

胃切除後における体組織カリウム含有量の 変化について

京都大学医学部外科学教室第二講座（指導・青柳安誠教授）

秋 山 英 一 郎

（原稿受付 昭和37年3月22日）

THE CHANGE OF TISSUE POTASSIUM CONTENT AFTER GASTRECTOMY

by

EIICHIRO AKIYAMA

From the 2nd Surgical Division, Kyoto University Medical School

(Director: Prof. Dr. YASUMASA AOYAGI)

An attention has lately been given to potassium depletion following gastrectomy and there have been many reports regarding potassium excretion, potassium balance and serum potassium level after surgery. However, there have been few reports on tissue potassium content after gastrectomy, which was studied by author using dogs.

1) Generally speaking, tissue potassium content decreases, and sodium and chloride contents increase following operation. But there are some differences in the attitude taken by individual organs. a) Tissue potassium contents of liver and kidney did not change or tend to increase either. b) A decrease in the potassium content of skeletal muscle, small intestine, stomach and pancreas and an increase in the sodium content of stomach and small intestine were rather marked. c) Potassium content of heart muscle decreased in less degree than that of skeletal muscle. It seems, therefore, that heart muscle might have a greater content of 'bound' K than skeletal muscle. d) DOCA did not change tissue potassium contents after operation, but accelerated transfer of potassium from inside to outside of cells by DOCA was inferred from urinary and serum potassium.

2) Electrocardiographic changes due to potassium deficit run parallel not with serum potassium concentration but with the increase of cardiac K-quotient, showing unbalance between intracellular and extracellular potassium concentration. In cases of hypopotassemia without electrocardiographic changes, extracellular and intracellular potassium concentration seems to be balanced. There is no relationship between intracellular potassium concentration or K-quotient of skeletal muscle and electrocardiographic changes.

3) Postoperative decrease of serum potassium is intensified by DOCA: this is neither due to dilution nor due to increase of urinary potassium excretion but due to unbalanced equilibrium of intracellular and extracellular potassium as well as unbalanced intake and output of potassium.

4) Neither serum potassium changes nor electrocardiographic changes are insufficient

to show bodily potassium deficiency: the balance between intake and output of potassium should always be kept in mind.

諸 言

われわれは、時に胃切除手術後に狭窄個所も存在せずに鼓腸を伴つて嘔吐を繰り返す患者に遭遇することがあり、而もかかる患者にカリウム(塩化カリの形で)を投与すると凡ての症状がたちまち回復してしまうのである。そして若し、われわれがこの点に気づかずに、かかる患者に他の療法を施していると不幸な場合には、死の転帰をとることもあるが、このような臨床経験から、胃切除後の体組織カリウムの消長に就いて実験的に追求し、特にかかる際の、いわばカリウム欠乏状態を速かに捕える臨床診断上の拠点についても追及したのが本研究である。

実験方法

試験犬としては成犬を用い、胃切除術としてはネンプタール (25mg/kg の静脈内麻酔によつて Billroth I 法を採用し、かかる胃切除後に血漿カリウム、ナトリウム及びクロール濃度、尿量、尿中カリウム及ナトリウム濃度を測定し、併せて心電図変化を追及した。更に術後第3日目乃至6日目にネンプタール 静脈内麻酔後、股動脈から脱血して屠殺し、直ちに剖検して心筋(左心室心尖部)、骨格筋、肝臓、肺臓(右下葉)、腎臓(皮質)脾臓、胃(胃体部)、小腸(空腸)、及び大腸(上行結腸)の小片を採取し、組織に附着している血管、脂肪、粘膜等をできる限り除去した。そして採取後は直ちに血液や腸内容物を軽く拭きとり、湿組織の重量を測定した。手術直後から屠殺までは完全に絶食させ、体液の補給として1日40cc/kgの生理的食塩水のみを投与した。

各種測定法

1) 1ヘマトクリット

加藤氏微量ヘマトクリット管法

2) 血漿カリウム及びナトリウム濃度

DR. LANGE 社製 FLAMMEN-PHOTOMETER を用い、外標準法によつて測定した。^{2) 3) 4) 5) 6) 7)}

3) 血漿クロール濃度

RUSZNYAK 氏法⁸⁾

4) 赤血球中カリウム濃度

全血中のカリウム濃度(a)、ヘマトクリット値(Ht)と血漿カリウム濃度(b)から次式によつて算出した。⁹⁾

$$\text{赤血球中カリウム濃度} = \frac{(a-b) \times 100}{Ht} + b$$

5) 組織中の水分、カリウム及びナトリウム含有量

採取した各組織片の湿組織重量を測定した後、乾燥装置に入れて48時間、100°C で乾燥させて、乾燥組織重量を測定し、乾燥前後の重量差から水分含有量を算出した、また乾燥組織を乳鉢で細粉化し、その100mgを秤量した後、10規定塩酸2.5ccを加えて室温で24時間抽出し、さらに脱イオン水を全量25ccまで加えて24時間抽出した後、無灰濾紙で濾過し、その濾液中のカリウム及びナトリウム濃度を FLAMMEN-PHOTOMETER を用いて測定し乾燥組織1kg当りの含有量として算出した。^{2) 10)}

6) 組織中クロール濃度

SUNDERMAN AND WILLIAMS¹¹⁾ の方法によつて測定した。

7) 細胞内・外カリウム濃度及び心筋、骨格筋の

K-QUOTIENT (KALIMUM-QUOTIENT)

KUHNS²⁾ 19) の方法に従い次式を用いて算出した。

$$\textcircled{1} \frac{\text{extracell. muscle water}}{(\text{in g/kg dry subst.})} = H_2Oe/kg = \frac{Clmd \cdot 1000}{Cl_s \cdot 1.04}$$

$$\textcircled{2} \frac{\text{intracell. muscle water}}{(\text{in g/kg dry subst.})} = H_2Oi/kg = \frac{H_2Omd/kg}{- H_2Oe/kg}$$

$$\textcircled{3} \frac{\text{extracell. muscle-K-content}}{(\text{in mEq/kg dry subst.})} = Ke/kg = \frac{(K_s \cdot 0.95)}{\times \frac{H_2Oe/kg}{1000}}$$

$$\textcircled{4} \frac{\text{extracell. muscle-K-conc.}}{(\text{in mEq/L extracell. water})} = K_s \cdot 0.95$$

$$\textcircled{5} \frac{\text{intracell. muscle-K-content}}{(\text{in mEq/kg dry subst.})} = Ki/kg = \frac{Kmd/kg - Ke/kg}{-}$$

$$\textcircled{6} \frac{\text{intracell. muscle-K-conc.}}{(\text{in mEq/L intracell water})} = Ki/L = \frac{Ki/kg}{\frac{H_2Oi/kg}{\times 1000}}$$

$$\textcircled{7} \text{cardiac K-quotient} = \frac{\text{intracell. K-concentration}}{\text{extracell. K-concentration}}$$

$$K_s, Cl_s = K, Cl \text{ in serum in mEq/L}$$

$$Kmd/kg, Cl md/kg = K, Cl \text{ in total muscle in mEq/kg dry subst.}$$

$$H_2Omd = \text{muscle-total-water in g/kg dry subst.}$$

$$= \frac{\text{muscle weight of wet subst-muscle weight of drysubst.}}{\text{muscle weight of dry subst.}}$$

実験結果

実験第I 胃切除施行犬を以ての吟味(第1群)

1) 血漿カリウム濃度の変動

健常犬15匹の血漿カリウム濃度は、最高468mEq/L 最低3.44mEq/L で平均4.21mEq/L。術後の血漿カリウム濃度は図1に示すように多少の増減を示して経過したが、大体正常範囲内に止まり、著明に低下したものはなかった。

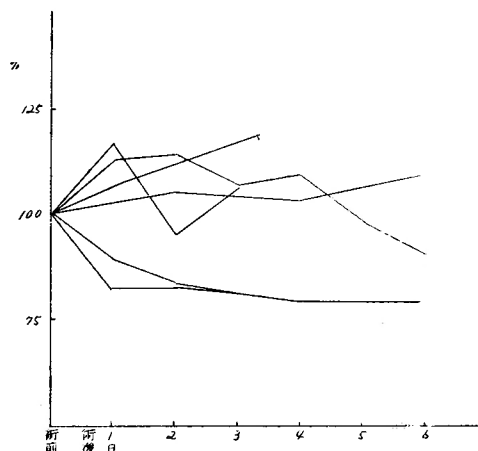


図1 手術後血漿カリウム濃度の変動

2) 血漿ナトリウム濃度の変動

健常犬15匹の血漿ナトリウム濃度は、最高155mEq/L 最低124mEq/L で、平均141mEq/L。術後は図2に示すように軽度の増加又は減少を来したが、一定の傾向は認められなかった。

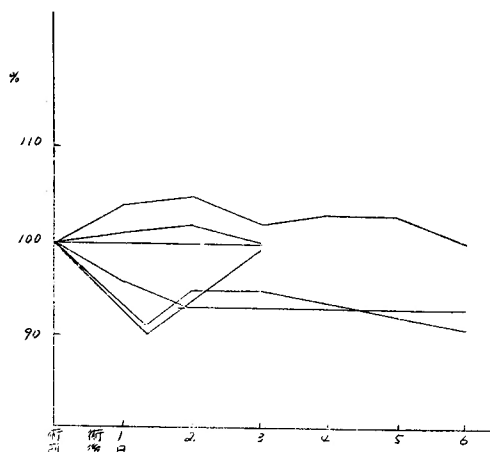


図2 手術後血漿ナトリウム濃度の変動

3) 水分平衡

手術侵襲後の一次水分平衡は図3に示すように、軽

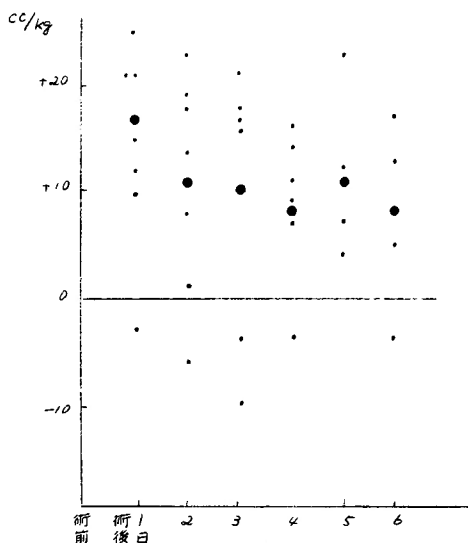


図3 手術後一次水分平衡

度の正平衡を呈し、術後6日目に至っても平均8cc/kgの正平衡を保っていた。しかし、術後の体重は次第に減少する傾向を示した(図4)。

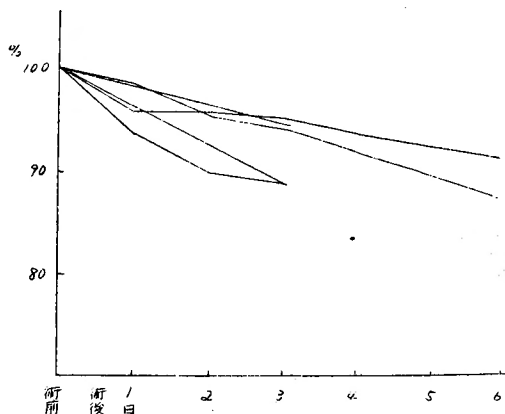


図4 手術後体重の変化

4) カリウム及びナトリウム平衡

図5に示すように、術後第1日目のカリウム排泄量が最大で、平均32mEq/10kgに達し、以後次第に減少して、第3日目乃至4日目以後は大体に一定し、10mEq/10kg程度の排泄が認められた。ナトリウム平衡は術後3日間は正平衡を保ち、4日目以後は負平衡となった(図6)。

5) 赤血球中カリウム濃度

犬の赤血球中カリウム濃度は、人間のそれと異つて

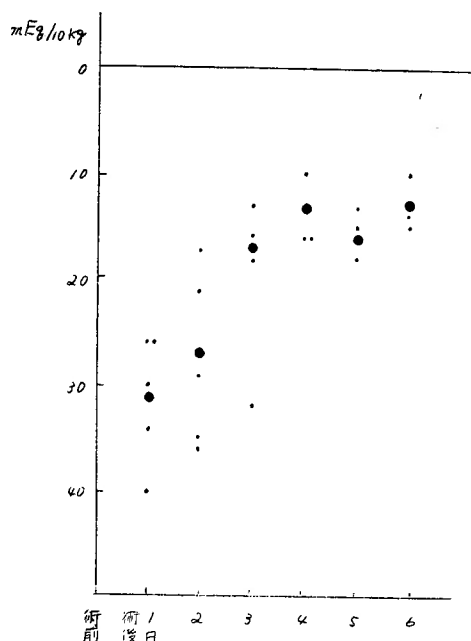


図 5 手術後尿中カリウム排泄量

非常に低く、血漿カリウム濃度に近い値を示し、正常値は5匹の平均が8.9mEq/L (最高12.8mEq/L. 最低5.6mEq/L) で、術後は増加する傾向が認められた。(図7).

6) 体組織カリウム含有量 (表1)

術後3日目の体組織カリウム含有量は、心筋、骨格筋、肺臓、脾臓、胃に於ては明らかに減少し、肝臓及び腎臓では増加の傾向が認められたが、小腸及び大腸では健常犬との間に特に差は認められなかった。

術後6日目の体組織カリウム含有量は、骨格筋、肺

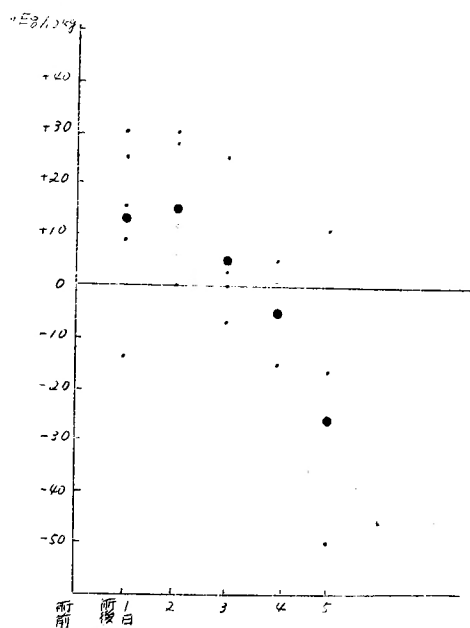


図 6 手術後のナトリウム平衡

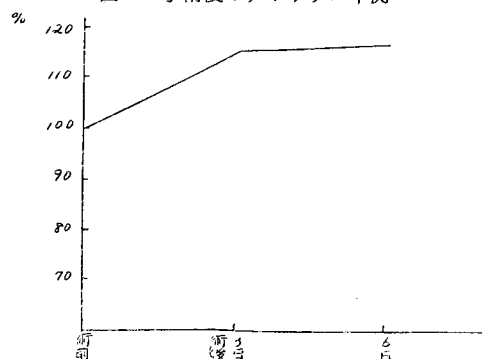


図 7 術後赤血球中カリウム濃度

表1 手術後各組織カリウム含有量 (mEq/kg dry tissue)

	健 常 犬 (5 例)			術 後 3 日 (3 例)				術 後 6 日 (3 例)			
	最 高	最 低	平 均	最 高	最 低	平 均	差	最 高	最 低	平 均	差
心 筋	277	205	248	237	194	208	-40	250	217	236	-12
骨 格 筋	300	219	264	240	194	218	-48	228	198	217	-47
肝 臓	224	169	196	237	187	219	+23	209	181	195	-1
腎 臓	193	150	175	230	163	208	+23	163	153	159	-16
肺 臓	236	184	212	176	163	172	-40	170	159	168	-44
脾 臓	338	287	315	300	211	244	-71	246	175	218	-97
胃	268	156	239	168	162	165	-74	188	163	179	-60
小 腸	332	254	295	300	270	287	-8	269	241	252	-43
大 腸	262	206	233	224	218	222	-11	206	180	190	-43

表2 手術後各組織ナトリウム含有量 (mEq/kg dry tissue)

	健 常 犬 (5 例)			術 後 3 日 (3 例)				術 後 6 日 (3 例)			
	最 高	最 低	平 均	最 高	最 低	平 均	差	最 高	最 低	平 均	差
心 筋	160	125	141	175	126	145	+ 4	148	140	143	+ 2
骨 格 筋	103	63	82	99	85	90	+ 8	116	94	109	+27
肝 臓	128	81	97	125	102	115	+18	131	101	116	+19
腎 臓	252	171	221	215	209	212	- 9	214	165	183	-38
肺 臓	315	252	285	321	282	303	+18	363	263	310	+25
脾 臓	136	97	124	163	93	121	- 3	129	125	127	+ 3
胃	262	223	242	450	306	356	+114	393	330	362	+120
小 腸	200	164	176	228	178	209	+33	225	198	213	+37
大 腸	221	154	202					218	196	203	+ 1

表3 手術後各組織クロール含有量 (mEq/kg dry tissue)

	健 常 犬 (5 例)			術 後 3 日 (3 例)				術 後 6 日 (3 例)			
	最 高	最 低	平 均	最 高	最 低	平 均	差	最 高	最 低	平 均	差
心 筋	127	82	110	151	123	146	+36	147	125	136	+26
骨 格 筋	74	42	51	89	77	81	+30	130	86	96	+45

臓、腎臓、脾臓、胃、小腸及び大腸に於て減少、心筋では術後3日目より減少度は少なく、正常値に近ずき、肝臓では術後3日目より減少したが正常値を保っていた。

7) 体組織ナトリウム含有量 (表2)

術後3日目では、胃及び小腸では明らかに増加し、骨格筋、肝臓及び肺では少々増加する傾向がみられたが、腎臓では減少し、心筋及び脾臓では変化は認められなかった。

術後6日目のそれに於ても同様の傾向が認められた。

8) 体組織クロール含有量 (表3)

心筋及び骨格筋についてクロール含有量を測定した結果いずれも含有量の増加する傾向が認められた。

9) 尿中カリウム排泄量

術後3日目の尿中カリウム排泄量は平均75mEq/kg、6日間のそれは平均117mEq/kgであつた。

10) 心電図変化と心筋 K-quotient との関係

カリウム欠乏症の心電図変化としては、Q-T 間隔の延長を強調しているものが多い。^{12) 13) 14) 15) 16)} しかし Q-T 間隔の延長は、犬の場合は不整脈を有するものが多いので正確な測定は不可能だから、この実験

では、緒方¹⁷⁾の模型図を以つて、カリウム欠乏症心電図の判読の規準とした(図8)。なお胸部誘導でV₁、V₂、V₃とあるのは、それぞれ右胸壁で心尖搏動の対称点、同じ高さで胸骨中央部、及び心尖搏動部に電極を置いたものであり、心電図の撮影に当つては常に一

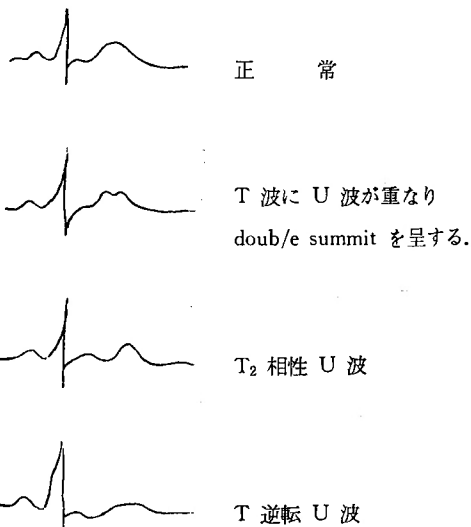


図8 カリウム欠乏時の心電図

定の体位（腹臥位）をとらせるように注意した。

健常犬 5 匹の左心尖部の心筋細胞内カリウム濃度は最高128mEq/L、最低81mEq/L、で、平均106mEq/L、細胞外カリウム濃度は最高4.08mEq/L、最低3.72mEq/L、で平均3.91mEq/Lであつた。そして心筋K-quotientは32.0～20.1であつた。カリウム欠乏症の場合には、K-quotientは32.0より増加する。

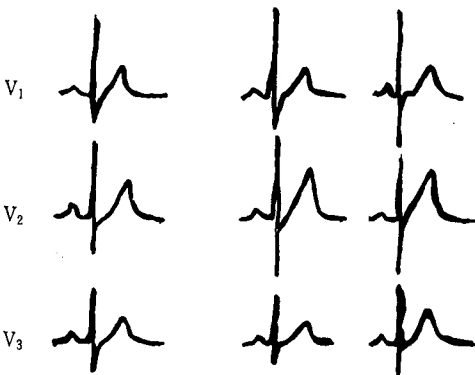
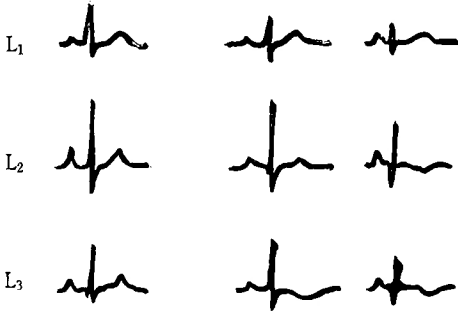
実験例 No. 9 (図9)

この例では血漿カリウム濃度は術前で4.65mEq/L、術後は少々低下して6日目には3.75mEq/L、となつてゐるが、心電図には変化は認められず、心筋K-quotientは32.0で正常値の上界にあつた。

実験例 No. 10 (図10)

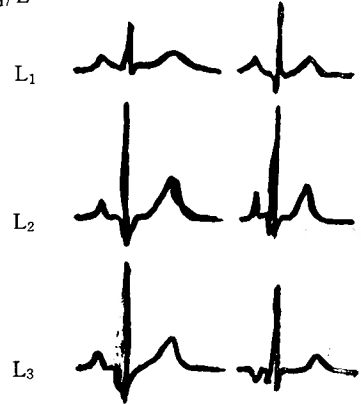
本例では血漿カリウム濃度は術前で3.44mEq/L、術後3日目には3.65mEq/Lとむしろ増加し、心電図に

図 9			
血漿カリウム濃度 mEq/L	術 前	術後 4 日	術後 6 日
	4.65	3.75	3.75



心筋カリウム含有量	240 mEq/kg
細胞外カリウム濃度	3.56 mEq/L
細胞内カリウム濃度	114 mEq/L
心筋 K-quotient	32.0

図 10		
血漿カリウム濃度 mEq/L	術 前	術後 3 日
	3.44	3.65



心筋カリウム含有量	194 mEq/kg
細胞外カリウム濃度	3.37 mEq/L
細胞内カリウム濃度	77.6 mEq/L
心筋 K-quotient	23.0

も変化は認められなくて、心筋 K-quotient は23.0で正常範囲内にあつた。

実験例 No. 11 (図11)

本例では血漿カリウム濃度はかなり著明に低下したが、心電図には変化が殆んど認められず、心筋細胞内、外カリウム濃度は共に低下してK-quotientは22.3と正常範囲内にあつた。

小 括

前述したように術後尿中へは3日間で平均 75mEq/10kg、6日間で平均 117mEq/10kg のカリウム排泄があり、しかもこの期間中に体外からのカリウム補給は全くなく、さらに体組織カリウム含有量も多くの組織に於て減少する傾向が認められることから、明らかに体内のカリウムは減少していると考えられるにもかかわらず、血漿カリウム濃度は術後多くは正常範囲内の軽度の変動に止まり、また心電図にも特にカリウム欠乏症を示す所見を認めることができなかった。

実験第Ⅱ DOCA 併用犬を以ての吟味 (第Ⅱ群)

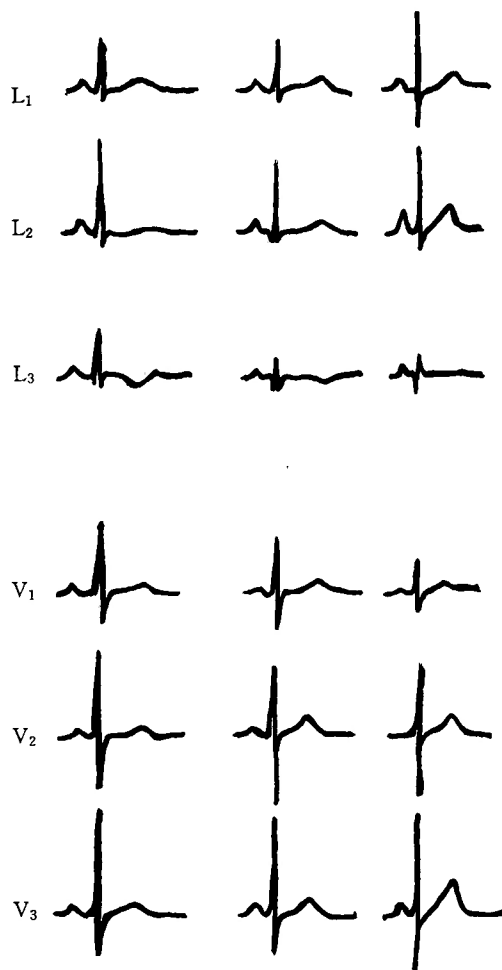
胃切除後毎日 1 mg/kg の割合で DOCA を投与した。

1) 1血漿カリウム濃度の変動

図12に示すように、術後第1日目から著明に低下した。第Ⅰ群に比較すると、図13に示すように、その濃度の低下は著明であつた。

図 11

血漿カリウム 術 前 術後2日 術後3日
濃度 mEq/L 3.75 3.33 3.02



心筋カリウム含有量 180 mEq/kg
細胞外カリウム濃度 2.87 mEq/L.
細胞内カリウム濃度 64 mEq/L.
心筋 K-quotient 22.3

2) 血漿ナトリウム濃度の変動

図14に示すように軽度の低下を来す例が多かったが、全経過を通じて著しい変化は認められず、第I群と比較しても著しい差をみいだすことはできなかった(図15)。

3) 水分平衡

図16に示すように軽度の正平衡を維持した。第I群と比較しても大体同様の傾向を呈し、量的にも特に差は認められなかった(図17)。

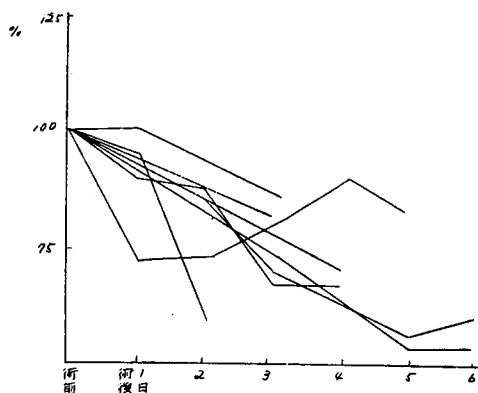


図12 手術後 DOCA 投与群の血漿カリウム濃度の変動

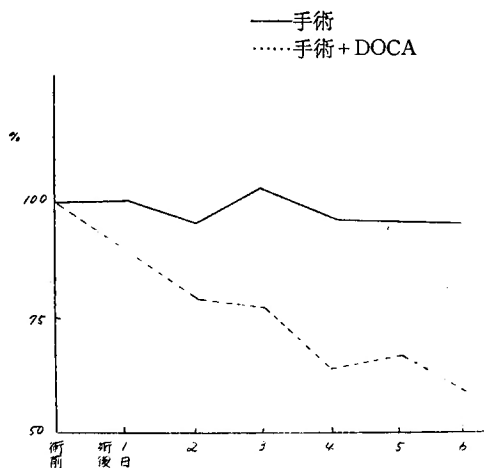


図13 手術後血漿ナトリウム濃度の変動

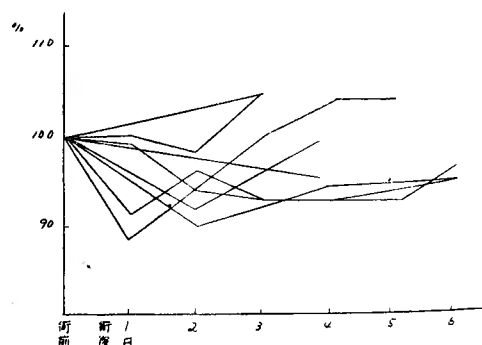


図14 手術後 DOCA 投与群の血漿ナトリウム濃度の変動

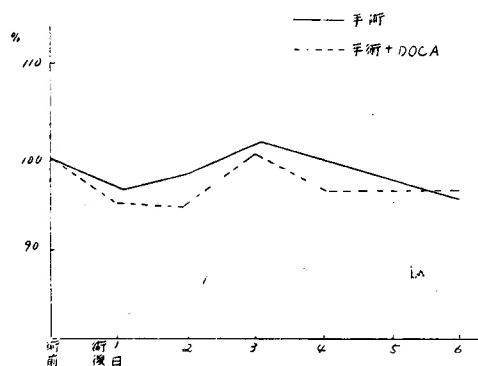


図15 術後血漿ナトリウム濃度の変動

4) 尿中カリウム排泄量

図18に示すように術後1日目の排泄が大で、以後次第に減少する傾向が認められたが、第I群と比較すると、術後4日目迄は第II群の方が排泄量が多いが、5日目以後は殆んど差を認めなかつた(図19)。

5) ナトリウム平衡

第I群に比べると第II群の方が正平衡を保っており、術後2日目が最高で、以後次第に低下する傾向が認められたが、術後6日目に至つてもなお正常平衡を維持していた(図20, 21)。

6) 体組織カリウム含有量(表4)

術後3日目の組織カリウム含有量は、骨格筋、肺、脾臓、胃及び小腸では減少し、肝臓では増加し、心筋

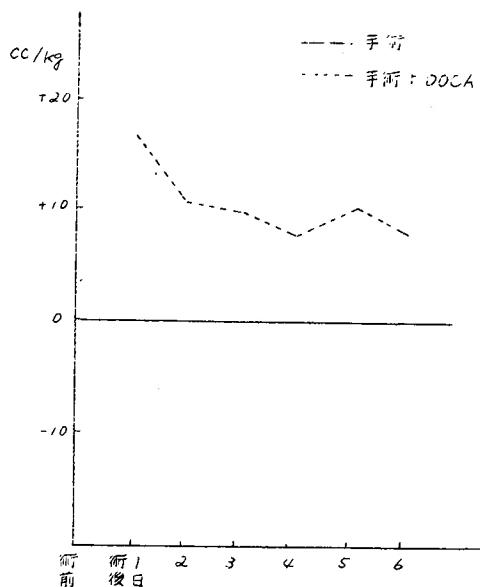


図17 手術後一次水分平衡

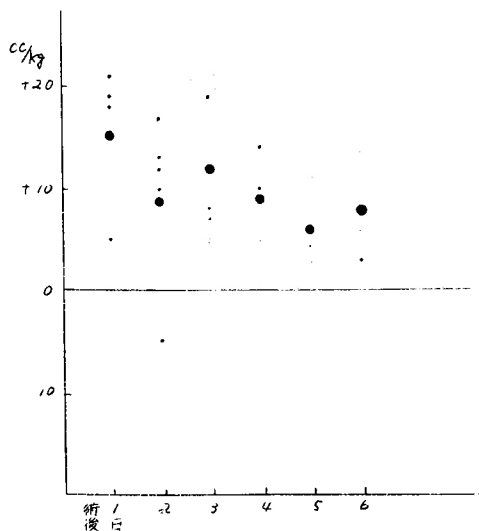


図16 手術後 DOCA 投与群の一次水分平衡

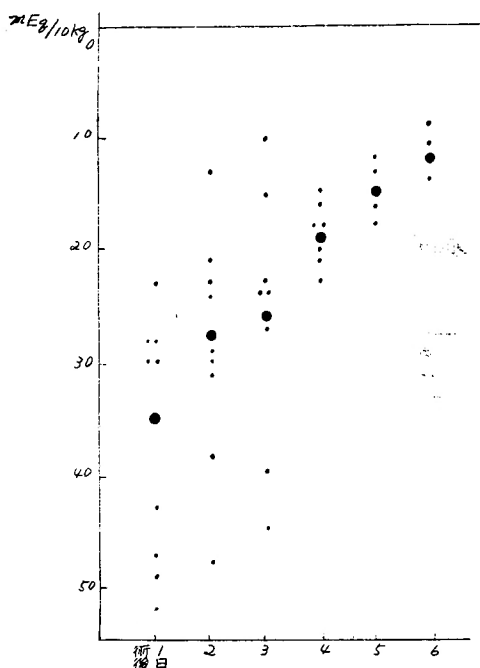


図18 手術後 DOCA 投与群の尿中カリウム排泄量

及び大腸では殆んど変化が認められなかつた。第Ⅰ群と比較すると、特に著明な差違として認められたこと

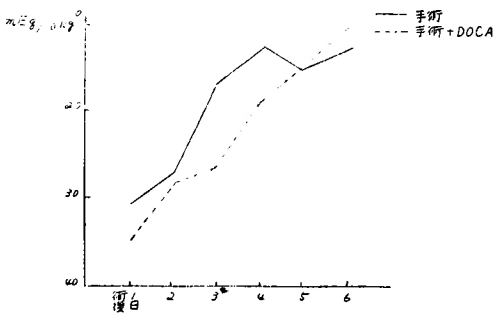


図19 手術後尿中カリウム排泄量

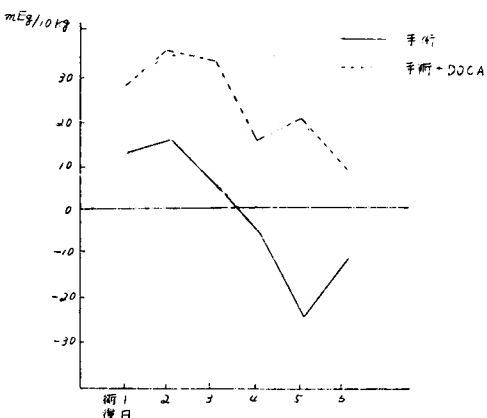


図21 手術後ナトリウム平衡

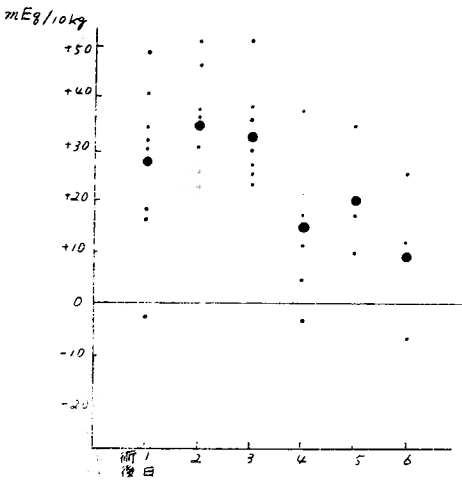


図20 手術後 DOCA 投与群のナトリウム平衡

は、心筋カリウム含有量が第Ⅱ群の方が減少度が少なく、小腸カリウム含有量は第Ⅱ群の方が少々著しく減少したことで、その他には特に有意義の差は認められなかつた。

次に術後6日目の組織カリウム含有量は、骨格筋、肺、脾臓、胃及び小腸では減少し、心筋では軽度の減少を来し、肝臓では少々増加の傾向が認められ、腎臓及び大腸では特に変化が認められなかつた。第Ⅰ群と比較しても、大腸のカリウム含有量が減少しなかつたほかには特に差は認められなかつた(表5)。

両群を通じて特に減少の著明であつた組織は、脾臓、骨格筋及び胃で、小腸及び肺も又減少の傾向を示し、心筋及び大腸では多少減少の傾向を示したが、それは軽度であつた。肝臓ではこれに対して増加の傾向があり、腎臓では一定の傾向が認められなかつた。

7) 体組織ナトリウム含有量(表6)

表4 手術後 DOCA 投与群の組織カリウム含有量 (mEq/kg dry tissue)

		健 常 犬 (5 例)			術 後 3 日 + DOCA (3 例)				術 後 6 日 + DOCA (3 例)			
		最 高	最 低	平 均	最 高	最 低	平 均	差	最 高	最 低	平 均	差
心 筋		277	205	248	265	200	236	-12	263	201	226	-22
骨 格 筋		300	219	264	250	198	224	-40	213	185	201	-63
肝 臓		224	169	196	250	183	214	+18	243	187	215	+19
腎 臓		193	150	175	214	144	168	-7	214	140	181	+6
肺 臓		236	184	212	186	164	172	-40	200	153	179	-33
脾 臓		238	287	315	279	186	238	-77	271	218	245	-70
胃		268	156	239	171	125	149	-90	188	150	171	-68
小 腸		332	254	295	312	210	267	-30	287	200	249	-46
大 腸		262	206	233	254	224	234	+1	240	207	224	-9

表5 手術群と手術後 DOCA 投与群の組織カリウム含有量の比較 (平均値) (mEq/kg dry tissue)

		健 常 犬 (5 例平均)	術 後 3 日 (3 例平均)	術後3日+DOCA (3 例平均)	術 後 6 日 (3 例平均)	術後6日+DOCA (3 例平均)
心	筋	248	208	236	236	226
骨	格 筋	264	218	224	217	201
肝	臓	237	219	214	195	215
腎	臓	175	208	168	159	181
肺	臓	212	172	172	168	179
脾	臓	315	244	238	218	245
	胃	239	165	149	179	171
小	腸	295	287	267	252	249
大	腸	233	222	234	190	224

表6 手術後 DOCA投与群の組織ナトリウム含有量 (mEq/kg dry tissue)

		健 (5 常 例) 犬			術 後 3 日 + D O C A (3 例)				術 後 6 日 + D O C A (3 例)			
		最 高	最 低	平 均	最 高	最 低	平 均	差	最 高	最 低	平 均	差
心	筋	160	125	141	185	118	146	+ 5	173	125	143	+ 2
骨	格 筋	103	63	82	110	81	91	+ 9	114	75	93	+11
肝	臓	128	81	97	149	87	120	+23	134	120	127	+30
腎	臓	252	171	221	190	138	172	-49	180	150	165	-56
肺	臓	315	252	285	313	273	295	-10	291	289	290	+ 5
脾	臓	136	97	124	177	97	141	+17	155	100	128	+ 4
	胃	262	223	242	400	288	350	+118	370	266	339	+97
小	腸	200	164	176	220	140	188	+11	219	155	187	+11
大	腸	221	154	202					250	200	225	+23

表7 手術群と手術後 DOCA 投与群の組織ナトリウム含有量の比較 (平均値) (mEq/kg dry tissue)

		健 常 犬 (5 匹平均)	術 後 3 日 (3 例平均)	術後3日+DOCA (3 例平均)	術 後 6 日 (3 例平均)	術後6日+DOCA (3 例平均)
心	筋	141	145	146	143	143
骨	格 筋	82	90	91	109	93
肝	臓	97	115	120	116	125
腎	臓	221	212	172	183	165
肺	臓	285	303	295	310	290
脾	臓	124	121	141	127	128
	胃	242	356	350	362	339
小	腸	176	209	188	213	187
大	腸	202			203	225

術後3日目では胃及び肝臓では増加し、骨格筋、小腸及び肺では少々増加する傾向が認められ、腎臓では減少し、心筋には殆んど変化が認められなかった。

術後6日目も大体同様の傾向が認められ、また、第I群との間にも特に差は認められなかった(表7)。

8) 血漿カリウム濃度と組織カリウム含有量との関係(表8)

血漿カリウム濃度の低下が著るしいもの(2.9mEq/L以下)5匹と、軽度なもの(3.75mEq/L以上)5匹の体組織中カリウム含有量を比較してみると、血漿カリ

表 8 血漿カリウム濃度の低下著明な群と軽度な群との組成カリウム含有量の比較

	血漿カリウム濃度 2.9mEq/L以下5例			血漿カリウム濃度 3.75mEq/L以下5例		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均
心 筋	265	200	249	250	237	243
骨 格 筋	273	185	224	250	198	229
肝 臓	247	187	233	243	147	187
腎 臓	243	147	187	214	153	180
肺 臓	243	153	193	214	163	177
脾 臓	275	218	254	234	175	256
胃	221	150	172	228	162	182
小 腸	339	259	271	312	245	282
大 腸	277	207	232	294	180	227

ウム濃度の低下が著明な群での肝臓における増加度が大きかった以外には、特に差は認められず、一般に休組織カリウム含有量の減少と血漿カリウム濃度の低下との間には平行関係をみいだすことができなかった。

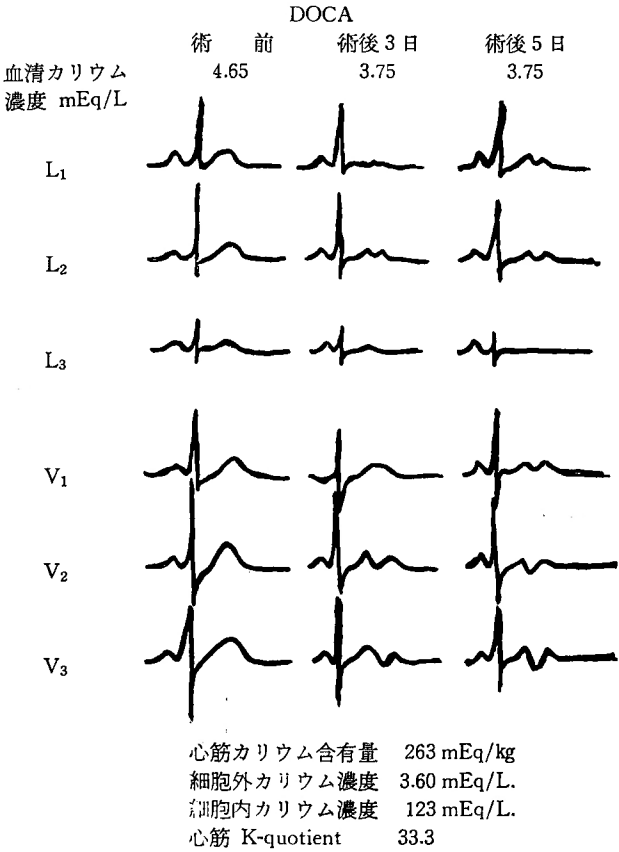
9) 尿中カリウム排泄量と体組織カリウム含有量 (表 9)

尿中へのカリウム排泄量が 120mEq/10kg 以上の群

表 9 尿中カリウム排泄量が 120mEq/10kg 以上の群と 90 mEq/10kg 以下の群との組織カリウム含有量の比較

	尿中カリウム排泄 90mEq/L以下4例			尿中カリウム排泄 120 mEq/L 以上		
	最高	最低	平均	最高	最低	平均
心 筋	250	225	231	265	217	240
骨 格 筋	273	194	230	228	185	212
肝 臓	247	187	226	243	209	226
腎 臓	243	163	216	217	163	167
肺 臓	224	170	192	200	153	175
脾 臓	275	175	221	271	218	246
胃	221	164	185	187	125	168
小 腸	339	245	289	287	200	247
大 腸	277	181	225	240	206	223

図 22



の骨格筋、肺、胃及び小腸におけるカリウム含有量が、同じく90mEq/10kg以下の群に比べると、より減少していることを認めたが、他の組織では特に差は認められなかった。

10) 心電図変化と心筋 K-quotient との関係

実験例 No. 16 (図22)

この例では術後血漿カリウム濃度は少々低下したが、T波が低く且つU波の出現があり、カリウム欠乏症の初期の心電図を呈している。心筋細胞内・外カリウム濃度は123mEq/L、3.60mEq/Lで心筋 K-quotient は33.3と正常範囲より増加しており、カリウム

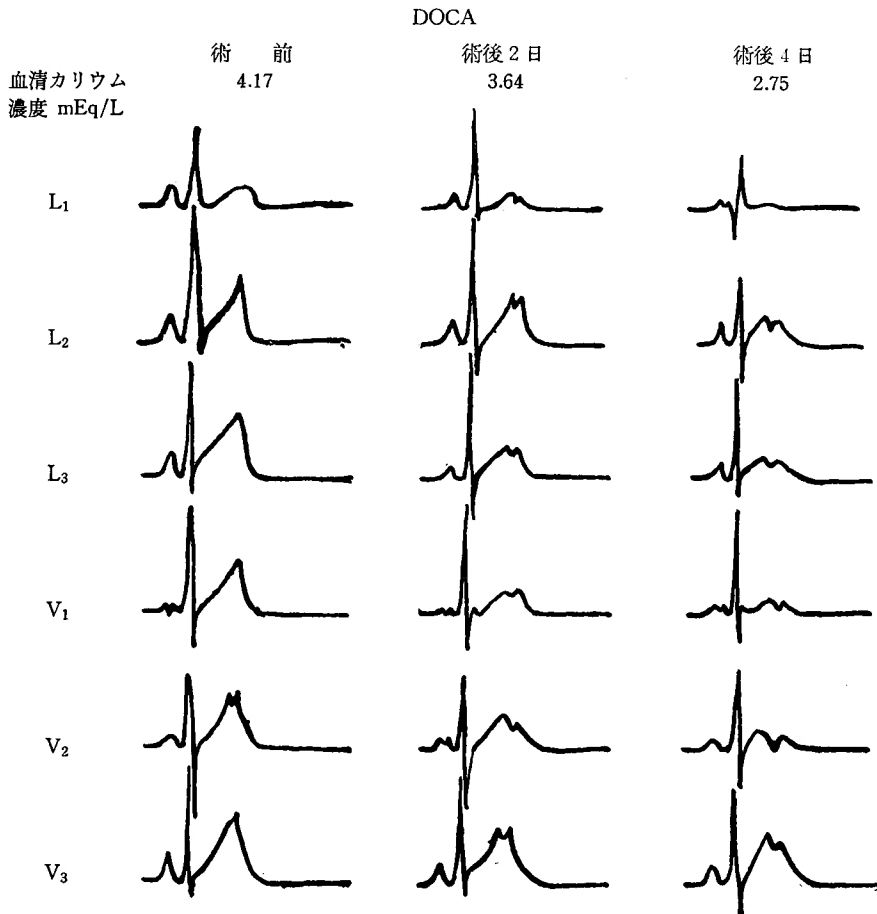
欠乏症が発生したことを示している。

実験例 No. 17 (図23)

本例では血漿カリウム濃度の低下が著明であつて、心電図にもT波が低くなり、U波が重なつて、所謂double Summitの状態を呈している。この心電図変化は血漿カリウム濃度の低下が比較的軽度である時期に既に認められた。心筋カリウム含有量及び細胞内カリウム濃度は共に正常範囲内にあるが、細胞外カリウム濃度の低下が著明で、心筋 K-quotient は39.5に増加して、カリウム欠乏症の存在を明示している。

実験例 No. 18 (図24)

図 23



心筋カリウム含有量 250 mEq/kg
細胞外カリウム濃度 2.61 mEq/L.
細胞内カリウム濃度 103 mEq/L.
心筋 K-quotient 39.5

図 24

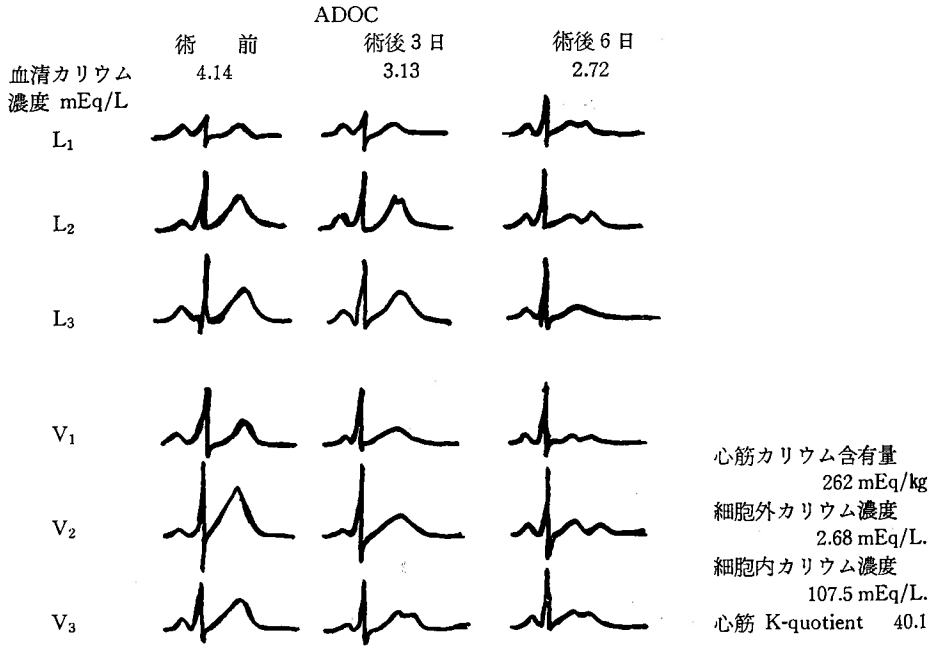
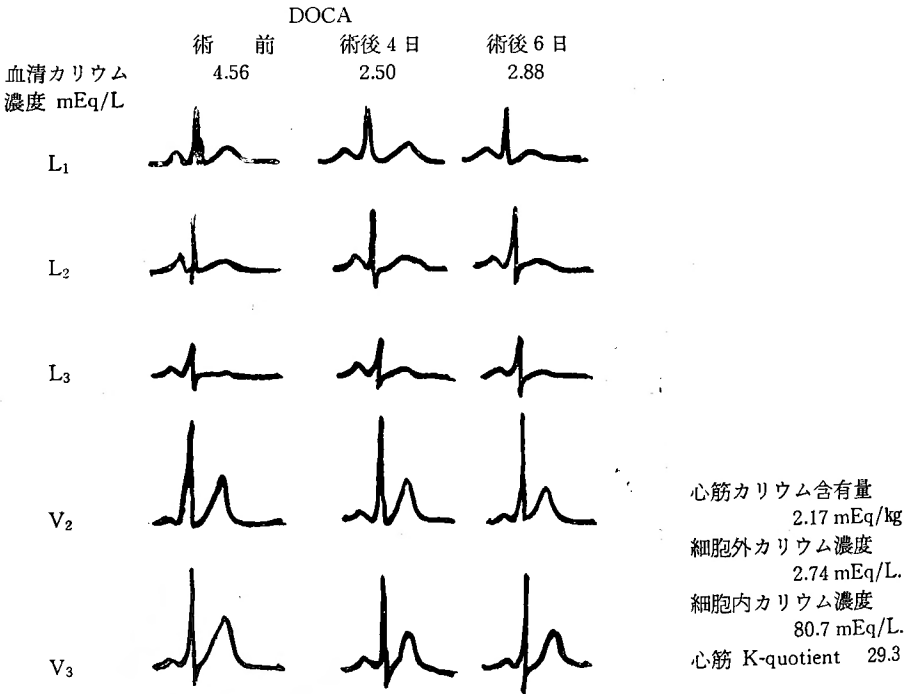


図 25



本例でも血漿カリウム濃度の低下が著明で、心電図所見もT波が著明に低くなり、二相性を呈し、且つU波が出現している。心筋 K-quotient は 40.1 と著明に増加していた。

実験例 No. 23 (図25)

本例では血漿カリウム濃度は著明に低下しているが、心電図所見には特に変化を認めることができなかった。

細胞内・外カリウム濃度は共に低下しており、その結果として心筋 K-quotient は 29.3 と正常範囲内にあったことは興味深い。

以上のように第I群ではカリウム欠乏症を示す心電

図変化が認められなかったのに反して、DOCA 併用群では半数以上に変化が認められた。そして、心電図変化と血漿カリウム濃度との間には、必ずしも平行関係は認められなかった。

心筋細胞内カリウム濃度と心電図変化との関係については図26のように心電図変化を呈しない例に於て細胞内カリウム濃度がむしろ低下する傾向が認められた。心筋 K-quotient は心電図に変化の認められた例では 33.3~43.0 と正常範囲より増加しており、細胞内・外カリウム濃度比にアンバランスのあることを示していた (図27)。

骨格筋細胞内カリウム、骨格筋 K-quotient と心電

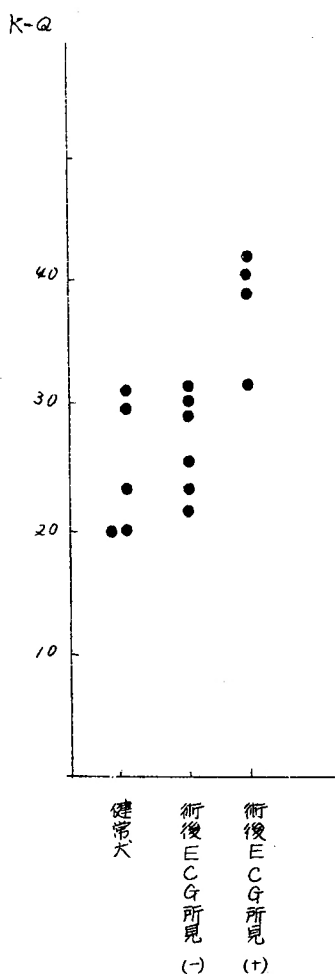


図26 心筋 K-quotient と心電図変化との関係

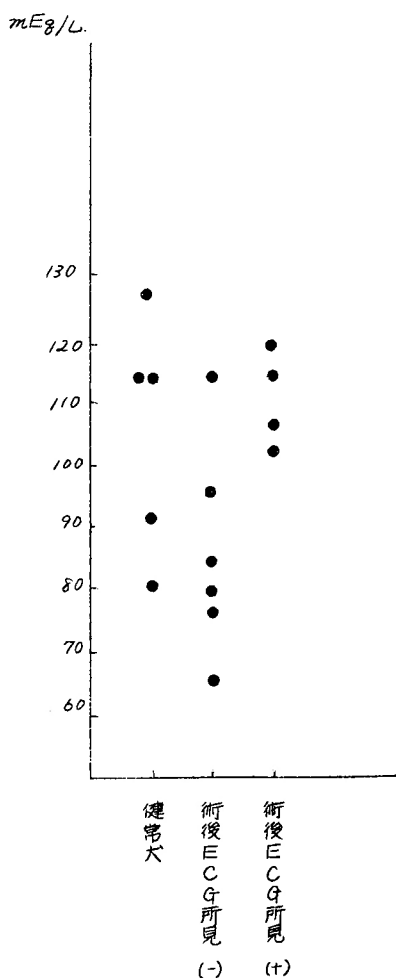


図27 心筋細胞内カリウム濃度と心電図変化

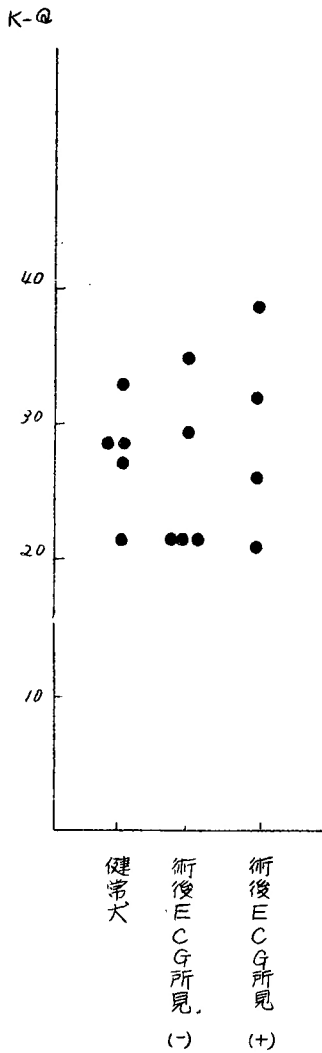


図28 骨格筋 K-g quotient と心電図変化

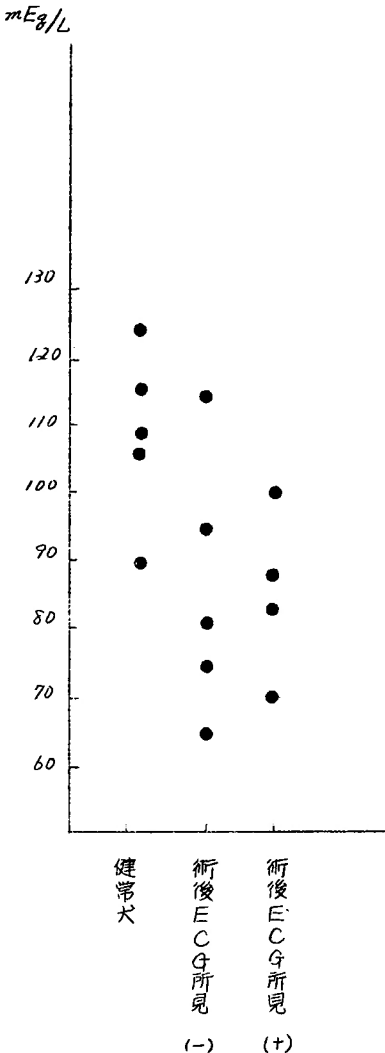


図29 骨格筋細胞内カリウム濃度と心電図変化

図との間には特に平行関係は認められなかつた(図28, 29).

小 括

DOCA 併用群では第 I 群と比較すると、血漿カリウム濃度は著明に低下する傾向が認められ、尿中カリウム排泄も亦促進されることが認められた。しかし組織カリウム含有量では両群の間に特に著しい差違をみいだすことができなかった。

総括並びに考察

1) 血漿カリウム濃度

術後に起る血漿カリウム濃度の変動については、手術侵襲にもとずく組織の破壊によつて、細胞内カリウムが動員されると共に、尿中にもカリウムの排泄が増加すると考えられている。^{24) 25) 26)} われわれの結果では、手術侵襲のみでは血漿カリウム濃度の低下は著明ではなく、正常範囲内の変動に止つたものが多かつたのに反して、DOCA を併用した場合には著明な低下を来した。このことは血漿カリウム濃度の低下には副腎皮質の機能亢進が重要な役割を果していることを示

すものであろう。そして、術後の尿中カリウム排泄が増加し、体組織カリウム含有量が減少しており、しかも、心電図変化にも明らかにカリウム欠乏症の変化が認められるにもかかわらず血漿カリウム濃度が正常範囲内に止まるものがあつたことは、血漿カリウム濃度の測定のみを以て、術後のカリウム欠乏症の診断の指針とすることは不完全であることを示している。

6) 尿中カリウム排泄

術後尿中へのカリウム排泄が増加することは既に報告されている。われわれの結果でも、術後第1日目に最大の排泄を認め、3日目以後には急に減少する傾向が認められた。このような術後のカリウム排泄量の増加は、手術侵襲による組織の破壊が大きい程多量であることが知られているが、単に細胞蛋白の破壊のみに帰因するものではなくて、筋肉や肝臓等からもカリウムが放出されるとの報告もある。われわれの結果によれば、肝臓カリウム含有量は増加する傾向が認められ、他の組織では大体減少する傾向が認められ、単に筋肉のみでなく、心臓、肺、小腸、大腸等の組織カリウムも亦尿中カリウム排泄増加に与かっているものと考えられる。

術後の尿中カリウム排泄が多量であつた群と、比較的少なかつた群との間に、各組織カリウム含有量の差が認められたことは興味深い知見であつて Elman²⁷⁾の報告しているようにカリウムの急激な喪失を来したものに、カリウム欠乏症が発生し易いことと考え併せると、尿中カリウム排泄量の測定は臨床診断上重要な拠点になりうることを示している。

3) 赤血球中カリウム濃度

臨床的にカリウム濃度の変化を追及することができ組織は赤血球のみと考えてもよく、術後に赤血球中カリウム濃度の低下を報告しているものもある。¹²⁾²⁴⁾われわれの結果によれば、むしろ増加する傾向が認められた。しかし犬の赤血球中カリウム濃度は人のそれと異つて非常に低く(人: 87.5mEq/L, 犬: 8.9mEq/L)人間の場合との比較は困難であらうと思われる。

4) 体組織電解質含有量

Winfield³²⁾は、手術直後の損傷筋ではクロール及びナトリウム含有量が増加すると共にカリウム含有量は減少し、遠隔部の骨格筋に於ても軽度ながら同様の傾向が認められたと述べ、葛西³³⁾もまた家兎を用いて同様の傾向が認められたと報告している。われわれも大体同様の傾向を認めた。

心筋カリウム含有量について、葛西³³⁾は手術後増加する傾向があると述べているが、³⁴⁻³⁶⁾本実験ではむしろ少々減小する傾向が認められた。George³⁵⁾も述べているように、心筋は骨格筋に比較して“nonexchangeable”又は“bound”K(固定カリウム)とも称すべきカリウムをより多く含有しているのか、又は心筋カリウムは骨格筋カリウムとは異つた調節をうけているのかも知れない。

肝臓カリウム含有量が他の組織と異つて、術後かえつて増加する傾向が認められたことは、腎臓のそれが一定の傾向を示さなかつたことと共に興味のあることであるが、その意味するところは不明である。両臓器がそれぞれカリウムの主要な貯蔵々器及び排泄臓器であることと何らかの関係があるかもしれない。²⁰⁾²²⁾³⁸⁾

肺臓カリウム含有量は術後増加するという報告³³⁾もあるが、本実験の結果ではこれに反して減少する傾向が認められた。

胃カリウム含有量の減少と、ナトリウム含有量の増加が著明であつたことは、侵襲を直接うけた組織であるからとも考えられるが、小腸及び骨格筋カリウム含有量の減少とともに、カリウム欠乏症の臨床症状²⁵⁾³⁹⁾で、ある所の嘔気、嘔吐、麻痺性イレウス、脱力等と何か関係があるのではないかと想像される。本実験では犬を使用したために以上の症状を客観的に把握することは非常に困難であつたので比較検討することは不可能に近かつた。

脾臓カリウム含有量は著明に減少したが、その理由として、脾臓は胃小腸吻合部に近接しているために、術後に炎症や浮腫を来す可能性が多かつたためとも考えられる。

5) 心電図変化³⁷⁻⁴⁸⁾

心電図に変化を来した例では心筋カリウム濃度はむしろ正常範囲内にあるものが多く、心電図に変化を認めない例ではかえつて減少する傾向が認められた。

骨格筋細胞内カリウム濃度と心電図変化との間には一定の関係が認められなかつた。

心電図の変化と心筋 K-quotient との間に略々平行関係のあることが認められたが、これは、たとえ血漿カリウム濃度が著明に低下しても、心筋細胞内カリウム濃度がそれに伴つて減少していれば、細胞内・外のバランスが保たれて、心筋の機能も略々正常に維持されることを想像させるものである。カリウム欠乏症を示す心電図変化が DOCA 併用群で半数以上に認められたことは、副腎皮質の機能亢進とカリウム欠乏症状

発現との間に密接な関係のあることを推測せしめる。しかもこの副腎機能の亢進は単にカリウム排泄を促進させるのみでなく、体組織の細胞内・外のカリウム平衡を乱す方向にも働いていると考えられる。

以上を要約すると胃切除後の生体内カリウム代謝は次に述べるように変動するものと想像される。即ち、術後生体は血漿カリウム濃度をできるだけ正常に維持しようとして、体組織中のカリウムを動員する。従つて第Ⅰ群に見られたように、体組織カリウム含有量は減少するが血漿カリウム濃度は略々正常に保たれている。しかも細胞内・外のカリウム正衡は正常に保たれているために、カリウム欠乏症状は発現するに至らない。所が、手術を契機として、何等かの原因によつて副腎皮質機能に異常亢進が発生すると、第Ⅱ群で認められたように、体組織はカリウムを動員してもその急速な排泄を代償することができず、血漿カリウム濃度は低下し、一方細胞内・外カリウム平衡は破綻を来たし、遂にカリウム欠乏症状が出現するに至るものと考えられる。このように単に組織のカリウム含有量が減少するだけでなく、その過程において、細胞内・外のカリウム濃度にアンバランスを来すことがカリウム欠乏症の発現には重要な条件となる。しかし、臨床的には細胞内・外のカリウム平衡を直接に測定する方法は現在の所殆んど不可能と考えられるので、尿中カリウム排泄量、心電図、血漿カリウム濃度を測定して、これを総合して考察することによつて、比較的早期に診断ができるものとする。

結 論

1) 胃切除後は本組織カリウム含有量は一般に減少し、ナトリウム及びクロール含有量は増加する傾向が認められたが、各組織の反応は必ずしも一定せず。

④ 肝臓ではカリウム含有量は増加する傾向が認められた。

⑤ 心筋カリウム含有量は骨格筋に比較して減少が軽度であつた。

⑥ 骨格筋、胃、小腸及び脾臓のカリウム含有量の低下と、胃及び小腸のナトリウム含有量の増加が特に著名であつた。

⑦ DOCA を術後に併用すると、体組織カリウム及びナトリウム含有量に特に著明な差違は認められなかつたが、尿中カリウム排泄量及び血漿カリウム濃度の変動が著明に認められた。

2) 血漿カリウム濃度のみでは、体組織カリウム含

有量の状態を推測することはできなかつた。

3) 細胞内・外カリウム平衡を直接測定することのできない現在では、尿中カリウム排泄量、心電図、血漿カリウム濃度の測定結果を総合して判定することが最も確実にカリウム欠乏症を診断する拠点になるものとする。

稿を終るに臨み、終始御懇切な御指導をいただいた緒方武博士に心から感謝の意を表すと共に、種々御援助下さつた外科教室員各位に深謝いたします。

文 献

- 1) Hoffman, W.S.: Clinical physiology of potassium. J. A. M. A., **144**, 1157, 1950.
- 2) Kühns, K.: Zur Bestimmung der intra- und extracellulären Kalium- und Natrium-Konzentrationen in Herz- und Skelettmuskulatur. Hoppe-Seyler's Z. Physiol. Chem., **298**, 278, 1954.
- 3) 斎藤正行: 焰光光度計、光電比色計による臨床化学検査. 229, 南山堂, 1952.
- 4) 福島昭三: 炎光分光光度法の近況(綜説). 化学の領域. **11**, 669, 1957.
- 5) 石田良平: 焰光分光分析法(1). 化学の領域. **8**, 163, 1954.
- 6) 石田良平: 焰光分光分析法(2). 化学の領域. **8**, 239, 1954.
- 7) 柴田 進: 電解質代謝の検査法, 特に Na, K, Cl 及び HCO_3 の定量法について. 臨床病理, **3**, 177, 1955.
- 8) 藤井暢三: 生化学実験法, 定量篇. 99, 南山堂, 1933.
- 9) 高木善三郎: 血球の Na, K, 代謝の研究. 第一報, 心腎疾患に於ける血球内 Na, K, 濃度. Jap. Circulation, **22**: 739, 1959.
- 10) Kühns, K. und Müller, G.: Ergebnisse und Fehlerquelle der flammenphotometrischen K- und Na-Analysen in Serum und Organen mit einem modifizierten Apparat von B. Lange. diess Z., **294**, 86, 1954.
- 11) Sunderman, F. W. & Williams, D.: The analysis of chloride in tissues. J. Biol. Chem., **102**, 279, 1933.
- 12) Eliel, L.P., Pearson, O. H. and Rawson, R.N.: Postoperative potassium deficit and metabolic alkalosis. New England J. Med., **243**, 471, 1950.
- 13) Bellet, S., Nadler, C. S. et al.: Effect of vomiting due to intestinal obstruction on the serum potassium. Gastroenterology, **12**, 49, 1949.
- 14) Bellet, S., Steiger, W. A. and Nadler, C. S.: Electrocardiographic patterns in hypokalaemia: Observation on 79 patients. Am. J. Med. Science, **219**, 542, 1950.

- 15) Bellet, S. and Finkelstein, D. : Significance of QT prolongation in the electrocardiogram: Based on the study of 168 cases. *Am. J. Med. Science.* **222**, 265, 1951.
- 16) Surawicz, B. and Lipeschkin, E. : The electrocardiographic pattern of hypopotassemia with and without hypocalcemia. *Circulation*, **8**, 801, 1953.
- 17) 緒方 武; 外科領域に於るけカリウム欠乏症の心電図学的診断について. *総合臨床*, **7**, 875, 1958.
- 18) Howell, D. S. and Davis, J. O. : Relationship of sodium retention to potassium excretion by the kidney during administration of Desoxycorticosterone Acetate to dogs. *Am. J. Physiol.*, **179**, 359, 1954.
- 19) 渋谷喜守雄: 電解質と臨床, 外科領域から. 共同医書, 1953.
- 20) 飯島 登: 電解質の代謝. *日外会誌*, **51**, 715, 1951.
- 21) Fenn, W.O. and Gerschman, R. : The loss of potassium from frog nervous in anoxia and other condition. *J. gen. Physiol.*, **33**, 195, 1950.
- 22) Davis, A. L., Bass, A. C. and Overman, R. R. : Comparative effects of cortison and DCA on ionic balance and fluid volumes of normal and adrenalectomized dogs. *Am. J. Physiol.*, **166**, 493, 1951.
- 23) Robertson, W. V. B. and Dunihne, F. W. : Water and electrolyte distribution in cardiac muscle. *Am. J. Physiol.*, **177**, 292, 1952.
- 24) 渋谷喜守雄: ストレスと代謝. *最新医学*, **104**, 260, 1955.
- 25) Lans, H.S. et al. : Diagnosis, treatment and prophylaxis of potassium deficiency in surgical patients, *Surg. Gynec. and Obst.*, **95**, 421, 1952.
- 26) Pearson, O. H. & Eliel, L. P. : Postoperative alkalosis and potassium deficiency. *J. clin. Invest.*, **28**, 803, 1949.
- 27) Elman, R. et al. : Intracellular and extracellular potassium deficits in surgical patients. *Ann. Surg.*, **136**, 111, 1952.
- 28) Elman, R. et al. : Minimum postoperative maintenance requirement for parenteral water, sodium, potassium, chloride and glucose. *Ann. Surg.*, **130**, 703, 1949.
- 29) Collier, F. A. et al. : Translocation of fluid produced by the intravenous administration of isotonic salt solution in man postoperatively. *Ann. Surg.*, **122**, 663, 1945.
- 30) Aronstam, E. M. et al. : Body fluid shifts, sodium and potassium metabolism in patients undergoing thoracic surgical procedures. *Ann. Surg.*, **137**, 316, 1953.
- 31) 渋谷喜守雄: 外科と内分泌. *日本外科全書* 26巻 1, 155, 南山堂, 1955.
- 32) Winfield, J. M. et al. : Etiologic factors in postoperative salt retention and its prevention. *Ann. Surg.*, **134**, 626, 1951.
- 33) 葛西森夫: 手術後低 Na, 低 Cl 血症についての臨床的並びに実験的研究. 特に組織電解質との関係及び電解質投与の影響. *日外会誌*, **57**, 467, 1956.
- 34) Schwartz, R., Cohn, J. and Wallase, W. H. : Distribution of injected potassium salts in tissues of the potassium deficient rat. *Am. J. Physiol.*, **182**, 39, 1955.
- 35) George, S. St. et al. : Influence of potassium deprivation of the myocardium. *Am. J. Physiol.*, **181**, 550, 1955.
- 36) Roseman, R.H. et al. : Effect of varying dietary potassium upon the blood pressure of hypertensive rats. *Am. J. Physiol.*, **175**, 386, 1953.
- 37) 吉利 和: 心筋の電解質代謝について. *日循*, **29**, 353, 1956.
- 38) 園田健二: 外科的胃疾患のカリウムに関する研究. *熊本医誌*, **33**, 268, 1959.
- 39) Holley, H.L. and Carlson, W. W. : Potassium metabolism in Health and Disease. Grune & Stratton. 1955.
- 40) Currens, J.H. and Crauford, J. D. : The electrocardiogram and disturbance of potassium metabolism. *New Engl. J. Med.*, **243**, 843, 1950.
- 41) Ljunggren, H., Luft, R. and Sjogren, B. : The electrocardiogram and potassium metabolism during administration of ACTH, Cortison, and Desoxycorticosterone acetate. *Am. Heart J.*, **45**, 216, 1953.
- 42) 沢藤滝治: 実験的低および高カリウム血症と腎機能. *日循*, **23**, 1106, 1959.
- 43) Reynolds, T. B., Martin, H. E. and Homan, R. E. : Serum electrolyte and the electrocardiogram. *Am. Heart J.*, **42**, 671, 1951.
- 44) Kanosky, S.A. et al. : Relationship of the electrocardiogram to the content of red blood cells. *Circulation*, **20**, 717, 1959.
- 45) Bellet, S. : The electrocardiogram in electrolyte imbalance. *Arch. Int. Med.*, **96**, 257, 1955.
- 46) Kühns, K. : Ueber den Einfluss des Kalium Ions auf Elektrokardiogram und Herzsystemdauer. *Z. Kreislaufforschg.*, **44**, 4, 1955.
- 47) Ogata, T. : The electrocardiographic changes after gastrectomy especially its relation to the potassium depletion. *Arch. Japan. Chir.*, **26**, 669, 1957.
- 48) Schwartz, W. B. et al. : The electrocardiogram in potassium depletion. *Am. J. Med.*, **16**, 395, 1954.