)	0.150	

independent variable : Skeletal muscle mass, Urinary Na excretion, Calcium intake, Magnesium intake, Phosphorus intake

 β : standardized partial regression coefficient

Adj R-Sq (R2) : Adjusted R-squared

n=305, ** : p<0.01

4. 尿中Ca排泄量に影響を与える要因分析

尿中Ca排泄量と各調査項目との関連をみるため単回帰分析を行った。結果をTable 3に示す。調査項目のうち、体重、BMI、骨格筋量、除脂肪量、尿中Na排泄量、たんばく質摂取量、カルシウム摂取量、マグネシウム摂取量、リン摂取量で有意な正の関連がみられた。

次にステップワイズ法による重回帰分析を用いて、尿中Ca排泄量と各調査項目との関連をみた。重回帰分

析の結果をTable 4に示す。体重、BMI、骨格筋量、除脂肪量はいずれも互いの相関が強かったため (r=0.569~0.997, いずれもp<0.001) すべてを独立変数に採用せず、骨格筋量を独立変数として選択した。これは、従属変数である尿中Ca排泄量への影響が大きいことと、骨格筋量と尿中Cr排泄量が比例することを考慮したためである。また、たんばく質摂取量とリン摂取量も互いの相関が強かったため (r=0.875, p<0.001), 従属変数である尿中Ca排泄量への影響が大きいリン摂取量を独立変数として選択した。

ステップワイズ法で採用された独立変数は、尿中Na排泄量とカルシウム摂取量であった。このときの回帰式は、

$Y = -0.051 + 0.313X_1 + 0.240X_2$ (Y : 尿中Ca排泄量, X1 : 尿中Na排泄量, X2 : カルシウム摂取量, p<0.001) であり、寄与率は15.0%であった。

考 察

本研究は日本人若年女性を対象に食塩摂取と尿中Ca排泄の関連を検討した。

尿中Ca排泄量とカルシウム摂取量、食塩摂取量、尿中Na排泄量の相関の結果より、尿中Ca排泄量と食塩摂取量の間には相関がみられなかったが、尿中Ca排泄量と尿中Na排泄量の間には有意な正の相関がみられた。

これは、食塩を摂取してから、体内で代謝され尿中に排泄される過程と、尿中にCaが排泄されるまでの過程に時差が生じることから、尿中Ca排泄量と食塩摂取量に直接的な関連がみられなかったと考えられる。

一方で、尿中Ca排泄量と尿中Na排泄量は腎臓の近位尿細管にあるナトリウム-カルシウム共輸送体 ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchanger ; NCX) という同じ共輸送体を介して尿に排泄されることから、両者の間に有意な正の相関がみられたと考えられる。

本研究で得られた尿中Ca排泄量と尿中Na排泄量の関連 (r=0.308, p<0.001) は、若年女性における尿中Na排泄量と大腿骨骨密度に関する海外での先行研究で報告されている、尿中Ca排泄量と尿中Na排泄量の相関 (r=0.290, p=0.003) と同様の結果であった¹⁰⁾。尿中Ca排泄量と尿中Na排泄量の関係についてのシステマティックレビューでは、尿中Na排泄量が100mmol (2,300mg) 増加すると、尿中Ca排泄量が24~60mg増加すると報告されている¹⁷⁾。同関係についての他のシステマティックレビューでは尿中Na排泄量が100mmol (2,300mg) 増加すると、尿中Ca排泄量が28~120mg増加すると報告されている¹⁸⁾。本研究において、この関係は回帰式より尿中Na排泄量が2,300mg増加するごとに、尿中Ca排泄量が30mg増加することが示された。先行研究では、尿中Ca排泄量にはばらつきがあるものの、本研究で得られた尿中Ca排泄量と尿中Na排泄量の関係は、先行研究を逸脱する結果ではなく、先行研究を支持する結果になったと考える。

尿中Na排泄量は、細胞外液のNa濃度が一定に保たれており、食塩の摂取量とほぼ同等量が尿中に排泄されるという関係が成り立つため、食塩摂取量の代理指標とされる。Naの排泄経路は尿中への排泄と、汗による排泄が存在するが、本研究では、調査の実施に合わせて、採尿当日の汗の量を測定したり、汗をかいたか否かの質問調査を行ったりはしなかった。しかし、調査時期が4月末であることから、汗によるNaの排泄は尿中Na排泄量に影響を与えていないと考える。そこで、本研究は尿中Na排泄量を食塩摂取量の指標とし、対象者を尿中Na排泄量の中央値で2群に分け、各調査項目の比較を行った。以降、各調査項目の比較で得られた結果および、尿中Ca排泄量に影響を与える要因分析で得られた結果について考察する。

尿中Na排泄量による2群間の比較において、身体組成の項目のうち、体脂肪率以外のすべての項目で中央値以上群の方が高値を示した。

体脂肪量が多いとインスリン抵抗性が高まると報告されている¹⁹⁾。インスリンが作用しないことで、細胞に糖が取り込まれず、高血糖の状態となり、血液中の浸透圧が上昇する。それに伴い水分の再吸収抑制、尿量の増加が起こり、相対的に尿中Ca排泄量も増加すると考えられる。しかし、単回帰分析の結果より、体脂肪量は尿中Ca排泄量に影響を及ぼす因子ではなかった ($\beta=1.015$, $p=0.055$)。

また、尿中Cr排泄量は、筋肉の代謝産物であるクレアチニンの量、つまり筋肉量を反映しているが、尿中Cr排泄量で補正した値を用いても尿中Ca排泄量の結果は変化しなかった。したがって、両群の間でみられた体格や体組成の違いは結果に影響を与えていないと考える。

尿分析において、尿中Ca排泄量と尿量は中央値以上群の方が有意に高値を示した。

腎臓の近位尿細管にあるナトリウム-カルシウム共輸送体 ($\text{Na}^+/\text{Ca}^{2+}$ exchanger ; NCX) の1つであるNCX1は、Na勾配を利用してCaを細胞外に排出し、Naを細胞内に取り込む働きを持つ。食塩を多く摂取することで、この働きが活性化し、尿中へのCa排泄が促進されたと考えられている^{20, 21)}。ことから、尿中Ca排泄量が中央値以上群の方で有意に高値を示したと考える。

食塩の構成成分であるナトリウムは細胞外の有効浸透圧物質であり、浸透圧の維持、細胞内外の水分のバランス調節に関わる重要な生理作用を持っている^{22, 23)}。食塩を摂取することで、血液中の浸透圧が上昇し、その浸透圧の差を補うために血液中に水分が移動する。加えて、腎臓から抗利尿ホルモンの1つであるアルドステロンが分泌されることで口渴感を感じ、水分摂取が促され、循環血漿量がさらに増加する。循環血漿量が増加することにより、血圧が上昇するため、尿として余分な水分やナトリウムを排泄しようとし、尿量が増える。以上のことから、尿量が中央値以上群の方で有意に高値を示したと考える。

一方で、尿中Ca濃度とカルシウム摂取量は、両群の間

に有意な差はみられなかった。

したがって、尿中Ca排泄量が中央値以上群の方で高値を示したのは、カルシウム摂取量が関係しているのではなく、尿量が多かったことが起因して、尿中Ca排泄量が相対的に高値を示したことも考えられる。

重回帰分析の結果、尿中Ca排泄量に影響を与える因子として尿中Na排泄量とカルシウム摂取量が選択された。それぞれの標準回帰係数は、尿中Na排泄量0.313、カルシウム摂取量0.240であり、尿中Na排泄量が最も尿中Ca排泄量に影響を及ぼす因子であることが分かった。カルシウム摂取量も尿中Ca排泄量に影響を及ぼす因子であることが示されたが、尿中Na排泄量より影響が少なかった。したがって、尿中Na排泄量の中央値で2群に分けた際に、中央値以上群で尿中Ca排泄量が有意に高値を示したのは、尿中Na排泄量が最も強く関連していたためであると考えられる。

骨粗鬆症は一般的に、加齢による骨量の減少によって発症するため、若年期から日常的に意識して骨粗鬆症の予防に努めることはないと考えられる。しかし、若年期は骨粗鬆症の罹患リスクを下げるためにも、できるだけ高い最大骨量を獲得しなければならない非常に重要な時期である。その時期から、食塩の摂取量が慢性的に多い状態が続くことは、尿中Ca排泄量の促進が長期間続き、将来的に骨粗鬆症に罹患するリスクを高めると考える。

しかし、本研究は横断的な調査であり、あくまで一時点での関係しか述べることができていない。今後は、食塩摂取が骨粗鬆症のリスク因子となるか否かを明確に示すために、若年期からの食塩摂取が高齢期の骨密度にどのような影響を与えるかなど縦断的に調査することが必要であると考えられる。

結 論

尿中Na排泄量を中央値で2群に分けた際、尿中Ca排泄量は中央値以上群のほうで有意に高値を示した。また、尿中Na排泄量は、尿中Ca排泄量に影響を及ぼす有意な正の関連因子であることが分かった。

本研究が示す結果は、食塩の摂取量が慢性的に多い状態が続くことは、高血圧やガンなどの罹患リスクを高めるだけでなく、骨粗鬆症の罹患リスクを高める因子の1つとなる可能性を示唆していると考えられる。

著者役割

著者は本研究の着想およびデザイン作成に関わった。また、身体計測、24時間蓄尿の処理、アンケート調査の作成計画を行った。

謝 辞

本研究にご理解、ご協力をいただきましたA女子大学の対象者の皆様方に心より感謝申し上げます。

参考文献

- 1) NIH Consensus Development Panel on Osteoporosis Prevention, Diagnosis, and Therapy: Osteoporosis prevention, diagnosis, and therapy. JAMA 285: 785-795, 2001
- 2) 骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン作成委員会：骨粗鬆症の予防と治療ガイドライン2015年版. ライフサイエンス出版, 東京, 2015.
- 3) 厚生労働省：2022（令和4）年国民生活基礎調査の概況 <https://www.mhlw.go.jp/toukei/saikin/hw/k-tyosa/k-tyosa22/index.html>（アクセス日：2024年1月16日）
- 4) Weaver CM, Gordon CM, Janz KF, et al.: The National Osteoporosis Foundation's position statement on peak bone mass development and lifestyle factors: A systematic review and implementation recommendations. Osteoporos Int 27: 1281-1386, 2016
- 5) 細川美和, 柳 久子, 川波公香, 他：骨粗鬆症と食生活に関する研究－若い頃の食生活との関連を中心に－. 日公衛誌 43: 606-614, 1996
- 6) 瀬川裕佳, 菅野義彦：腎疾患と食塩. 日腎会誌61: 571-578, 2019
- 7) Colette Shortt, Albert Flynn: Sodium-Calcium Inter-Relationships with Specific Reference to Osteoporosis. Nutrition Research Reviews 3: 101-115, 1990
- 8) Dawson-Hughes B, Fowler SE, Dalsky G, et al.: Sodium excretion influences calcium homeostasis in elderly men and women. J Nutr 126: 2107-2112, 1996
- 9) Carbone LD, Bush AJ, Barrow KD, et al.: The relationship of sodium intake to calcium and sodium excretion and bone mineral density of the hip in postmenopausal African-American and Caucasian women. J Bone Miner Metab 21: 415-420, 2003
- 10) Jennifer L Bedford, Susan I Barr: Higher Urinary Sodium, a Proxy for Intake, Is Associated with Increased Calcium Excretion and Lower Hip Bone Density in Healthy Young Women with Lower Calcium Intakes. Nutrients 3: 951-961, 2011
- 11) Itoh R, Suyama Y: Sodium excretion in relation to calcium and hydroxyproline excretion in a healthy Japanese population. Am J Clin Nutr 63: 735-740, 1996
- 12) Itoh R, Suyama Y, Oguma Y, Yokota F: Dietary sodium an independent determinant for urinary deoxypyridinoline in elderly women. A cross-sectional study on the effect of dietary factors on deoxypyridinoline excretion in 24-hour urine specimens from 763 free-living healthy Japanese. Eur J Clin Nutr 53: 1-5, 1999
- 13) 厚生労働省：令和元年国民健康・栄養調査結果の概要 000687163.pdf (mhlw.go.jp)（アクセス日：2024年8月16日）
- 14) 伊藤貞嘉, 佐々木 敏（監）：日本人の食事摂取基準 厚生労働省「日本人の食事摂取基準」策定検討会報告書. 東京, 第一出版, 2020
- 15) 文部科学省 科学技術・学術審議会 資源調査分科会報告：日本食品標準成分表2020年版（八訂）. 薦友印刷, 長野, 2021
- 16) Black AE: Critical evaluation of energy intake using the Goldberg cut-off for energy intake: basal metabolic rate. A practical guide to its calculation, use and limitations. Int J Obes 24: 1119-1130, 2000
- 17) Shortt C, Flynn A: Sodium-calcium inter-relationships with specific reference to osteoporosis. Nutr Res Rev 3: 101-115, 1990
- 18) Massey LK, Whiting SJ: Review. Dietary salt, urinary calcium, and bone loss. J Bone Miner Res 11: 731-736, 1996
- 19) 石川 耕, 横手幸太郎：脂肪組織機能異常とインスリン抵抗性. 日本内科学会誌 102: 2691-2698, 2013
- 20) 岩本隆宏, 田頭秀章, 喜多紗斗美：Na⁺/Ca²⁺交換輸送体の構造・機能の解明から治療への応用. 医学のあゆみ 271: 42-48, 2019
- 21) 岡崎 亮：骨粗鬆症に併存する他科疾患～その骨病態と対応高血圧. 骨粗鬆症治療 14: 213-219, 2015
- 22) 土谷 健, 中内みゆき, 本渡幾久子, 他：高ナトリウム血症と低ナトリウム血症. 日本内科学会誌 86: 1831-1837, 1997
- 23) 太田 樹, 内田俊也：水・ナトリウム異常. 日本内科学会誌 104: 906-916, 2015