日本人についてのカルシウム出納試験 (第3報)

Balance Experiment of Calcium of Japanese People (Part 3)

児童についてのカルシウム出納試験

Balance Experiment of Calcium by School Boys.

国立栄養研究所 (National Institute of Nutrition)

松 野 ゆ き (Yuki Matsuno)

Succeeding to the former reports, with the similar purpose to obtain the data for the calcium requirement of Japanese children under ten years old: five school boys and one kindergarden boy were taken as subjects of this experiment.

Fifteen days experimental period: from 28, July to 11, August 1956, was divided into 3 stages of equal length. The first was the stage for the standard experimental diet, containing calcium as much as 10 mg. per kg, of body weight. In the second and the third stadium the subjects were divided into two groups and one group was given 180ml. of milk as a source of calcium in the second stadium and 0.5 mg of calcium carbonate in the third to be able to take equal amount of calcium as in the second stadium. The other group was given in reverse order.

By the result, in the first stadium, all subjects showed positive calcium balance: 51mg of retention for the average intake of 221 mg. In the second and third stadium, according to the increase of calcium intake about 210 mg, as the amount of retention 161 mg and 145 mg were obtained respectively.

In this experiment, none of the subjects showed a negative calcium balance and the intake of 5.0 mg per kg. of body weight was seemed to be necessary for the maintenance of its balance.

Throughout the total period, the subjects showed calcium retention of 118 mg on an average to the intake of 362 mg per day. It means that 5.3 mg of calcium was retained to the intake of 16.3 mg per kg. of body weight.

緒言 体内の全カルシウム (以下 Ca とする) の99%は歯牙や骨に存在しているため、発育期にあるものの Ca 要求量は、成人に比して Ca 平衡維持量の外に成長を遂げるための蓄積量をも併せ考えて、相当多くの量を必要とすることは明らかである。この意味において、小児の Ca 所要量については諸外国ではかなり古くから研究が行われ、その報告も数多くある。1922年 Sherman, Hawley¹⁾ は小児の Ca 体内蓄積と年令の関係について報告しており、Wang, Frank²⁾ は1928年栄養不良児と健康児について Ca 代謝をみている。その他 Willard Blunt³⁾; Jearns, Stearns⁴⁾; Daniels, Hutton, Knott⁵⁾⁶⁾ らが牛乳を用いて実験を行つている。また、Kinsman, Sheldon⁷⁾; Pierce Daggs⁸⁾ 等々あらゆる角度から小児の Ca 蓄積量について検討を行つている。

我国においては、⁹⁾林、¹⁰⁾古明地、¹¹⁾速水らが小児について出納試験を行つているが、日本人小児の Ca 所要量を決める資料とするには更に多くの実験例を求める必要があると考える。

筆者は第1報¹²⁾においては女子大学生について、第2報¹³⁾では高令者についてその Ca 平衡維持量を求め、成人女子では体重 kg 当り 8.1 mg、高令者では 9.6 mg の Ca 摂取が適当であることをみとめたが、今回は発育期にある学童6名について Ca 出納試験を行つたので報告する。

第1表 対 象

被験者	年 令	体 重	身 長
	才 月	kg	cm
N. O.	5. 4	17.8	108.0
N. A.	8. 2	19.1	116.5
O. T.	9. 3	22.9	122.3
S. I.	9. 9	23.8	127.0
M. A.	8. 10	28.4	131.3
N. I.	9. 5	23.6	124.0

実験方法

対象：東京都内に居住する健康な学童5名と幼稚園児1名の計6名を対象として実験を行つた。被試験者の年令及び身長、体重を第1表に示す。

実験期間：昭和32年7月28日から8月11日までの15日間を実験期間とし、これを5日ずつ3期に分け、第I期を基本食期、第II期及び第III期を Ca 添加食期とした。

食餌内容：各人の基礎代謝量より栄養所要量を定め、Ca は従来の成績からみて体重 kg 当り 10 mg 程度になるように5日分の献立を作つてこれを基本食とし、各期ともこれを繰返して用いた。第II期の Ca 添加期には被験者の半数には牛乳1合を基本食に加え、残りの半数には牛乳1合の Ca 量に匹敵するよう炭酸カルシウム（以下 CaCO_3 とする）を 0.5 g 添加した。

第III期には、第II期とは逆に前者3名には CaCO_3 を、後者3名には牛乳1合を基本食に添加して、牛乳中の Ca と CaCO_3 の Ca との利用上の差異並に Ca 補給の順序による利用率への影響を見ようとした。

飲料水および調理にはすべて蒸留水を用いて Ca の混入をさけた。

なお、年令、体格による栄養必要量の差は主として主食で調節した。

第2表 献 立 例

朝			昼			晩		
献 立	食 品	g	献 立	食 品	g	献 立	食 品	g
パ ン	食 パ ン	100	おにぎり	米	100	御 飯 焼 売	米	100
	ピーナツツ	20		海 苔	1.5		豚 挽 肉	50
	バ タ ー			生 鮭	50		片 栗 粉	10
	玉 子	60		キ ウ リ	20		た ま ね ぎ	50
	ト マ ト	70		マ カ ロ ニ	20		小 麦 粉	7
			サ ラ ダ	ト マ ト	50	南 瓜 羹	キ ャ ベ ツ	30
				マ ヨ ネ ー ズ	15		ソ ー ス	8
							く り か ぼ ち	100
							や 砂	
							糖	10
			間 食	桃	50			
				白 玉	10			
				砂 糖	20			

摂取栄養量の算出方法 尿および尿の処理方法、Ca 定量方法等については、すべて前回同様であるため省略する。

実験成績並に考察 実験期間中全被験者6名とも健康状態は良好であつた。試験開始時および終了時の体重、身長を第3表に示す。

第 3 表 体 重 ・ 身 長

被 験 者		N. O.	N. A.	O. T.	S. I.	M. A.	N. I.
時 期	開 始 時	17.8 kg	19.1	22.9	23.8	28.4	23.6
	終 了 時	17.6	19.4	22.7	24.2	28.6	23.8
身 長	開 始 時	108.0 cm	116.5	122.3	127.0	131.3	124.0
	終 了 時	108.3	117.3	122.7	128.4	131.9	125.0

試験期別 Ca 対 P の摂取比率

第 4 表は Ca と P の摂取量およびその相互比率を試験期間別に示したものである。即ち、第 I 期では P は Ca の 3.7 倍、第 II、第 III 期の牛乳添加食の場合は 2.4 倍、CaCO₃ 添加食の場合は 2.0 倍となっている。

第 4 表 Ca と P の摂取比率

期 別	I	II ~ III	
		牛乳添加期	CaCO ₃ 添加期
Ca 摂取量	239 mg	447 mg	446 mg
P 摂取量	893	1062	900
Ca : P	1 : 3.7	1 : 2.4	1 : 2.0

第 5 表 カ ル シ ウ ム 出 納 成 績

被 験 者		N. O.	N. A.	O. T.	S. I.	M. A.	N. I.	平 均
期	出 納							
	摂 取 量	185 ^{mg}	196	233	235	241	233	221
I	排 尿	124	102	157	102	124	155	
	泄 尿	37	43	42	40	43	48	
	量 計	161	145	199	142	167	203	170
	出 納	+24	+51	+34	+93	+74	+30	+51
II	摂 取 量	392	405	442	446	452	443	430
	排 尿	218	191	170	212	204	317	
	泄 尿	48	49	72	46	49	48	
	量 計	266	240	242	258	253	365	269
	出 納	+126	+165	+200	+188	+199	+78	+161
III	摂 取 量	395	420	439	453	462	444	436
	排 尿	200	225	212	254	216	245	
	泄 尿	63	78	68	66	75	43	
	量 計	263	303	280	320	291	288	291
	出 納	+132	+117	+159	+133	+171	+156	+145

Ca の出納 摂取 Ca 量と排泄 Ca 量より被験者別に Ca 出納を計算してみると第 5 表の通りになる。

即ち、第 I 期の基本食期では平均 221 mg の Ca 摂取に対し 170 mg の Ca 排泄があり、その出納は 6 名とも正で、平均+51 mg であった。

第 II 期の Ca 添加食期では、Ca 摂取量が 430 mg と第 I 期より約 200 mg 増加したのに対し、その排泄量も増加し 269 mg となったが、結局出納は平均+161 mg となった。

次いで、第 III 期では、Ca 摂取量は第 II 期とほとんど違いないのであるが、436 mg の Ca 摂取に対し、

291 mg の排泄があつた。そして、その出納は+145 mg で第Ⅱ期よりも蓄積量は僅かに少い結果となつた。

なお、第Ⅱ期、第Ⅲ期とも Ca 出納が負を示すものは 1 例もなかつた。そこで、各人の体重 kg 当りの Ca

第 1 図 Ca 摂取量と出納の関係

摂取量を横軸に、同じく kg 当りの Ca 蓄積量を縦軸にとり、各平均を結ぶ線の延長と横軸との交る点を求めればそれは Ca 平衡維持に必要な kg 当りの摂取 Ca 量となる筈である。それを求めてみると kg 当り 5.0 mg となつた。(第 1 図)

更に全期15日間について検討してみると、1人1日平均 362 mg の摂取に対し、118 mg の蓄積となつてゐる。即ち、体重 kg 当り 16.3 mg の摂取に対し、5.3 mg の蓄積で 33 % の蓄積率となつた。

なお、牛乳 Ca と CaCO_3 の消化吸収率を比較してみると、第Ⅰ期の基本食期における Ca 吸収率は平均 42.4 %、第Ⅱ期の牛乳食群では 44.8 %、 CaCO_3 食群では 53.4 % となつた。第Ⅲ期では牛乳食群の方が 47.9 %、 CaCO_3 食群の方は 48.6 % であつた。

第 6 表は被験者別の各期における Ca 消化吸収率、Ca 蓄積率およびその利用率を示したものである。但し、Ca 利用率は、Ca 摂取量 100 mg の増加に応ずる蓄積 Ca 量 (mg) の比で、第Ⅰ期と第Ⅱ期の成績から求めたものである。

第 6 表 消化吸収率蓄積率及び利用率

被験者		N. O.	N. A.	O. T.	S. I.	M. A.	N. I.	平 均
期別		%	%	%	%	%	%	%
消化 吸 收 率	I	30.0	50.0	32.6	56.6	48.6	33.5	42.4
	II	44.4	52.8	61.5	52.5	54.8	28.5	49.1
	III	49.4	46.5	51.7	43.9	53.3	44.8	48.3
蓄 積 率	I	13.0	26.0	41.2	39.6	30.7	12.9	27.2
	II	32.1	40.7	45.2	42.2	44.0	16.6	36.8
	III	33.4	27.9	36.2	29.4	37.0	35.1	33.1
利 用 率		49.3	54.6	79.4	45.0	59.2	22.9	51.7

第 7 表 蓄積 Ca 量と所要蓄積カルシウム量との関係

	被 験 者		N. O.	N. A.	O. T.	S. I.	M. A.	N. I.	平 均
	体重		17.75kg	19.10	22.80	23.75	28.40	23.59	22.56
全期 1 日平均 Ca 摂取量			324mg	340	371	378	385	373	352
" " 蓄積量			94mg	111	131	138	148	88	118
Ca 蓄 積 率			29.0%	32.6	35.3	36.5	38.4	23.6	32.6
Ca 摂取量 mg/kg			18.3mg	17.8	16.3	15.9	13.6	15.8	16.3
骨の発育に必要な Ca 蓄積量(1日量)			58mg	72	75	78	100	75	76

また、本実験期間における 1 日当りの Ca 摂取量並びに蓄積量と、各被験者の骨の発育のために必要な 1 日当り Ca の蓄積量との関係を示すと第 7 表の如くなる。

第 8 表は参考のため P の出納を示したものである。

第 8 表 磷 出 納 成 績

期	被験者		N. O.	N. A.	O. T.	S. I.	M. A.	N. I.	平 均
	出納								
I	摂 取 量		616	750	901	936	961	895	843
	排 泄 量	尿	178	135	224	234	123	173	461
		尿	182	279	227	211	654	144	
		計	360	414	451	445	777	317	
	出 納		+256	+336	+450	+491	+184	+578	+382
II	摂 取 量		778	709	1084	903	922	1087	914
	排 泄 量	尿	171	143	300	269	182	257	557
		尿	383	234	479	273	493	155	
		計	554	377	779	542	675	412	
	出 納		+224	+332	+305	+361	+243	+675	+357
III	摂 取 量		695	917	929	1177	1205	944	977
	排 泄 量	尿	158	202	216	296	132	215	575
		尿	325	350	356	415	525	258	
		計	483	552	572	711	657	473	
	出 納		+212	+465	+357	+466	+548	+571	+402

これらの実験で得た成績を従来の文献と比較してみると、Sherman, Hawley¹⁾ は 3~13 才の正常児 20 名について毎日 750 g の牛乳を飲ませ、1 日 0.74~1.02 g の Ca 摂取の際 0.15~0.62 g の蓄積をみたと報告している。Wang および Frank²⁾ は 4~13 才の健康児と栄養不良児について Ca 代謝をみたが、Ca の蓄積は体重 kg 当り 6.4~23.4 mg であつたと述べている。1930 年、Wang, Kern, Kaucher¹⁴⁾ らは 8~12 才の児童 18 名について 38 回の Ca 平衡試験を行い、体重 kg 当り Ca 摂取量が 22.7 mg 以上であればすべて出納は正で、その蓄積は体重 kg 当り 2.8 mg~17.8 mg であつたという。また Jearns, Stearns は 3~12 才の小児について牛乳を用いて実験を行い、新生児から 20 才までは毎日 0.3~0.4 g の Ca が必要であり、蓄積は体重 kg 当りにすれば、乳児期に高く、小児前期で急に下り、小児後期には徐々に下り、12 才では体重 kg 当り 9~11 mg となるといつている。

9)
我国においては、1952 年林は 4~7 才の男女 6 名について Ca 蓄積試験を行い 0.6~0.9 g の Ca 摂取で最高¹⁰⁾の蓄積量を得て居り、古明地も 1954 年、3~6 才の男女 8 名について 10 カ月間 Ca 剤を投与して Ca 出納を観察し、1 日の摂取 Ca 量は 0.7~0.8 g、体重 kg 当り 45~50 mg が必要であるとのべている。

11)
また、速水らは 10~11 才の学童についての実験では体重 kg 当り 13 mg で平衡が維持できると報告している。

著者の今回の実験成績では Ca を添加していない基本食期では 221 mg の Ca 摂取に対してその出納は全員正で平均 51 mg の Ca 蓄積をみた。また基本食に Ca を 200 mg 前後増量した際には平均 +161 mg、+145

mg となるので全期間について検討すると体重 kg 当り 16.3 mg の摂取に対し 5.3 mg の蓄積となり文献値に近い値を得た。また、本実験に関する限りでは CaCO_3 の Ca 吸収率は、牛乳の Ca に勝るとも劣らないような値を示した。Ca の投与の時期の前後のその利用に対する関係は Ca の飽和ということを考えればすべて効用遞減の法則によつて初めがよく後にいくに従つて低下するのが一般であるが、本実験では比較する期間が隣接していたためか殆ど差異がみられず、 CaCO_3 投与の場合、後期において僅かな低下がみられたにすぎなかった。

総括 10才以下の健康な児童6名を対象として15日間 Ca の出納試験を行つたところ、基本食期では平均 221 mg の Ca 摂取で 51 mg の蓄積をみた。基本食に牛乳1合あるいはそれに匹敵する Ca 量を CaCO_3 で補い、約 200 mg 摂取量を増加したⅡ期においては1人1日平均 161 mg、Ⅲ期では 145 mg の蓄積をみた。これを更に全期間について検討すると、体重 kg 当り 16.3 mg の Ca 摂取に対し 5.3 mg の蓄積で、33%の蓄積率がみられ。

なお、牛乳の Ca と CaCO_3 における Ca の利用の点、及び投与の時間的ずれに対しては殆ど差がみられなかった。

また、Ca の平衡維持を図表から求めてみると、体重 kg 当り 5.0 mg という結果が得られた。

稿を終るにのぞみ終始御懇篤なる御教示御鞭撻を賜つた大阪医科大学教授杉本好一博士並びに国立栄養研究所長有本邦太郎博士に厚く感謝申し上げます。また直接御指導御校閲を賜つた国立栄養研究所食品化学部長速水決博士に深く謝意を捧げます。なお、実験に御協力いただいた研究員諸氏に厚く御礼申し上げます。

本研究は速水部長の文部省科学試験研究費によるものである。

文 献

- 1) Sherman, Hawley : Jour. of Biol. Chem. 53, 375 (1922)
- 2) Wang, Frank : Ameri. Jour. of Disease of Child. 35, 856 (1928)
- 3) Willard, Blunt : Jour. Biol. Chem. 75, 251 (1927)
- 4) Jearns Stearns : Ameri. Jour. of Disease of Child. 44, 645 (1932)
- 5) Daniels, Hutton, Knott : Proc. Soc. Exp. Biol. and Med. 30, 1062 (1933)
- 6) Daniels, Hutton, Knott : Ameri. Jour. of Disease of Nutr. 47, 499 (1934)
- 7) Kinsman, Sheldon : Jour. of Nutr. 17, 429 (1939)
- 8) Pierce, Daggs : Jour. of Nutr. 10, 401 (1940)
- 9) 林 : 栄養と養糧, 5, 20 (1952)
- 10) 古明地 : 栄養と食糧, 7, 23 (1954)
- 11) 速水他 : 国立栄養研究所報告 24頁(昭和25年度)
- 12) 松野 : 栄養学雑誌, 18, 357 (1960)
- 13) 松野 : 栄養学雑誌, 18, 364 (1960)
- 14) Wang, Kern, Kaucher : Ameri. Jour. of Disease of Child. 39, 768 (1930)

(受付: 昭和35年10月8日)