

カルシウムと燐の摂取量比に関する研究

第1編 燐量を一定としCa量を變化した場合

金沢大学医学部公衆衛生学教室

越 野 民 男

Tamio Koshino

(昭和30年6月21日受附)

第1章 緒 論

カルシウムについての栄養学的問題を考えるときに、燐との比が大いに影響することは以前から知られていることである。食餌中のPとCaの量を変化させた場合、これらの吸収に及ぼす影響に関しても多くの動物並びに人体実験が行われ、その結果PかCaのどちらかを過剰に攝取すれば他方の腸よりの吸収はさまたげられ、そのまま糞便中に排泄せられるという略々一貫した結論が発表せられている。しかしこれらの研究の多くのものは共通した欠点として、第一にPやCaを添加する場合、その量を段階的に変化させず、單に極めて大量を投与した場合と極めて少量を与えた場合の比較を試みているだけで、その吸収阻碍作用と添加量との関係が充分明らかに示されず、どの程度になれば阻碍作

用が現われるのかという問題が残り、又PとCaとの比が重要であるとされているが、量的関係を無視してよいという根拠も明白とはいえない。又第二に McCollon (1939)¹⁾が指摘している如く、これらの実験にはCa並びにPの代謝に極めて重大な影響を及ぼすフィチン態燐を除くことにあまり考慮が払われていなかった。故に著者はこの2つの点に特に意を用い、攝取燐は出来るだけフィチン態燐を除いたものを用いることに努め、第1編の実験においては攝取P量を略々日常攝取量とし、これに対してCaを3段階に分けて投与し、又第2編の実験においては反対に攝取Ca量を略々日常攝取量とし、これに対しP量を3段階に分けて投与して、その阻碍作用の量的関係を究明しようと試みた。

第2章 実 験 方 法

第1節 資料の分析法

(1) 総燐：尿は Fiske and Subarow (1925) の法、食品及び尿は AOAC の法を使用した。フィチン燐：McCance & Widdowson (1935) の法²⁾を使用した。

(2) Ca：尿は Clark (1921) の法、食品及び尿は AOAC (1925) の法を使用した。

(3) 一般栄養素：窒素は Kjeldahl 法、脂肪はエーテル抽出法、含水炭素は Pavy 隈川・須藤の法を夫々使用した。

なお尿の分割には獸炭末 2g を使用した。各資料は乾燥後製粉末にして分析に供した。

第2節 被験者及び試験期間

被験者は試験の確実を期せんがために、実験目的を充分知り、且つかかる実験に経験を有する当教室員の Y.K. (28歳56kg) : T.K. (29歳65kg) : T.N. (25歳52kg) の3名の何れも健康成人男子を選び、且つ試験期間中これらの被験者の動静はそれ迄の日常生活に近似の状態とした。

実験期間は11日間で、最初の2日間を準備期とし、

残りの9日間を3日毎に3分して夫々異なつた試験食を攝取させた。

第3節 試験食品

被験者の身体状況を調整する意味で少しく短かすぎたきらいはあるが2日間の準備期をおいた。その時の食餌は普通の献立の範囲でなるべくCaとPの比が1:1に近いものにした。

準備期食：その1人1日平均の摂取量中の一般栄養素量、熱量、総磷量及びCa量(いずれも分析値)は次の如くである。主食として毎日精白米500gを使用した。

蛋白質	脂肪	含水炭素	熱量	Ca量	総磷量
68.8g	19.8g	442g	2277cal	637mg	884mg

基本食：試験期に基本食として用いたものには先ず第一にフィチン態磷を少なくすることに努めた。食品中に含まれているフィチン態磷は主として穀類、豆類及び種子の植物性食品の中に多く含有せられていることはMcCance & Widdowson (1935)²⁾等が指摘しているが、更に当教室の土屋(1953)³⁾によると、我々邦人の主食である米の中のフィチン態磷は殆んどその外殻に多く、これを充分精製すれば大体除くことが出

来るとしている。故に著者はこの点に特に注意を払い、献立には豆類を使用せず、米は充分精製し且つ充分な陶洗を行つた所、基本食中のフィチン態磷含有量は僅かに1日平均50.2mgに止め得た。

さて主食として精製白米1日500gが使用せられた。著者等の研究(1952)⁴⁾によると、3回陶洗及び10回陶洗によるCa及びPの消失率は夫々37%及び47%である故、陶洗回数を10回、1回の陶洗時間を50秒と定め、陶洗の係りを1人にきめて、その消失率をなるべく一定にしようとした。副食として第1表の如き献立を用いて、3日間を1組として、同一献立を繰り返した。その3日間の内部では食慾を低下させぬように、日々の献立を変化させたが毎日の摂取Ca並びにP量を略々等しくなるようにした。又魚類はなるべく骨を除いて肉だけを攝取出来る鮭、鱈及び鱈等を主として使用した。

基本食の1人平均1日摂取量中の一般栄養素、熱量、総P量、Ca量(いずれも分析値)は次の如くである。

蛋白質	脂肪	含水炭素	熱量	Ca	P
82.4g	39.8g	433g	2484cal	756mg	1321mg

第1表 基本食の献立表

	第 1 日	第 2 日	第 3 日
朝食	(1) 汁 { 大根 (50) 根芋 (50) 人参 (50) けずり節 (若干) } (2) 佃煮 { 小おなご (20) }	(1) 汁 { ずいき (50) 茄子 (100) けずり節 (若干) } (2) とろろ芋 (100) (3) 佃煮 { 小おなご (22) }	(1) 汁 { わかめ (30) 馬鈴薯 (50) けずり節 (若干) } (2) 大根おろし (3) 大根 (80) (4) 生卵 (1ケ) (4) 佃煮 { 小おなご (5) }
昼食	(1) 焼魚 { 塩鮭 (70) } (2) 焼き茄子 (150) (3) ゆでキャベツ { キャベツ (100) }	(1) 焼魚 { 塩鱈 (50) 塩鱈 (50) } (2) 野菜サラダ { 馬鈴薯 (100) 玉ねぎ (70) 人参 (50) 白菜 (50) } { マヨネーズ (5) }	(1) 焼き魚 { 塩鱈 (100) } (2) むた { いわし (30) 鰯 (140) } { 味噌 (若干) }
夕食	(1) ビフテキ { 牛肉 (100) } (2) 卵かけ { 玉葱 (100) 卵 (14) } (3) ほうれん草のおひたし { ほうれん草 (80) }	(1) 豚肉の附焼 { 豚肉 (100) } { 生姜 (若干) } (2) ゆでキャベツ { キャベツ (100) } (3) 大根おろし { 大根 (100) }	(1) 肉の煮込み { 牛肉 (80) } { 鰯 (100) } { 人参 (50) } { 馬鈴薯 (70) } (2) 酢蓮根 { 蓮根 (50) } (3) ほうれん草のおひたし { ほうれん草 (50) }

註. (1) 表中 () 内数字は使用gを表わす。

(2) 調味料として使用せし砂糖、醤油、酢、

塩、ソース及び味の素等を省略する。

実験食の第1種は基本食のみを攝取させたものであ

り、実験食第2種には基本食に CaCO_3 を用いて、750mg の Ca 量を添加し総 Ca 量を 1506mg とし、第3種には同様に CaCO_3 を用いて 2250mg の Ca 量を添加し、総 Ca 量を 3006mg とした。この時用いた CaCO_3 1g 中に含まれていた Ca 量は分析の結果 399mg で、これを毎日毎食後直ちに服用した。

実験食各種中の 1 人平均 1 日 Ca 並びに P 量及び Ca/P の値は第2表の如くであつた。

第2表 実験食各種の Ca 並びに P 量とその比

	第1種	第2種	第3種
Ca 量 (mg)	756	1506	3006
P 量 (mg)	1321	1321	1321
Ca/P	0.57	1.14	2.28

即ち第1種、第2種、第3種へと移行する毎に Ca 量は2倍に増加し、Ca/P も当然2倍に増大している。

飲料水には蒸留水を用いた茶を 1 人 1 日 700cc と定め、水分要求に対する調製には蒸留水が用いられた。なお歯磨粉は Ca を含んでいるので使用せず、その代りに食塩を使用させた。食品の各々のものは天秤を用いて 0.1g 単位迄秤られた。分析に使用する食物の標本は被験者に食物を与える時に同時に採取した。

第4節 実験の実施

実験期間は昭和 27 年 10 月 1 日より同月 11 日迄である。最初の 2 日間の準備期間中は全員同じ準備食をとらしめたが、その後の 3 日間を以て 1 試験期間単位とし実験期間は、実験食の種類即ち Ca 攝取量の差と被験者個人との組合せは、ラテン方格を使つて無作意化を行つて第3表の如くにした。

第3表 実験の組合せ

実施月日	第1種	第2種	第3種
3/10~ 5/10	Y. K.	T. K.	T. N.
6/10~ 8/10	T. K.	T. N.	Y. K.
9/10~11/10	T. N.	Y. K.	T. K.

Ca を多量に与えることを長く続けると次第に吸収率が上昇するといわれており、実験順序の何如によつては、この短期の実験においてもそのような影響も現われるかも知れず、又実験期間の気候的要素等の影響等も考えられないこともないので、同一期間に全被験者が同一実験を行うよりもその組合せを無作意化の方が安全であると思われたからである。

又斯の如き実験計画を採用することによつて、ラテン方格法としての分散分析が可能となつたのである。

第3章 実験成績

第1節 尿及び尿の所見

実験食の種類別に見た 1 日平均尿量並びに尿

量(乾燥量)は第4表の如くである。

尿は何れも酸性又は弱酸性にして、蛋白及び

第4表 実験食各種別 1 日平均尿並びに尿量

実験食種別	尿 量 (cc)			尿 乾 燥 量 (g)		
	Y. K.	T. K.	T. N.	Y. K.	T. K.	T. N.
準 備 期	1495	1315	1295	27.0	21.8	24.2
第 1 種	1410	1423	1467	26.2	37.3	48.5
第 2 種	1823	1647	1737	32.1	31.0	32.3
第 3 種	1667	1473	1752	22.8	43.7	36.7

糖は定性的に陰性で、その他特に記すべき異常はなかつた。

尿の排泄は各被験者共毎日あり、殆んど普通便で消化は良好であつた。

第2節 Ca の代謝

準備期間中における攝取 Ca 並びに P 量、尿並に尿中に排泄された Ca 量、更にその時の Ca 平衡値及び吸収は第5表の如くである。なおここにいる吸収量とは、便宜上攝取量より尿中に排泄された量を差引いたものであり、吸収率と

第5表 準備期中の平均1日におけるCa代謝

攝取量 (mg)			被験者	排泄量 (mg)		吸収量 (mg)	吸収率 (%)	平衡 (mg)
Ca	P	Ca/P		尿	尿			
637	884	0.72	Y. K.	132	467	170	26.6	+ 38
			T. K.	189	414	223	34.9	+ 34
			T. N.	187	416	221	34.6	+ 33

は $\frac{\text{吸収量}}{\text{吸収率}} \times 100$ で表わしたものである。

第5表の平均尿中排泄Ca量は170mg, 平均尿中排泄Ca量は433mgで又平均総排泄Ca量は660mgであった。又平均吸収Ca量は204mg, 平均吸収率は32%, Ca平衡の平均値は+35mgであった。

実験期間中における攝取Ca並びにP量, 尿並びに尿中に排泄されたCa量, 更にその時のCa吸収状態及びCa平衡値は第6表の如くである。又第6表に示された値から各試験食種における平均値をとって見ると第7表の如くなる。

第6表 実験食種別に見た1日平均Ca代謝値

種別	攝取量 (mg)			被験者	排泄量 (mg)		吸収量 (mg)	吸収率 (%)	平衡 (mg)
	Ca	P	Ca/P		尿	尿			
第1種	756	1321	0.57	Y. K.	141	454	302	39.9	+ 161
				T. K.	186	409	347	36.1	+ 161
				T. N.	228	414	342	45.3	+ 114
第2種	1506	1321	1.14	Y. K.	110	896	610	40.5	+ 500
				T. K.	211	889	617	41.0	+ 407
				T. N.	216	911	595	39.5	+ 379
第3種	3006	1321	2.28	Y. K.	246	1831	1175	39.1	+ 930
				T. K.	304	1951	1055	35.1	+ 752
				T. N.	408	1780	1226	40.8	+ 719

第7表 各試験食別に見たCa代謝の平均値

期別	攝取量 (mg)			排泄量 (mg)		吸収量 (mg)	吸収率 (%)	平衡 (mg)
	Ca	P	Ca/P	尿	尿			
第1種	756	1321	0.57	185	426	330	40.1	+ 145
第2種	1506	1321	1.14	179	899	607	40.3	+ 428
第3種	3006	1321	2.28	319	1854	1152	38.3	+ 799

さて攝取Ca量が756mg(第1種)から1506mg(第2種)更に3006mg(第3種)へと夫々2倍宛増加した場合, Caの排泄, 吸収並びに平衡が如何に変化したかを第7表より見れば次の如くである。

(1) 排泄について……尿から排泄されるCaは第1種から第2種を比較した場合, かえつて6mg減少しており, 第2種と第3種を比較すると漸く140mg即ち1.8倍弱に増加していた。一方尿中へ排泄されたCaは第1種と第2種で

は 473mg の差があり即ち 2.1 倍に増加し、第 2 種と第 3 種の比較では 955mg の差となり、2 倍弱に増加している。

(2) 吸収について……第 1 種と第 2 種の吸収量を比較すると 277mg の増加即ち約 1.9 倍に増加しており、第 2 種と第 3 種の比較でも 545mg 即ち 1.9 倍近くに増加していることが分る。かくの如く攝取量と吸収量は略々平行して増加したと推察される。故に吸収率はこの 3 種の試験食を通じて略々一定であつて第 1 種と第 2 種の間に殆んど差異がなく、第 3 種の時には極めて僅かだけ減少しているに過ぎない。

(3) 平衡について……第 1 種に比して第 2 種において増加した Ca 平衡値は +292mg で、これは 2.9 倍の増加に相当する。又第 2 種に対する第 3 種の比較では 37mg だけ増加しているが、これは 1.9 倍に増加したことになる。即ち基本食のみの第 1 種に比較しては炭酸 Ca を添加した第 2 種は極めて大量の Ca 蓄積の増加が認められたが、これに比較して第 3 種では攝取量の増加に略々平行して Ca の蓄積が増加したことが認められた。

以上を更に分り易く表示したのが第 8 表であつて、便宜上第 1 種の數値を夫々 1.0 とし、他

第 8 表

種 別	攝 取 量			排 泄 量		吸収量	吸収率	平 衡
	Ca	P	Ca/P	尿	屎			
第 1 種	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0
第 2 種	2.0	1.0	2.0	1.0	2.1	1.8	1.0	2.9
第 3 種	4.0	1.0	4.0	1.7	4.4	3.5	1.0	5.5

種のこれに対する増減割合が示されている。

上述の差異は統計学的検定を行うまでもなく有意と見られたが、念のために第 6 表の数値に

ついて分散分析法によつて検定して見ると次の第 9 表の如き結果となつた。

而して第 9 表より次のように結論し得るもの

第 9 表 Ca 代謝についての分散分析表 (分散比の値)

	個人差	実験食種の順序に基づく差	実験食種別に基づく差		
			全種を通じて	第 1 種と第 2 種	第 2 種と第 3 種
吸 收 量 平 衡	0.35	0.36	105.0 **	23.0 *	143.6 **
	28.90 *	6.60	836.6 **	694.1 **	547.0 **
排 泄 尿	0.35	0.36	317.7 **	67.0 *	273.8 **
	68.30 *	9.50	121.8 **	0.3	190.6 **

である。

(1) 吸収について……吸収量は各実験食種の間に明らかに有意な差が認められる。そして第 1 種と第 2 種の間には 5% の危険率を以て有意な差が認められたが、第 2 種と第 3 種の間は更に明らかであつて 1% 以下の危険率において有意である。

個人差に基づく変動及び実験食を攝取した順序に基づく変動は、何れも有意でなかつた。

吸収率は第 6 表に示されている如く各被験者間にも、又各実験期の間にも殆んど差異が見出されなかつたから検定して見るまでもなく、有意な差はない。

(2) 排泄について……尿中 Ca 排泄量は各

実験食種の間を総合すれば1%の危険率で有意な差が認められた。第1種と第2種の間も有意であつたが、第2種と第3種の間には更に大なる差が現われている。一方尿中Ca排泄は個人差が大であつて、5%の危険率で有意である。これは被験者のうちの1人T.N.は常に高い値を示し、最低排泄者Y.K.に比し1.6倍乃至1.9倍であつたことに基くものである。而して第1種と第2種との間の差は有意でなく、第2種と第3種との間の差は明らかに有意であつた。個人差が大きいため各被験者毎に試験食の変化が各人の尿中Ca排泄に如何に影響したかを見ることも意味がある。今試みに各被験者毎に第1種食の時の尿中Caの値を基礎として、試験食種別にその増減割合を示すと第10表の如くである。即ちこれより各被験者と

第10表

	Y. K.	T. K.	T. N.
第1種	1.0	1.0	1.0
第2種	0.8	1.1	1.0
第3種	1.7	1.8	1.6

も、第1種から第2種に移行した場合には尿中へのCa排泄は余り差がなかつたが、第2種から第3種に移行した際に増加したことが分る。

(3) 平衡について……各実験食種の間には0.1%に近い危険率において極めて有意な差が証明せられた。而して更に第1種と第2種の間にも、又第2種と第3種の間にも1%と0.1%点の中間に位する危険率において極めて有意な差が認められた。しかしこの場合の個人差には

5%に近い危険率を以て有意な差異を示した。これは勿論尿中への排泄の個人差が大であつたためである。各被験者に第1種の平衡値を基礎として他期のこれに対する増加割合を検討してみると第11表の如くである。即ち各被験者共第1種に比して第2種の時第1種の値の約3倍、第3種ときは第1種の値の約6倍だけ平衡値の増加が認められる。

第11表

	Y. K.	T. K.	T. N.
第1種	1.0	1.0	1.0
第2種	3.1	3.1	3.3
第3種	5.8	5.6	6.3

第3節 P の代謝

準備期における摂取P並びにCa量、尿並びに尿中へ排泄されたP量、更にその時のP吸収状態及びP平衡は第12表の如くである。

P平衡値が3被験者共に負の値を示し、特にT.K.の如きは-288mgという数値を示したが、これは摂取P量884mgが必要量以下の量であつたことを示している。なお第12表より準備期間中の夫々の平均P代謝値を求めれば尿排泄量が710mg、尿排泄量が283mg、吸収量が601mg、吸収率が67%、平衡値が負の109mgであつた。

実験期間における摂取P並びにCa量、尿並びに尿中に排泄されたP量、更にその時のP吸収状態及びP平衡値は第13表の如くである。

又第13表より各実験食種における平均値を求めれば第14表の如くである。

前述の如く摂取Ca量が第1種から第2種

第12表 準備期中の平均1日のP代謝

攝取量 (mg)			被験者	排泄量 (mg)		吸収量 (mg)	吸収率 (%)	平衡 (mg)
P	Ca	Ca/P		尿	屎			
884	637	0.72	Y. K.	587	309	575	65.0	- 9
			T. K.	923	249	635	71.8	- 288
			T. N.	621	292	592	66.9	- 29

第13表 実験食種別に見た平均1日P代謝

実験食種別	攝取量 (mg)			被験者	排泄量 (mg)		吸収量 (mg)	吸収率 (%)	平衡 (mg)
	P	Ca	Ca/P		尿	尿			
第1種	91	50	0.55	Y. K.	891	361	960	72.6	+ 69
				T. K.	962	449	82	66.0	- 90
				T. N.	882	435	886	67.1	+ 47
第2種	121	1506	1.14	Y. K.	877	406	915	69.2	+ 38
				T. K.	976	627	694	52.6	- 282
				T. N.	897	472	849	64.3	- 48
第3種	1321	3006	2.28	Y. K.	1317	789	532	40.3	- 785
				T. K.	1176	999	322	24.4	- 854
				T. N.	975	1056	265	20.1	- 710

第14表 各試験食種におけるP代謝の平均値

種別	攝取量 (mg)			排泄量 (mg)		吸収量 (mg)	吸収率 (%)	平衡 (mg)
	P	Ca	Ca/P	尿	尿			
第1種	1321	756	0.57	884	415	906	69.8	- 6
第2種	1321	1506	1.14	917	502	819	62.0	- 97
第3種	1321	3006	2.28	1156	948	373	28.3	- 783

へ、又第2種から第3種へと夫々2倍宛増加した場合、Pの吸収、排泄及び蓄積が如何に影響を及ぼされたかを検討してみよう。

(1) 吸収について……P吸収量は第1種と第2種を比較すると87mgだけ減少し、その減少は1割に相当するが、第2種と第3種を比較した場合には446mg減少し、それは第2種より5割、第1種より6割の減少となる。従つてPの吸収率はCa攝取の増すにつれてこれに並行して減少している。

(2) 排泄について……尿から排泄されたP量はCaの攝取量が増すとともに僅かずつ増加

している。第1種と第2種への差は僅かに32mg即ち4%程の増加であり、又第2種と第3種と比較すると235mg即ち、30%近くの増加であつた。又尿中に排泄されたP量は第1種に比して第2種の方は87mg即ち1.2倍に増加したが、第2種よりも第3種ときは446mgの増加を示し1.9倍になっている。これは第1種の実に2.3倍近くに値する。

(3) 平衡について……第1種の基準食のときすでに負の平衡であるが、第1種より第2種の方が更に91mg負の程度が強くなり、又第2種と第3種を比較すると更にその程度ははげし

第 1 5 表

食種別	攝取量			排泄量		吸収量	吸収率	平衡
	Ca	P	Ca/P	尿	尿			
第1種	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	1.0	- 1.0
第2種	2.0	1.0	2.0	1.0	1.2	0.9	0.9	- 16.7
第3種	4.0	1.0	4.0	1.3	1.3	0.4	0.4	-135.0

く 686mg という大きい差を示している。

以上を更に分かり易くするために基準食のみの第1種を1.0として吸収及び排泄の量を比較して見ると第15表の如くであった。

第13表の数値について Ca 代謝の場合と同様分散分析法を用いて検定して見たのが第16表である。表に示したのは分散比 (F) の値である。

第16表より次のような結論が得られる。

第 1 6 表

	個人差	実験食種の順序に基づく差	実験食種に基づく差		
			全種を通じ	第1種と第2種	第2種と第3種
吸 收 量	34.60 *	12.88	342.5 **	15.59	417.4 **
吸 收 率	42.33 *	16.27	421.5 **	19.25 *	513.6 **
平 衡	34.78 *	1.58	639.0 **	14.37	834.7 **
排 泄	44.54 *	17.10	441.0 **	20.11 *	537.4 **
尿 尿	1.25	1.00	5.25	0.01	8.55

(1) 吸収について……吸収量も吸収率も実験食種に基く差は何れも明らかに有意である。しかし第1種と第2種の試験食間の差は余り大でなく、幸うじて5%の危険率で有意な程度である。しかし乍らこの時の吸収には、個人差も有意であるから、各個人毎に実験食種別に吸収量の関係を再検討して見る必要がある。第13表の第1種の値を基礎(100)として、各被験者毎に第2種及び第3種における吸収量の割合を求めると第17表のようになる。即ち第1種と第2

第 1 7 表

食種別	Y. K.	T. K.	T. N.
第 1 種	100	100	100
第 2 種	95	80	96
第 3 種	56	37	23

種の差を見ると Y.K. と T.N. の吸収は殆んど変化せず、T.K. が20%の吸収減退を示した。しかし第2種と第3種の比較では Y.K. と T.N. は更に40%、又 T.N. は70%の吸収減退を示している。即ち個人によつて程度の差はあるにしても、各被験者共に Ca を増して第1種から第2種に変えることによつてPの吸収は著しく阻害せられなかつたが、第3種程度になるとその吸収は著しく阻害せられたことが推察に難くない。

(2) 排泄について……尿中P排泄量は被験者間にも又実験食種別の間にも有意な差が見出されなかつた。尿中に排出されるP量は、各実験食種の間には明らかに有意な差が認められた。而してその中、第1種と第2種の間の差は5%位の危険率で有意であるが、第2種と第3種の間には1%よりもはるかに小さい危険率において有意な差異が認められた。又この場合も吸収におけると同様、個人差において有意な喰違いが認められた。故に各被験者毎に前述の吸収についての場合と同様に検討して見ることも意味がある。第13表の第1種の実験食即ち基本食のみ攝取したときの尿中の排泄P量を基礎として、各被験者毎に第2、第3種における増加割合(%)を求めれば第18表の如くである。即ち

第 1 8 表

食種別	Y. K.	T. K.	T. N.
第 1 種	100	100	100
第 2 種	112	139	109
第 3 種	219	223	220

第1種と第2種の比較では、後者の方が Y.K. : T.N. の変化は極めて僅少に過ぎず、只 T.K. は39%増加していた。而して第2種と第3種を比較した場合は各被験者共更に後者が100%内外の増加を示していた。即ち有意な個人差が認

められたが、各個人毎に考察すれば、各人共種別により明らかな差が認められた。

(3) 平衡について……種別に基く差は全体としては1%以下の危険率で有意であつたが、第1種と第2種の間は有意でなかつた。而して第2種と第3種の間は0.1%の危険率で有意であつた。この場合も5%内の危険率において有意な個人差が認められたので、更に各被験者毎にこれを検討して見た。第13表より判断するに、第1種に比較して第2種の方では各被験者ともその平衡値が減少し、その程度はY.K. 30mg, T.K. は192mg, T.N. は40mgであつたが、第2種と第3種では後者は各被験者とも更に高度な平衡値の減少が認めら

れ、その量及び前者との減少割合はY.K. は823mgで27倍、T.K. は572mgで3倍、T.N. は663mgで15倍であつた。

要するに上述の各試験食別に見られた傾向は3人共に認められるが、T.K. のみが他の2人と稍異なる様相を示していることになる。

又第16表に示されている如く実験食の順序に基く差は吸収、平衡及び排泄共に認められなかつた。

第4節 窒素代謝

準備期並びに実験食期中の窒素代謝は第19表に示すように順調であつて、極めて軽度に正であつた。含水炭素、脂肪の吸収も正常であつて、特記すべき事項はなかつた。

第19表 平均1日におけるN代謝

食種別	攝取量 (g)	被験者	排泄量 (g)		吸収量 (g)	吸収率 (%)	平衡 (g)
			尿	尿			
準備食	11.0	Y. K.	8.5	1.9	9.1	82.7	+ 0.6
		T. K.	9.8	1.5	9.5	86.4	- 0.3
		T. N.	9.6	1.6	9.4	85.5	- 0.2
第1種	13.2	Y. K.	10.5	1.7	11.5	87.1	+ 1.0
		T. K.	11.8	2.0	11.2	84.8	- 0.6
		T. N.	11.1	2.1	11.1	84.1	± 0
第2種	13.2	Y. K.	10.5	1.9	11.3	85.6	+ 0.8
		T. K.	11.9	2.2	11.0	83.3	- 0.9
		T. N.	10.1	2.0	11.2	84.8	+ 1.1
第3種	13.2	Y. K.	10.6	1.8	11.4	86.4	+ 0.8
		T. K.	11.7	2.5	10.7	81.1	- 1.0
		T. N.	10.6	2.2	11.0	83.8	+ 0.4

第4章 考 察

第1節 磷漸取量について

Sherman (1921)⁵⁾ 並びに Stearns (1950)⁶⁾ は正常成人には880mgが必要磷量だと述べている。さてこの実験の準備期のP攝取量は1日884mgであつたが、各被験者共負の平衡を示し、特にT.K. の如きは-289mgという数値を示していた。即ち Sherman 並びに Stearns

のいうP必要量880mgはこの被験者達にとつては必要量をはるかに下廻るものであつた。Mitchell (1946)⁷⁾ は1kg宛必要磷量は16.66mgであると定め、70kgの人では1日1166mgのPが必要であると述べており、又 Stearns は体重70kgの人は1日1320mgとれば安全だと述べている。Schohl (1939)⁸⁾ Macy-Hoobler

(1941)⁹⁾等の定めたP必要量は何れもこの中間の値を示していた。又 Leverton & March (1942)⁹⁾は若い女のP必要量は1050mgで1430mgが丁度よいと述べている。さて前述の如くこの実験の攝取磷量は1日1321mgであつたが、これは果して3人の被験者(平均体重58kg)に対して適切な量であつたろうか。当教室の土屋の実験(1953)¹⁰⁾において、1日攝取P量1130mgの時のP平衡値はY.K.とT.N.が+50mg内外、T.K.は-67mgであつた。本実験の第1食種のP攝取量は1日1321mgでその時の平衡値はY.K.は+69、T.K.は-90、T.N.は+4である。以上より推察して、本実験の基本食中に含まれているP量1321mgはこの3人の被験者にとつて略々所要量とみなし得るようである。

第2節 磷代謝について

I. 磷の吸収並びに尿中への排泄について

L.E. Holt et al (1925)¹¹⁾が述べている如く、人体へのCa並びにPの吸収は直接にはCa₃(PO₄)₂の溶解度の如何に極めて強く影響されるようである。そして彼は新生児の腸内容には大量のCa₃(PO₄)₂が含まれており、又多くの大人の腸内にもこのCa₃(PO₄)₂が当然存在しているだろうと述べている。更に又 Debye & Hückel (1923)¹²⁾をはじめ多くの人達は不溶性のCa₃(PO₄)₂は腸粘膜を通過出来ず、体内へは吸収されないものであることを実証した。一方Caイオン並びに色々の形態のPイオン及び溶液中に水溶状態の磷酸カルシウムの分子は腸粘膜を通過出来るようである。

食餌中にP又はCaのどちらかを過剰に含んでおれば、腸内においてこの不溶性のCa₃(PO₄)₂の沈澱が多量に生産されるためか、一方の要素の吸収が著しく阻害せられるということは多くの学者達によつて実証せられて来た。即ち McCollum et al (1921)¹³⁾は鼠に対する佝僂病の実験において、食餌にCaを高度に与えPを低くした時にはCaの吸収は増加したが、Pの吸収は低下したことを認めた。動物実

験による同様な結果は更に Bertrand (1878)¹⁴⁾ Forbes E.B. et al (1915)¹⁵⁾ Meyer & Chon (1915)¹⁶⁾等多数によつて報告されている。又 Schabad (1910)¹⁷⁾は子供に対して磷酸ソーダの過剰を与えた所、Caの吸収は強く阻害せられたが又更に蔞酸Caの大量を喰べさせた時にはPの吸収は著しく阻害せられ大量のPが尿中に排泄されたと報告している。Bosworth and Bowditch (1917)¹⁸⁾も同様な実験結果を報告している。即ち子供に醋酸Caの大量を与えた所、その尿中にPの著しい排泄を認めたのである。W. J. Orr. et al (1924)¹⁹⁾の塩化Ca並びに磷酸ソーダを使用した2人の子供に対する実験及び Telfer (1923)²⁰⁾のそれに類似の実験においても同様な結論が報告されている。さて著者が炭酸Caを使用して攝取Ca量750mgから1500mg、更に3000mg迄増加した場合における成人男子の磷代謝に及ぼす影響を観察した本実験においても同様な結果が得られた。即ち被験者のPの吸収は明らかに阻害せられ、吸収量並びに吸収率共に明らかに有意な差が認められた。これと殆んど同じ結果が尿中に排泄されたP量においても観察せられたことは勿論である。以上の如く著者の実験においても、前述の多くの研究家達の実験成績と同様に大量のCaを攝取した結果腸からのP吸収は著しくさまたげられ、多量のPが尿中に排泄せられたのであつた。

而して攝取Ca量が750mg(第1種)から1500mg(第2種)迄増加した場合は吸収量も吸収率も僅かに10%しか減少せず、推計学的検定においても、吸収量では両期間に有意な差を認めることができず、又尿中へのP排泄は415mgから501mgへと、即ち1.2倍に増加していたに過ぎなかつた。この値は Lei hsenring (1951)²¹⁾の実験成績と稍々似通つていた。即ち彼は20→30歳の健康な女子大学生を使用し、毎日300mgのCaと900mgのPを含有する食餌を攝取せしめ、これに炭酸Caを用いて1200mgのCaを添加したがその時の尿中に排

泄された P 量は 264mg から 375mg へと、約 1.3 倍増加していたのである。しかし彼の実験においてはそれ以上の Ca は投与せられなかつた。著者が 1500mg から更に 3000mg の大量の Ca を添加した所、吸収率も吸収量も約半分には減少し、その差は 1% 以下の危険性において有意であつた。又尿中へ排泄せられた P 量は 501mg から 948mg へと、即ち 1.9 倍に増加していた。

II. P の尿中排泄並びに平衡について

尿中へ排泄された P 量に対する摂取 Ca 量の影響は極めて僅少であるようで、第 1 種実験食では平均 885mg、第 2 種には 917mg、第 3 種には 1156mg と僅かずつ P の尿中へ排泄は増加しているように見える。但し推計学的検定においては各被験者の間にも、各試験食種の間にも差異は有意でなかつた。さて尿への P 排泄は非常に個人差の少ないことは Leichsenring²¹⁾も指摘しているが、彼が摂取 Ca 量を 300mg から 1500mg に増加した場合、各被験者共尿からの P の排泄は明らかに減少したと報告している。しかし著者の実験では前述の如く僅か乍ら次第に増加している。しかしこの場合の Leichsenring の実験成績は最初の 1 週間の値を除外した第 2 週以後の平均値であつたが、著者の実験は前述の如く 3 日試験であつたことを考慮に入れるべきである。何故ならば Orr¹⁰⁾ が約 2 歳の乳児に 1 日 P 量 940mg 与え、Ca を 1000mg から 2300mg という驚く程の大量を増加して、4 日試験を行つたにもかかわらず、尿への P の排泄は 360mg から 320mg と僅かに 40mg しか減少しなかつた。更に又 Blühdorn (1921)²²⁾ 及び古明地 (1954)²³⁾ の子供を使つた実験においても、摂取 Ca を急激に増加した場合尿中への P 排泄は初期の間は全く僅かな減少しか示さぬか (前者)、かえつて僅かに増加することさえあるが (後者)、次第に尿中へ排泄される P 量が減少していく現象を見ている。今回の実験において尿中 P 排泄量の増したのは尿中 Ca 排泄量の増加に伴つた現象の如く考えられる。長期の実

験であれば恐らく異なつた様相を示すものであらう。

さて前述の如く摂取 Ca の増加は、尿中への P 排泄には大した影響を与えなかつたが、腸からの P 吸収に対し阻礙的な影響を与えた。故に P 平衡値も当然 P の吸収状態と並行して變化したことは容易に了解出来る所である。即ち著者の実験における各試験食の平均 P 平衡値は第 1 種実験食において既に -6mg で第 2 種が -97mg、第 3 種が -783mg で、明らかに有意な差異が認められた。而して摂取 Ca 量が 750mg から 1500mg に増加した場合には、分散分析の結果、その間に有意な差異を見出し得なかつたのは、Leichsenring²¹⁾ の実験結果と同様であつた。しかし摂取 Ca 量が 1500mg から 3000mg に増量するや、P の平衡値は著しく低下し、その間に極めて有意な差が見出された。

前述の如くこの実験における 1 日摂取 P 量、1321mg は、多くの研究家によつて定められた P 所要量内の値であつたが、これに対し Ca 摂取量が 1500mg 迄増量せられても P の吸収並びに平衡は大して阻礙せられなかつたことが実証せられた。又 Ca 所要量に関し Sherman⁹⁾ は成人 1 人 1 日当り 680mg としており、兼松 (1923)²⁴⁾ は 800mg 前後の Ca 量を以て本邦成人の要求量と述べている。同様に本邦資源調査会食糧部会の勅告 (1952) も体重 56kg の成人男子では 800mg の Ca 量を標準所要量だとしており、最も大きな値としては米国の National Research Council が 1948 年に 1000mg を以て所要量と定めている。即ちこれより判断して 1 日 1500mg の Ca 摂取の如きは吾人日常生活においては考えられない程の大量であるにもかかわらず、その摂取が P の吸収、平衡に対して余り阻礙的な影響を与えなかつたということは、吾人の日常摂取範囲内の P 並びに Ca 摂取量においては、Ca の量が如何に多くても P の吸収をおびやかすおそれが極めて少ないことを意味している。但し特に Ca 製剤殊に炭酸石灰或いは乳酸石灰等によつて Ca を多量に補給する場

合には大いに注意を要することであつて、1500 mg以上になることは避けるべきであろう。3000 mg という如き大量に至れば Ca の P 吸収に及ぼす影響が明らかに問題にされるべきである。普通の食餌から 0.5g 程度の Ca が攝取されるとすれば製剤としての Ca の補給量は 1g を限度とすべきであろう。

第3節 Ca 代謝について

本実験の範囲では攝取 Ca が增加するに従い腸よりの Ca の吸収量も増加し、攝取に対する吸収率は約40%内外で変化しなかつた。残余の約60%は尿中に排泄されていた。勿論 Holdi (1939)²⁹⁾ 及び Bergeim (1926)²⁹⁾ 等が述べている如く尿中に排出せられた Ca はすべて経口的に攝取した Ca でなく、消化管内へ再排泄せられた Ca も含まれていることを見逃してはならない。しかしこれは再排泄と考えるよりも、むしろ消化液中の Ca が一部再吸収されなかつたものと考えらるべきであろう。これは Nicolysen (1934)²⁷⁾ が消化液 100cc 中の Ca 量は 5~10 mg と述べ、Stearns (1950)²⁸⁾ は成人1日の消化液中の Ca 排泄量は 0.3~0.8g で平均約 0.65g であるといつていることから推論出来る。又 Wang et al (1930)²⁹⁾ は Ca 攝取が低い時には尿中への排泄 Ca は攝取量をはるかに超過すると述べている。これらの点より考えて尿中に証明せられた Ca の幾らかは経口的に攝取した以外のものであり、実際の吸収率は40%を更に上廻ることも考えられる。とにかくこの実験における如く 3000mg の極く大量の Ca が攝取された時にも、腸から吸収せられた Ca はその40%、即ち 1152mg であつたことは、兼松 (1953)³⁰⁾ が攝取 Ca 量がおよそ 800mg 前後に達した後は、如何に Ca 攝取量が増大しても吸収量は一定する傾向があると述べたのにも反し、余りにも良好過ぎたようにも思われる。しかしこの原因として、第一に著者の実験では P の添加なく Ca のみ添加増量せられたため、前述した

如き P の Ca 吸収に対する阻碍作用が次第に減少したためであり、第二に添加源として使用せられたのは炭酸 Ca であつて吸収率が良好であつたためだろう。即ち兼松³⁰⁾によると Ca 吸収率は小魚では 38.7%、野菜は 24.1%であつたが炭酸 Ca は43%であつた。事実炭酸 Ca を使用した著者と同様な実験を行つた Orr¹⁹⁾ の成績においては1日 1000mg の Ca を攝取した時よりも1日 2300mg の Ca を攝取した時の方が吸収率は反つて上昇していたのである。

平均1日の尿中 Ca 排泄量は実験食第1種及び第2種の間には著変なく、第3種において漸く1.7倍に増加したに過ぎなかつた。これは攝取 Ca の増加割合に比べると極めて小さいものであつたが、Shohl et al (1928)³¹⁾ 兼松 (1952)³²⁾ 及び French et al (1937)³³⁾ 等が大量に Ca を攝取した時にも尿中の Ca 量は攝取に対して20%を超えることがなかつたといつている成績と一致している。而して Knapp (1947)³⁴⁾ や Leichsenring²¹⁾ 等も指摘している如く、著者の実験においても尿中 Ca 排泄は個人差が激しく、推計学的にも5%の危険率において有意な個人差が証明せられ、常時最高排泄者であつた T.N. は、常時最低排泄者であつた Y.K. の1.6~1.9倍の Ca を尿中に排泄していた。

さて実験食第2種及び第3種において極めて大量の Ca が投与せられ、且つ腸より大量に吸収せられたにもかかわらず、尿中への Ca 排泄は激増しなかつたため、当然体内へ相当量の Ca が蓄積せられ、且つその量は攝取量に略々並行して増加せられた。これは著者と同様に短期間実験を行い、且つ炭酸 Ca を添加源として大量に Ca 投与を行つた Orr¹⁹⁾ 及び Blühdorn²²⁾ の実験結果に略々一致していた。

第4節 炭酸 Ca の利用率について

Ca の利用率を Breiter & Out house et al (1941)³⁵⁾ Steggerda & Mitchell (1941)³⁶⁾ 等が Illinois 大学で採用した様式、即ち

$$\frac{(\text{添加食期間中の Ca 蓄積量}) - (\text{基本食期間中の Ca 蓄積量})}{(\text{添加食期間中の Ca 攝取量}) - (\text{基本食期間中の Ca 攝取量})} \times 100$$

より求めた所、炭酸 Ca 750mg, 食品中の Ca 750mg, 合計 1500mg の Ca を攝取した第 2 種食期における炭酸 Ca の利用率は 38.9% であり, 又炭酸 Ca 2250mg, 食品中の Ca 750mg, 合計 3000mg の Ca を攝取した第 3 種のときの炭酸 Ca の利用率は 29.5% で, 両食種の平均値は 34.2% であつた. 第 3 種の値が第 2 種より低かつたのは勿論攝取量に大差あるために起因するものと思われる. さて速水 (1952)³⁷⁾ が成人及び小兒に 2.1g の炭酸 Ca (コロイカル)

を基本食に添加した結果, 成人では略々 20%, 小兒では約 40% の利用率を示したと報告している. この速水の炭酸 Ca の添加量は著者の第 3 種の実験と略々類似していたが, 著者の利用率の数値は少しく大きく出ている. 又兼松³⁸⁾は基本食中の Ca 量を 0.12g とした低 Ca 実験の後に, 炭酸 Ca 0.2g 宛四回に分け漸次添加増量せしめた際の炭酸 Ca の平均利用率は 29% であつたと報告している.

第 5 章 要 約

攝取 Ca の量とその P 吸収阻害作用を検討する目的で本邦健康成人男子 3 名について, 2 日間の準備期間の後に 3 日間を 1 試験単位として 3 試験期即ち 9 日間に亘り, 被験者と試験食をラテン方格法に基いた組合せの下に実験を行った. その時攝取した P 量は 1320mg で一定とし Ca 量は炭酸 Ca を添加源として 750mg から 1500mg 及び 3000mg と 3 段階に分け 2 倍宛変化させた. その結果次の如き成績を得た.

(1) P の吸収は攝取 Ca 量がある程度以上をこすと明らかに阻害せられる. 攝取 Ca 量が 750mg から 1500mg 迄増加しても P の吸収減少は僅少であつたが, Ca 量が 3000mg に増量攝取せられるや P の吸収は実に半分以下に減退したのである.

(2) P の尿中への排泄はその吸収の減少した

にもかかわらず, 反つて僅か乍ら増加したため, P の平衡値は攝取 Ca の増加により低下し特に Ca 攝取量が 3000mg の時は -783mg となつた.

(3) P 所要量は略々 1300mg 内外と推定せられた.

(4) Ca の吸収はその攝取と共に増加し, 吸収率は常に 40% 内外であつた.

(5) Ca の尿中排泄の増加は, その攝取量の増加に比し僅かに過ぎなかつた.

(6) 炭酸 Ca の利用率は第 2 食種において 39.9%, 第 3 食種に 29.5% で, 平均 34.2% であつた.

(7) 炭酸 Ca 等の P を含まない Ca 製剤で Ca を特に補給するときには 1 日 1g 程度を限度とすべきであろう.

文 献

1) McCollum, E. V. ; Orent Keiles, E., and Day, H. G. : The Newer Knowledge of Nutrition, 5th. ed. New York : The Macmillan Company. (1939). 2) McCance R. A. and Widdowson E. M. : Biochem. J. 29, 2694, (1935). 3) 土屋重義 : 栄養と食糧, 3, 5, (1952). 4) 土屋・越野 : 栄養と食糧, 3, 6, (1953). 5) Sherman, H. C. : Calcium and Phosphorus in Foods and Nutrition. 2nd. ed. Newyork. Columbia Uni-

versity Press. (1948). 6) Stearns G. : J. Amer. Med. Assoc. 7, 142, 478, (1950). 7) Mitchell, H. H., and T. S. Hamilton : J. Nutrition 31, 377-386, (1946). 8) Shohl, A. T. : Reinhold Publ. Corp (1939). 9) Leverton, R. M., and A. G. Marsh. : Nebraska Agr. Expt. Sta. Res. Bull. 125, (1942). 10) 土屋重義 : 栄養と食糧, 4, 6, (1953). 11) L. E. Holt., V. K. Lamer and H. B. Chown : J. Biol. Chem.

- 64, 567, (1925). 12) Debye, P., and Huckel, E. : *Physik. Z.* XXIV, 185, (1923).
- 13) McCollum, E. V., Simmonds, N., Shipley, P. G., and Park, E. A. : *J. Biol. Chem.* 47, 507, (1921). 14) Bertram, J. : *Ztschr. f. Biolog.* 14, 335, (1878).
- 15) Forbes, E. B., et. al. : *Ohio. Text Book of Physiologic Chemist.*, Ed. 7, 762, (1915). 16) Meyer and Cohn : *Ohio Agric. Exp. Sta., Tech. Bull.* 6, 66, (1915).
- 17) Schabad, J. A. : *Arch. F. Kinderh.* 54, 83, (1910). 18) Boswarth A. W., and Bowditch H. I. : *Boston M. & S. T.* 177, 864, (1917). 19) Orr, W. J., Holt, L. E., Wilkins, L. and Boone, F. H. : *Amer. J. Dis. Childr.* 28, 576, (1924). 20) Telfer, S. V. : *Quart. J. Med.* 16, 45, (1922-23). 21) Leichsenring, J. M., Norris, L. M. and Lamison, S. A. : *J. Nutrit.* 45, 407, (1951). 22) Bluhdorn, K. : *Ztschr. f. Kinderhk.* 29, 43, (1921).
- 23) 古明地良孝 : *栄養と食糧*, 2, 7, (1954). 24) 兼松重幸 : *栄養と食糧*, 3, 6, (1953).
- 25) Holde, J. Bauchmann, G. et. al. : *J. of Nutri.* 18, 399, (1939). 26) Bergeim, O. : *J. Biol. Chem.* 70, 51 (1926). 27) Nicolaysen, R. : *Skandinav. Arch. f. Physiol.* 69, suppl. 1, (1934). 28) McCay, C. M., et. al. : *J. Biol. Chem.* 114, 259-263, (1936). 29) Wang, C. C., Kern, R. and Kancher, M. : *Amer. J. Dis. Childr.* 39, 768, (1930). 30) 兼松重幸 : *栄養と食糧*, 6, 5, (1953). 31) Shohl, A. I., Bennett, H. B. and Weed, K. L. : *J. Biol. Chem.* 79, 257, (1928). 32) 兼松重幸・他 : *栄養と食糧*, 6, 4, (1952).
- 33) French, R. B. and Cowgill, G. R. : *J. Nutrit.* 14, 383, (1937). 34) Knapp, E. L. : *J. Clin. Investig.* 26, 182, (1947).
- 35) Breiter, H., Mills, R., Dwight, J. et al. : *J. Nutrit* 21, 351, (1941). 36) Steggerda, F. R. and Mitchell, H. H. : *J. Nutrit.* 21, 351, (1941). 37) 速水決・他 : 第5回栄養食糧学会総会, (1951). 38) Outhouse, J., Breiter, H., Rutherford, E., Dwight, J., Mills, R. and Armstrong, W. : *J. Nutrit.* 21, 565, (1941). 39) Sherman, H. C. : *J. Biol. Chem.* 44, 21, (1920).
- 40) Leitch, I. : *Nutrit. Abstr. Rev.* 6, 553, (1937): 8, 1, (1938). 41) Owen, E. C. : *Biochem. J.* 33, 22, (1939). 42) Chu, H.-I., Lin, S.-H., Hsu, H.-C., and Chen, S. H. : *Chem. Abs.*, 35, 5163 (1941).
- 43) Steggerda, F. R. and Mitchell, H. H. : *J. Nutrit.* 31, 407, (1946). 44) Krebs, H. A. and Mellanby, K. : *Biochem. J.* 37, 466, (1943). 45) Cruickshank, E. M. H., Duchworth, J., Kosterlitz, H. M. and Warnoch, G. M. : *J. Physiol.* 104, 41, (1945).
- 46) Hoff-Jørgensen, E., Andersen, O. and Nielson, G. : *Biochem. J.* 48, 555, (1946). 47) Walker, A. R. P., Irving J. T. and Fox, F. W. : *Nature Lond.* 157, 769, (1946). 48) Walker, A. R. P., Fox, F. W. and Irving, J. T. : *Biochem. J.* 42, 452, (1948). 49) 速水決・他 : *栄養と食糧*, 3, 15, (1950). 50) 高木和男・他 : *労働科学*, 28, 306, (1952). 51) Pierce, H. B., Daggs, R. G., Meservey, A. B. and Simcox, W. J. : *J. Nutrit.* 19, 401, (1940).
- 52) 五島孜郎 : *栄養と食糧*, 昭和30, 印刷中.