

No.8806 スポーツにおける食塩摂取の必要性和その生理作用

鈴木正成(筑波大学体育科学系)

要 約

目的: ナトリウムなどの各種ミネラルは、スポーツ時における筋肉運動において重要な役割を果たしている。本研究は、人に低塩食もしくは高塩食を摂取させ、その時の体内におけるミネラル動態の差異、およびこれらの条件下で運動負荷をした場合の影響について検討したものである。

方法: 6人の健康な成人男子(年齢; 21~26才)を被験者として用いた。一日の食塩摂取量を8グラム(低塩食期)と20グラム(高塩食期)に調整した食事を、連続して9日間ずつ摂取させた。実験期間中には連日24時間尿を採取した。低塩食期と高塩食期のそれぞれ5日目と9日目に、被験者全員にトレッドミルによるランニング運動を負荷し、運動時の汗を採取した。また、運動負荷前後に、被験者全員より採血した。採取した尿、汗、血液のナトリウム、カリウム、リンおよびマグネシウム含量をICP発光分析法により分析した。

結果: 尿中ナトリウム排泄量は、実験食投与3日目に、低塩食期に対して高塩食期で有意に高値を示した。尿中カルシウム排泄量は、低塩食期に対して高塩食期で高い傾向にあった。カリウム、リンおよびマグネシウムの尿中排泄量は、高塩食期と低塩食期で明確な差を示さなかった。ナトリウムとカルシウムの尿中排泄量の間には、正の相関を認めた。また、ナトリウムとカリウムの尿中排泄量にも正の相関を認めた。

高塩食期と低塩食期の各2回の運動負荷時に採取した汗のナトリウム含量は、各実験食期の第2回目の運動負荷時において、低塩食期に対して高塩食期で有意に高かった。汗のカルシウム含量も、各食事期の第1回目の運動負荷時において、低塩食期に対して高塩食期で有意に高かった。汗のカリウムとマグネシウムの含量は共に、低塩食期よりも高塩食期で高値であったが有意ではなかった。

尿中ナトリウム排泄量は、非運動負荷日と運動負荷日のいずれにおいても、低塩食期に対して高塩食期で2~3倍高い排泄量を示した。また、運動負荷日と非運動負荷日を比較すると、低塩食期に対する高塩食期のナトリウム排泄量増加率は非運動負荷日よりも運動負荷日で低かった。

尿中カルシウム排泄量も、運動負荷日と非運動負荷日のいずれにおいても低塩食期に対して高塩食期で1.2~3.5倍高い排泄量を示した。また、運動負荷日と非運動負荷日を比較すると、尿中ナトリウム排泄量と同様に、低塩食期に対する高塩食期のカルシウム排泄量増加率は非運動負荷日よりも運動負荷日で低かった。

尿中カリウム排泄量は、非運動負荷日においては低塩食期に対する高塩食期の排泄量の増加はなかった。また、運動負荷日には、低塩食期に対する高塩食期のカリウム排泄量増加率はマイナスの値を示した。運動負荷日と非運動負荷日を比較すると、低塩食期に対する高塩食期のカリウム排泄量増加率が非運動負荷日よりも運動負荷日で低かった。

汗中ナトリウム排泄量とカルシウム排泄量は、低塩食期に対して高塩食期で約1.5倍高い排泄量を示した。汗中カリウム排泄量は、低塩食期に対する高塩食期の排泄量の増加を示さなかった。

血清カルシウム濃度は、低塩食期に対して高塩食期で有意に低かった。血清ナトリウム、カリウム、マグネシウムとリン濃度は、食塩摂取量の影響を受けなかった。

以上のように、食塩摂取が増大するとナトリウム、カルシウムとカリウムの尿中排泄が増加し、また、運動によるナトリウムとカルシウムの汗への排泄も増加することが明らかとなった。

No.8806 スポーツにおける食塩摂取の必要性とその生理作用

鈴木正成(筑波大学体育科学系)

1. 目的

近年の食生活は、成人病予防の風潮によって変えられようとしている。その一つに減塩食を推奨する風潮があるが、それを支持する実験的証拠に乏しいようである。

ところでナトリウム等各種ミネラルは、スポーツ時における筋肉運動に必須の役割をはたしている。ミネラルの体内バランスは生体機能の恒常性維持に重要だが、スポーツ時の多量の発汗により、ミネラルの汗中排泄量が増大して、体内のミネラルバランスが崩れることがある¹⁾。

本研究は、スポーツ時におけるナトリウム等各種ミネラルの動態について、運動栄養学的立場で検討しようとするものである。

2. 方法

対象者および期間

本学，体育専門学群の学群生及び院生（21～26歳）6人を被験者として，昭和63年11月14日から同年12月1日までの18日間実施した（表1）。

内容

6人の成人男子を対象として，一日の食塩摂取量を8グラム（低塩食期）と20グラム（高塩食期）に調整した食生活を，連続して9日間ずつ施行した。実験期間中は，連日24時間尿を採取した。低塩食期と高塩食期それぞれの5日目と9日目に，被験者全員にトレッドミルによるランニング運動を負荷し，汗を採取した。又運動負荷前後に，被験者全員より採血した。採取した尿，汗，血液のナトリウム，カリウム，カルシウム，リン及びマグネシウム含量を分析定量した（図1）。

実験食

減塩食期の実験食として，一日3食，基本的に調味料として減塩味噌と減塩醤油を使用して調理した食事を用いた。一方，高塩食期の食事は，減塩期の食事に食塩を添加して調整した。一日の食塩摂取量は，低塩食期では8グラム，高塩食期では20グラムとした。

採尿

朝食後から翌日の朝食前までの24時間尿を採取し，2リットルのメスシリンダーで一日の総尿量を測定した後，一部を冷蔵保存した。

運動負荷

各実験食期の5日目と9日目に昼食後から夕食前までの間に，被験者全員に約15分間のトレッドミルによるランニング運動を負荷した。又この際被験者には，採汗用実験衣を着用させた。

採汗用実験衣

採汗用実験衣は，包帯，ガーゼ，軍手，軍足，パンツ，ランニングシャツ，ズボン下，長袖シャツよりなり，これらで目，鼻，口を除いて全身を包み，その上に雨ガッパ上下を着用させて，運動負荷時の汗を衣類に吸収

させた。発汗量も計量した。

採血

運動負荷前後に、被験者全員より10mlの採血をした。

汗の採取

運動負荷によって汗を吸収した衣類を、図2に示した方法で遠心分離機に入れ、 $168 \times g$ で約20分間遠心して汗を採取した。

ミネラルの定量分析法²⁾

24時間尿の一部を100倍希釈し、ICP発光分析法によりナトリウム、カリウム、カルシウム、リン、及びマグネシウムを定量し、一日当たりの尿中排泄量を算出した。

遠心分離法により衣類から採取された汗を、さらに遠心分離機により $5,500 \times g$ で20分間遠心した。得られた汗を10倍希釈し、尿と同様にICP発光分析法によりナトリウム、カリウム、カルシウム及びマグネシウムを定量分析し、汗1リットル当たりの含有量を算出した。

運動負荷前後に採取した血液より得た血清を0.2ml採り、これに過塩素酸と硝酸をそれぞれ1:1の割合で1ml加えて酸分解処理した。これをさらに約3時間加熱して酸を揮散させ、これに1%硝酸を1ml、蒸留水を9ml加えた後、ICP発光分析法により血清ミネラルを定量分析した。

実験食からのミネラル摂取量を測定するため、実験食を一日分混ぜ合わせてホモジナイズし、その中の1グラムを採取して血液と同様に酸分解処理した後加熱して酸を揮散させ、これに1%硝酸と蒸留水を加えICP発光分析法によりミネラルを定量分析した。

3. 結果

尿中ミネラル排泄量

尿中ナトリウム排泄量は、実験食投与3日目に、低塩食期に対して高塩食期で有意に($P<0.01$)高値を示した(図3・表2)。

尿中カルシウム排泄量は有意ではなかったが、低塩食期に対して高塩食期で高い傾向にあった(図4・表2)。

ナトリウムとカルシウムの尿中排泄量の間には、正の相関があるとの報告^{3,4)}があるが、本実験でもその傾向を認めた。また、ナトリウムとカリウムの尿中排泄量にも正の相関を示すと Grace⁵⁾やその他の諸氏⁶⁾が報告している。本実験の成績もそれと一致しており、高塩食期と低塩食期のいずれにあってもナトリウムとカリウムの尿中排泄量には正の有意な相関が認められた(図8)。

汗中ミネラル排泄量

高塩食期と低塩食期の各2回の運動負荷時に採取した汗のナトリウム含量は、各実験期の第2回目の運動負荷時において、低塩食期に対して高塩食期で有意($P<0.05$)に高かった(図3)。

汗のカルシウム含量も、各食事期の第1回目の運動負荷時において、低塩食期に対して高塩食期で有意($P<0.05$)に高かった(図4・表3)。

汗のカリウムとマグネシウムの含量は共に、低塩食期よりも高塩食期で高値であったが有意ではなかった(図5, 6・表3)。

血清ミネラル濃度

血清カルシウム濃度は、低塩食期に対して高塩食期で有意($P<0.05$)に低かった(表4)。

血清ナトリウム、カリウム、マグネシウムおよびリン濃度は、食塩摂取量の影響を受けなかった。

低塩食期に対する高塩食期の尿中ミネラル排泄量の増加率

尿中ナトリウム排泄量は、非運動負荷日と運動負荷日のいずれも、低塩食期に対して高塩食期で2~3倍高い排泄量を示した。また、運動負荷日と非運動負荷日を比較すると、低塩食期に対する高塩食期のナトリウム排泄量増加率が非運動負荷日より運動負荷日で低かった(表5)。

尿中カルシウム排泄量も運動負荷日と非運動負荷日で低塩食期に対して高塩食期で1.2～3.5倍高い排泄量を示した。また、運動負荷日と非運動負荷日を比較すると、尿中ナトリウム排泄量と同様で、低塩食期に対する高塩食期のナトリウム排泄量増加率が非運動負荷日より運動負荷日で低かった(表5)。

尿中カリウム排泄量は、運動負荷日においては低塩食期に対する高塩食期の排泄量の増加はなかった。また、運動負荷日には低塩食期に対する高塩食期のカリウム排泄量増加率はマイナスの値を示している。運動負荷日と非運動負荷日を比較すると、低塩食期に対する高塩食期のカリウム排泄量増加率が非運動負荷日より運動負荷日で低かった(表5)。

低塩食期に対する高塩食期の汗中ミネラル排泄量の増加率

汗中ナトリウム排泄量とカルシウム排泄量は、低塩食期に対して高塩食期で約1.5倍高い排泄量を示した。

汗中カリウム排泄量は、低塩食期に対する高塩食期の排泄量の増加を示さなかった(表5)。

4. 考察

食塩摂取量が増すと、尿中ナトリウム排泄が増大すると共に尿中カルシウムの排泄も高まることが報告されている^{3, 4, 7, 8)}。これに関して本実験でも、食塩摂取が増すことによって尿中ナトリウム排泄量が増大し、それと共に尿中カルシウム排泄量も有意ではなかったが増大する傾向を認めた。又尿中カリウムとナトリウム排泄量は、有意な正の相関を示すとの報告⁶⁾があるが、本実験でもこれらの報告と一致する結果が得られた。

本実験において汗中ナトリウムとカルシウム排泄量は、食塩摂取を増加させると高まった。

以上のことをまとめると、食塩摂取を増大すると尿中ナトリウム、カルシウムとカリウム排泄が増加し、又運動による汗へのナトリウムとカルシウム排泄も増加することが明らかとなった。

参考文献

- 1) 山岡誠一, 沼尻幸吉; スポーツ労働栄養学 医歯薬出版 70-75(1968)
- 2) ICP 発光分析 化学の領域増刊号(No127)167-186 南江堂(1980)
- 3) Goulding,A.;Effects of dietary NaCl supplements on parathyroid function,bone turnover and bone composition in rats taking restricted amounts of calcium.Min.Electrolyte Metab.4,203-208(1980)
- 4) Sabto,J.,Pouwell,M.J.,Breidahl,M.J. &Gurr,F.W(1984);Influence of urinary sodium on calcium excretion in normal individuals. Med.J.Aust.140,354-356
- 5) Grace,S.a.&Mundy,K.A.;Sodium,Potassium and water metabolism in the rabbit. J.Physiol.,292:407,(1979)
- 6) James,L.Gamble著・高橋忠雄, 吉利和, 北村勇, 渡辺登・訳; 水と電解質. 医歯薬出版, 97 (1976)
- 7) Goulding,A. &Campbell,D.R.;Effects of oral loads of sodium chloride on bone composition in growing rats consuming ample dietary calcium.Min Electrolyte Metab.10,58-62 (1984)
- 8) Mc Carron,d.a.,Pingree,P.A.,Rubin,R.J.,Gaucher,S.M.,Molitch,M & Krutzik,S.;Enhanced parathyroid function in essential hypertension :ahomeostatic response to a urinary calcium leak.hypertention 2, 162-168

表1 被験者の年齢, 身長および体重

被験者	年齢 (歳)	身長 (c m)	体重 (k g)
M・Y	26	176.0	68.5
T・S	24	177.5	75.0
Y・T	23	170.0	55.0
S・A	23	172.0	64.0
M・I	21	178.0	76.0
T・M	21	171.0	62.5
平均	23	174.1	66.8
標準誤差	±0.8	±1.4	±3.3

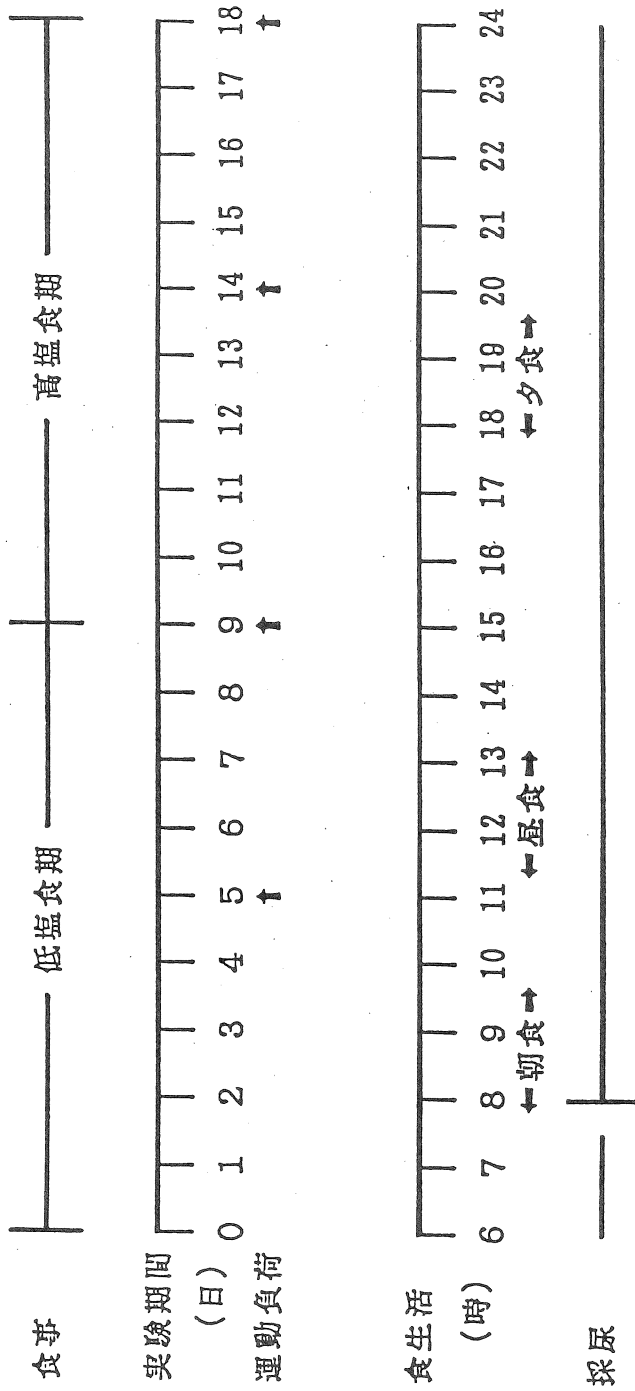


図1 実験スケジュール

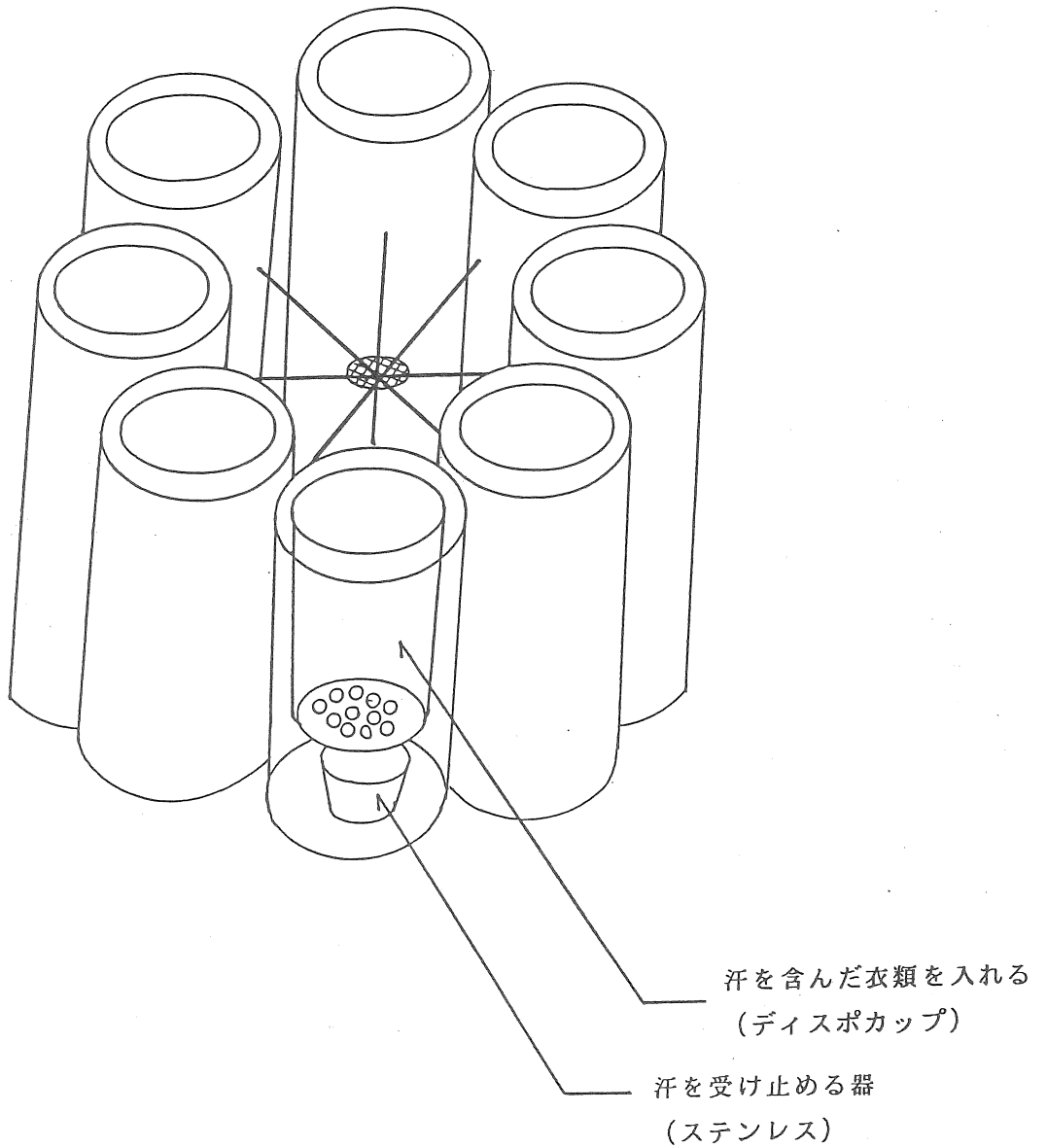


図2 遠心機による汗の採取法

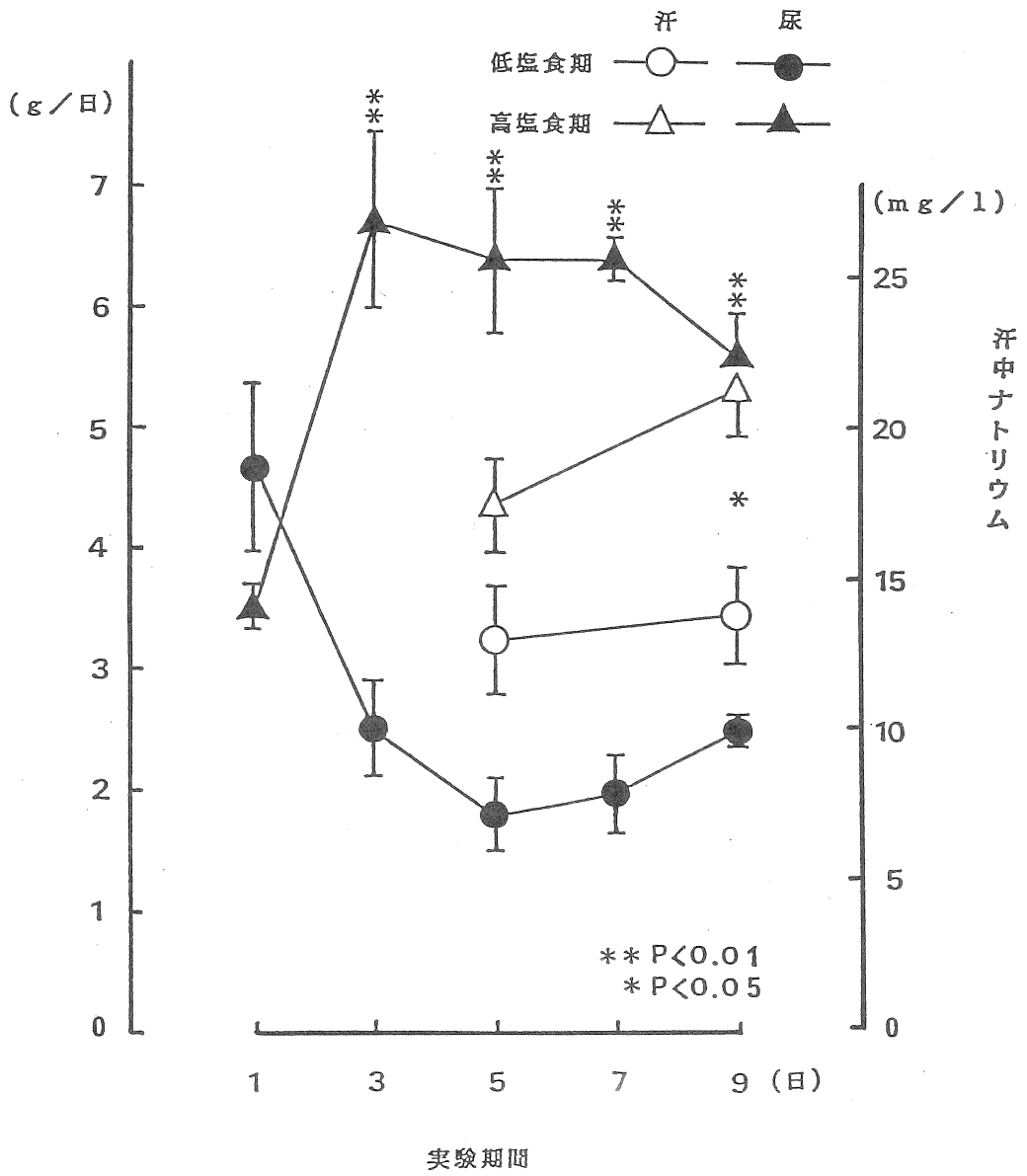


図3 汗と尿中ナトリウム排泄量

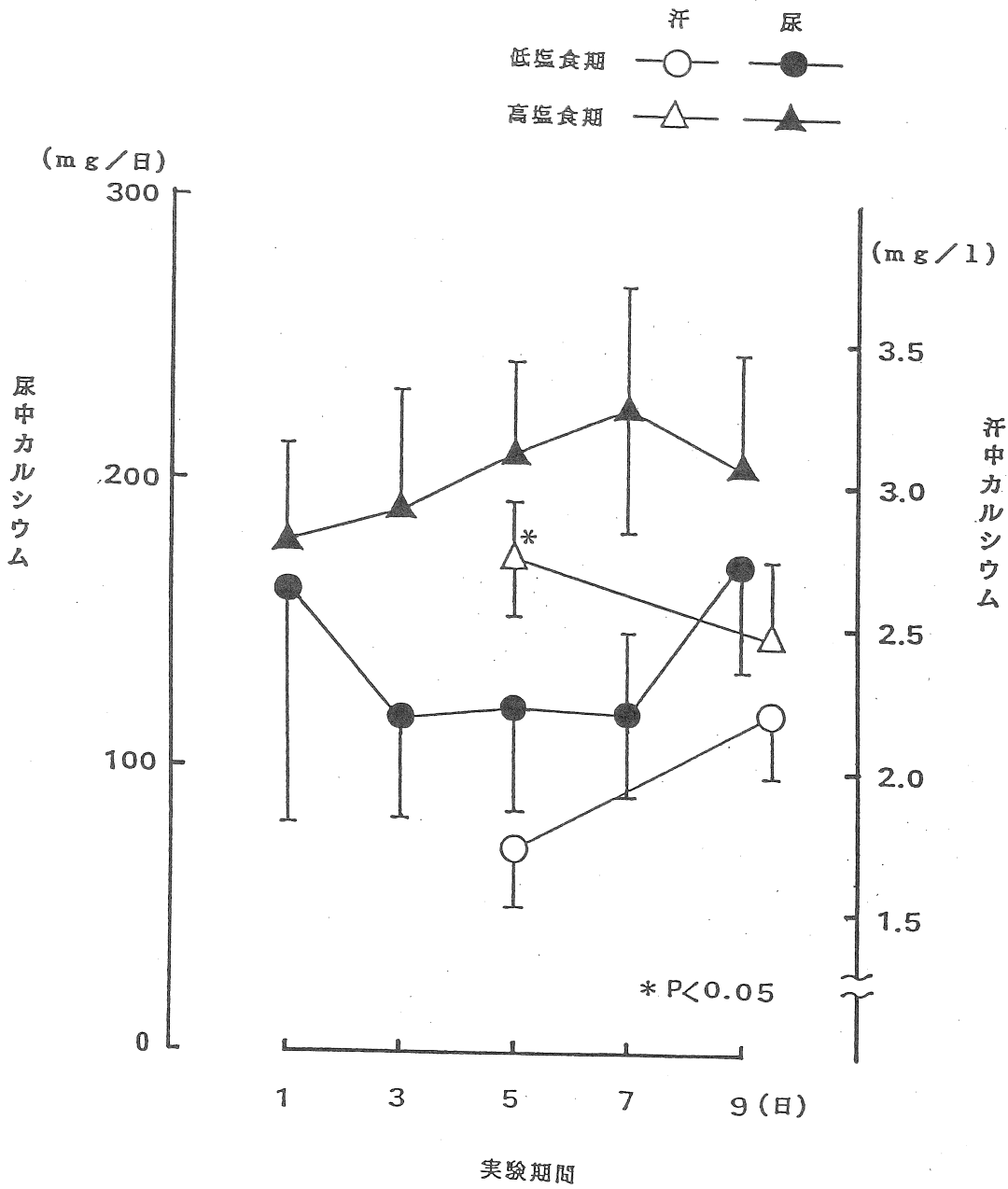


図4 汗と尿中カルシウム排泄量

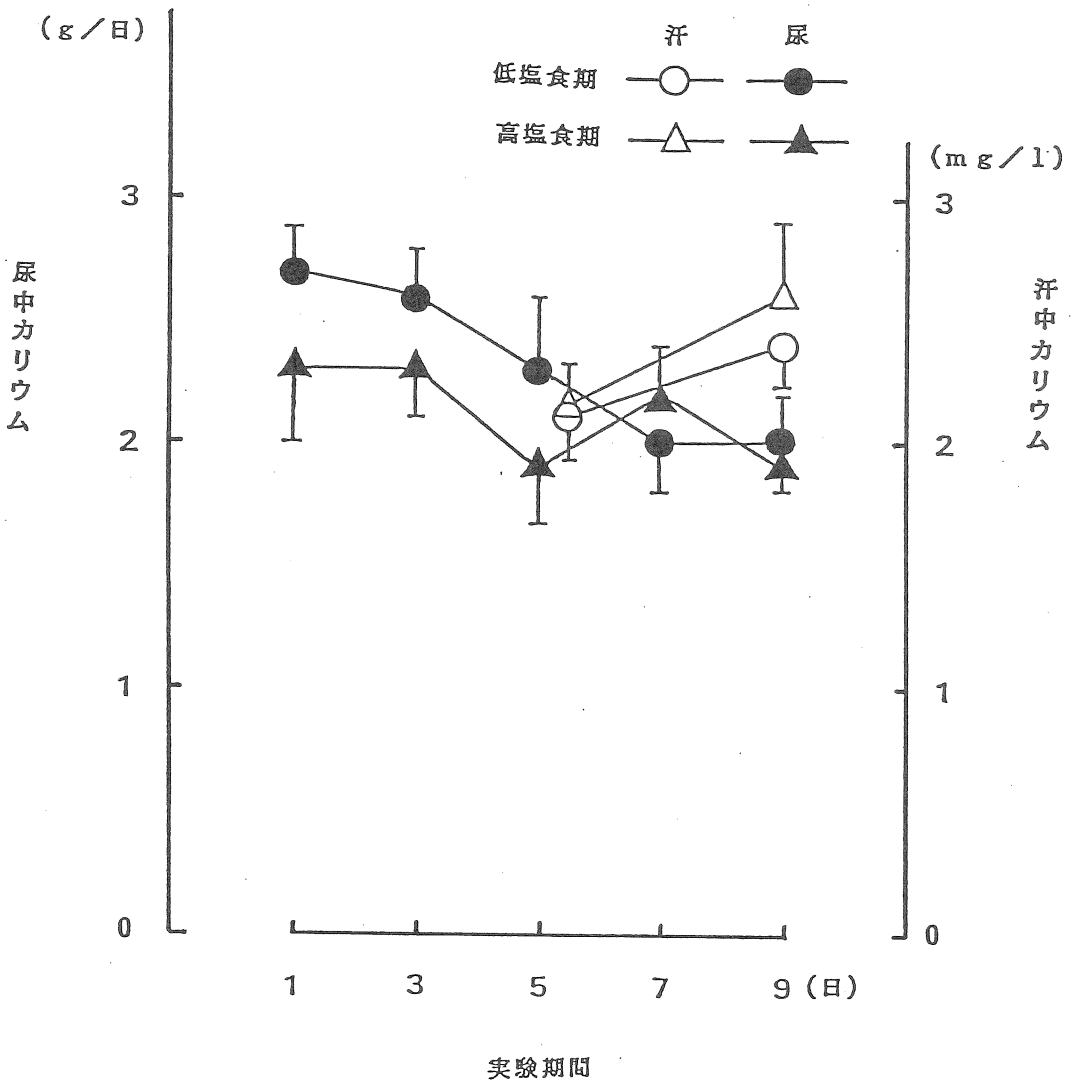


図5 汗と尿中カリウム排泄量

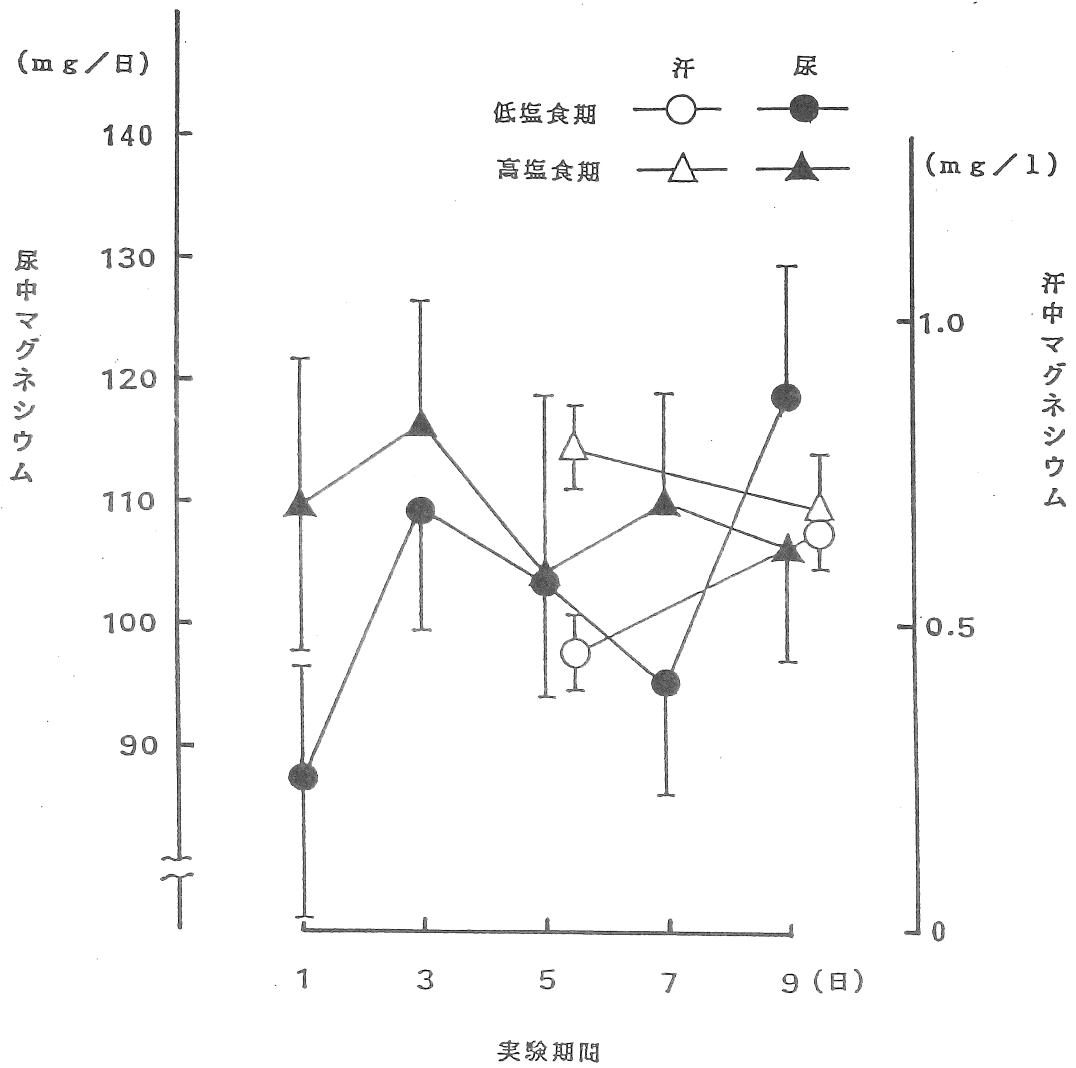


図6 汗と尿中マグネシウム排泄量

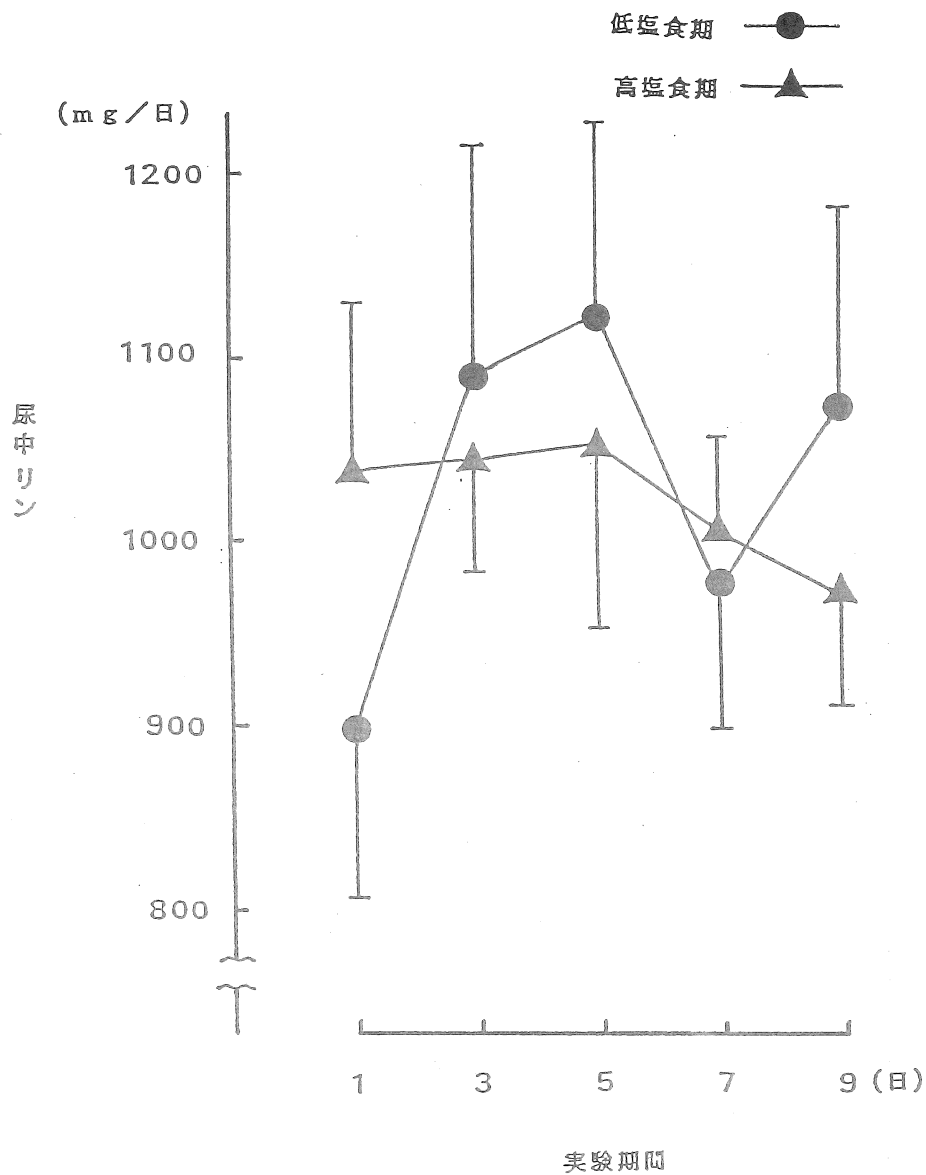


図7 尿中リン排泄量

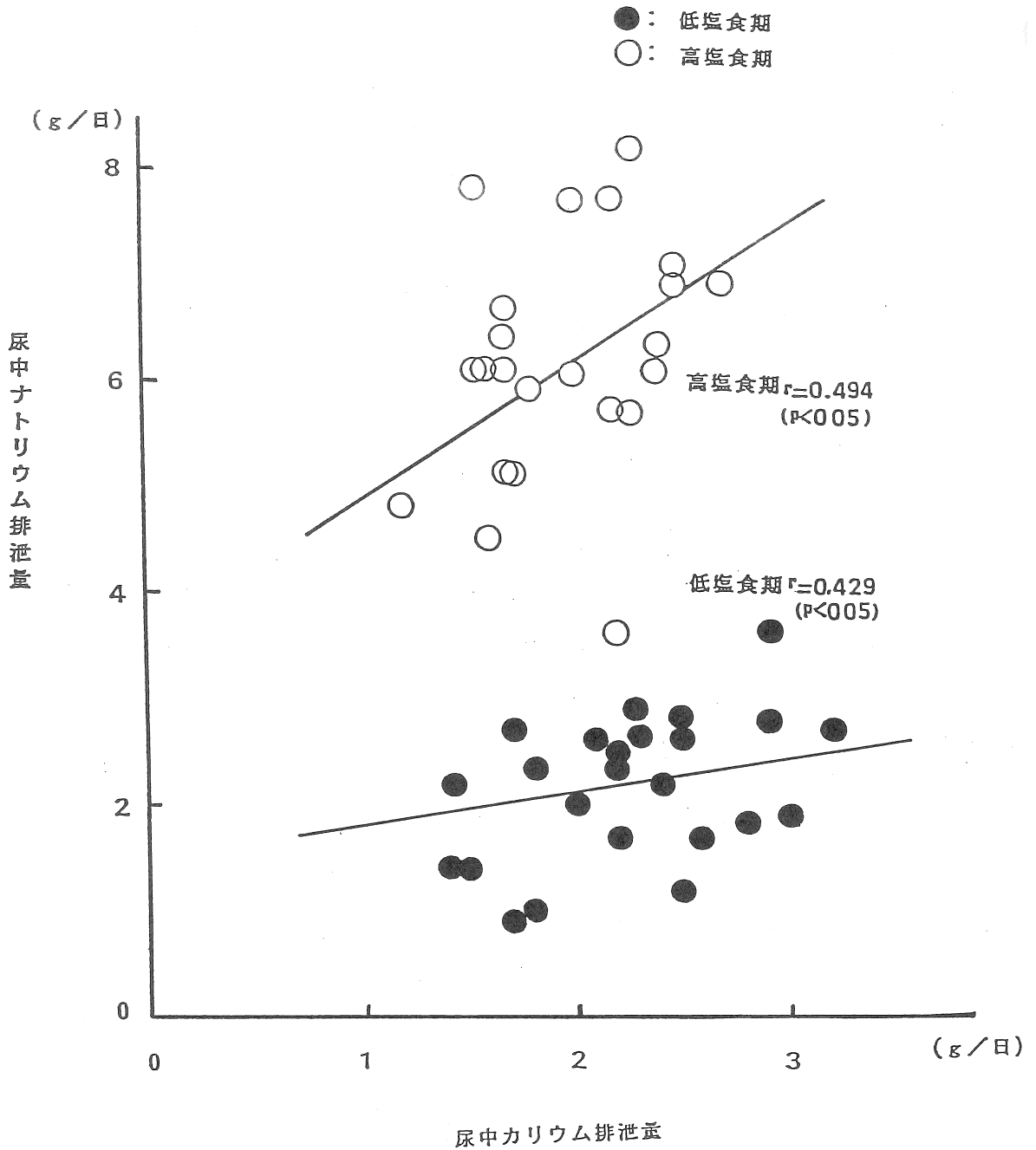


図8 尿中ナトリウム排泄量とカリウム排泄量の相関

表2 尿中ミネラル排泄量

実験食	実験期間 (日)				
	1	3	5 (運動負荷)	7	9 (運動負荷)
	Na (g/日)				
低塩食	4.7 ± 0.7	2.5 ± 0.4]**	1.8 ± 0.3]**	2.0 ± 0.3]**	2.5 ± 0.1]**
高塩食	3.5 ± 0.2	6.7 ± 0.7]	6.4 ± 0.6]	6.4 ± 0.2]	5.6 ± 0.3]
	K (g/日)				
低塩食	2.7 ± 0.2	2.6 ± 0.2	2.3 ± 0.3	2.0 ± 0.2	2.0 ± 0.2
高塩食	2.3 ± 0.3	2.3 ± 0.2	1.9 ± 0.2	2.2 ± 0.2	1.9 ± 0.1
	P (mg/日)				
低塩食	898 ± 95	1091 ± 64	1125 ± 100	973 ± 76	1078 ± 108
高塩食	1038 ± 93	1044 ± 127	1053 ± 108	1005 ± 53	972 ± 60
	Ca (mg/日)				
低塩食	161 ± 81	117 ± 34	121 ± 36	120 ± 30	173.3 ± 39.8
高塩食	179 ± 34	189 ± 43	210 ± 31	226 ± 42	204.9 ± 37.2
	Mg (mg/日)				
低塩食	87 ± 9	109 ± 9	104 ± 9	95 ± 9	119 ± 10
高塩食	110 ± 12	117 ± 11	104 ± 14	110 ± 9	106 ± 9

平均値 ± SEM, ** P<0.01

表3 汗中ミネラル量

実験食	運動負荷 (1回目)	運動負荷 (2回目)	平均値
Na (mg/l)			
低塩食	13.0 ± 2.0	13.8 ± 1.6 []] *	13.4 ± 1.2
高塩食	17.4 ± 1.7	21.2 ± 1.9 []]	19.3 ± 1.3
Ca (mg/l)			
低塩食	1.72 ± 0.19 []] *	2.20 ± 0.22	1.96 ± 0.16
高塩食	2.73 ± 0.20 []]	2.46 ± 0.27	2.50 ± 0.17
Mg (mg/l)			
低塩食	0.46 ± 0.06	0.69 ± 0.09	0.58 ± 0.06
高塩食	0.79 ± 0.07	0.65 ± 0.06	0.72 ± 0.05
K (mg/l)			
低塩食	2.12 ± 0.20	2.40 ± 0.17	2.26 ± 0.13
高塩食	2.14 ± 0.18	2.61 ± 0.45	2.37 ± 0.24

平均値 ± SEM, * P<0.05

表4 血清中ミネラル濃度

実験食	Na	K	Mg	Ca	P
	(mg/ml)	(μ g/ml)	(μ g/ml)	(μ g/ml)	(μ g/ml)
低塩食					
運動負荷前	3.00 \pm 0.11	323 \pm 19	19.3 \pm 0.4	94 \pm 1	95 \pm 6
後	3.00 \pm 0.02	322 \pm 23	19.6 \pm 0.3	99 \pm 1	98 \pm 4
高塩食					
運動負荷前	2.79 \pm 0.20	308 \pm 8	17.8 \pm 1.3	88 \pm 5	90 \pm 2
後	2.85 \pm 0.09	311 \pm 1	18.1 \pm 0.3	94 \pm 3	105 \pm 6

平均値 \pm SEM, * P<0.05

表5 汗, 尿中ミネラルの低塩食期に対する高塩食期の増加率(%)

被験者	N a		C a		K	
	A	B	〔尿〕		A	B
			A	B		
M・Y	361	225	168	128	149	101
T・S	259	256	293	360	93	71
S・A	282	282	161	103	95	90
Y・T	224	304	161	145	85	94
M・I	269	271	174	173	94	82
T・M	617	512	246	201	115	122
平均値	335	308	201	185	105	93
.....						
			〔汗〕			
	B1	B2	B1	B2	B1	B2
M・Y	81	175	171	135	144	114
T・S	143	189	119	105	58	202
S・A	78	116	124	92	74	64
Y・T	275	153	219	117	122	109
M・I	181	156	148	110	142	86
T・M	170	155	209	115	99	87
平均値	155	157	165	112	107	110

A, 非運動負荷; B, 運動負荷; B1, 第1回運動負荷(各実験食期間第5日目);
B2, 第2回運動負荷(各実験食期間第9日目)

増加率計算式: 高塩食期排泄量 ÷ 低塩食期排泄量 × 100