

低体温麻酔および低温下手術における電解質の変動に関する実験的研究

第 2 編

低温下手術における電解質の変動に関する実験的研究

岡山大学医学部第二外科(主任：前 津田誠次名誉教授)
現 砂田輝武教授)

水 島 正 俊

[昭和34年4月22日受稿]

内 容 目 次

第1章 緒 言

第2章 実験材料並びに方法

第3章 実験成績

A) 常温手術群

- 1) 術後血清 Na, Cl, K 濃度の変動
- 2) 術後尿中 Na, Cl, K 排泄量
- 3) 組織水分量
- 4) 組織 Na, Cl, K 含有量

B) 低温手術群

- 1) 術後血清 Na, Cl, K 濃度の変動
- 2) 術後尿中 Na, Cl, K 排泄量
- 3) 組織水分量
- 4) 組織 Na, Cl, K 含有量

第4章 総括並びに考按

第5章 結 論

第1章 緒 言

1950年 Bigelow¹⁾~⁴⁾, Hegnauer⁵⁾~⁷⁾ などが低体温法の研究に先鞭をつけ、1953年に至つて Lewis & Taufic⁸⁾, および Swan⁹⁾~¹²⁾ らが低体温法を心臓外科領域に応用し、成功して以来、その適応領域が次第に拡大され、今日ではシヨツク防止対策など外科臨床にも用いられるようになった。低温麻酔に関しては、ここ数年來多数の基礎的、臨床的研究が報告されている。ことに心臓血管外科の方面では切実な必要性から、むしろ早期に応用されてきた観があり、ここに当然その限界も漸次明かにされ、その長所、欠点なども次第に明瞭になりつつある。このような低体温という特殊状態を手術に利用する主な目的は、低温により生体の低酸素症に対する抵抗力の増大を図り、物質代謝を低下せしめ、あるいは異常反応を抑制して有利に導こうとするもので、すなわち生体の保護的防禦を目的としたものであるが、むしろ低温自体が Stressor として生体にかなり重大な影響をあたえることが考えられる。したがつて低温下手術では低温ストレスにさらに手術というストレスが負荷されるので従来の一般麻酔下における手術侵襲とは、生体に及ぼす影響が異

つてくる。

従来一般麻酔下における手術侵襲の生体に及ぼす影響として、術後の水分、電解質代謝に関する研究は多数報告されている¹³⁾~¹⁶⁾。しかし低温下手術後における電解質の変動に関してはあまり報告例なく、ただ臨床例において Poor risk に対して応用した Albert (1957)¹⁷⁾, 岡村 (1958)¹⁸⁾ などの報告があるに過ぎない。なお低温麻酔適応の拡大にともない、その補液問題からも低温下術における電解質の変動を検討することは意義あるものと考ええる。

本実験は動物実験で常温麻酔手術群と低温麻酔手術群の2群に分け、術後の血清 Na, Cl, K 濃度、尿中 Na, Cl, K 排泄量、組織水分量および組織 Na, Cl, K 含有量を測定し、この面より両侵襲群に対する生体反応を比較検討してみた。

第2章 実験材料並びに方法

実験材料は体重10kg前後の健康成犬を使用し、侵襲の種類により常温手術群と低温手術群の2群に分けて実験を行つた。なお手術侵襲の著しい影響をさけ、主として常温および低温麻酔の差をみるため簡単な腸切除術を行つた。また術中ことに術後は輸液困難なた

め補液を行わず、一定の飼料を与え条件をつとめて同じにした。

A) 常温手術群: ラボナール導入により気管内挿管を行い、関鎖循環式麻酔器に連結し、エーテル麻酔下に、無菌的に腸切除術を行った。

B) 低温手術群: 前編と同じくラボナール導入によるエーテル気管内麻酔を行い、麻酔深度が第Ⅲ期Ⅱ相になったところで、犬の体部を氷水中に浸漬し (Immersion method), 直腸温28°Cまで冷却後、無菌的に腸切除術を行い、40~43°C の湯にて再加温を行った。

そしてこれら2群について術後7日間の血清 Na, Cl, K 濃度および尿中 Na, Cl, K 排泄量を測定し、また別個の2群について術後4日目の組織水分量および Na, Cl, K 含有量を測定した。それぞれの材料採取法および測定法は以下のごとくである。

1) 血清 Na, Cl, K 濃度

前項の2群についてそれぞれ5例実験を行った。すなわち術前と術後7日間にわたり、1日1回早朝時下腿静脈より約 10cc 採血し、直に血清を分離して血清中 Na, Cl, K の濃度を測定した。

測定法: 前編と同じ方法によつた。すなわち Na, K は Coleman (Model-21) 火焰比色計¹⁹⁾ を用い、Cl は Schales & Schales²⁰⁾ 法により測定した。

2) 尿中 Na, Cl, K 濃度

前項と同じ実験例について行つたが、犬の採尿、ことに尿量測定は困難なため、雄犬を選び予め飼育して馴らし朝夕2回、時間をきめて採尿し (採尿困難なときは導尿、膀胱穿刺により採尿)、1日量と尿中 Na, Cl, K 濃度を測定して排泄量を求めた。なお犬では術後の輸液困難なため、飼料および飲水の量を一定に与え、つとめて条件を同じようにした。

測定法: Na, Cl, K 濃度の測定は前項と同じ方法にて行つた。

3) 組織水分量並に組織 Na, Cl, K 含有量

健康成犬を使用し、常温麻酔および低温麻酔下手術の2群に分け、それぞれ5例づつ実験を行った。すなわち手術時、腸、肝臓および筋肉の小片を採取し、対照として利用し、侵襲後4日目に下腿静脈よりラボナールを急速に注入して屠殺し直ちに解剖して肺臓、心臓、肝臓、筋肉、脳、次いで腸の順に各々約2gづつ小片を採取した。腸以外の各組織片は採取するや直ちに附着した血液を濾紙で軽く吸いとり素早く秤量瓶中におさめ秤量した。腸は5%葡萄糖液にて粘膜を洗滌し

濾紙で清拭、同様処理して実験に供した。なお肺臓、心臓、脳の対照を得るために、別に成犬5例を選びラボナールにより屠殺し3臓器から組織を採取して参考とした。

測定法: 組織水分量は採取組織片の入っている秤量瓶を110°Cの恒温器内で48時間乾燥し、その前後の重量差より生重量に対する%をもつて表わした。組織 Na, Cl, K の測定は前編と同じく湿性灰化法²¹⁾ により行い、Na, K は Coleman 火焰比色計を用いて測定し、Cl は Schales & Schales 法によつて測定した。

第3章 実験成績

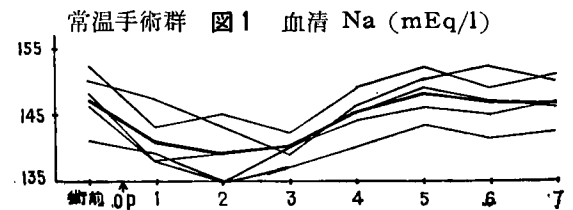
A) 常温手術群

1) 術後血清 Na, Cl, K 濃度の変動

血清 Na 濃度: 術後血清 Na 濃度の変動は表1、図1のごとく、全例とも減少の傾向あり、術後1~2日頃最低値を示し、後次第に増加し、大体5~6日後

常温手術群 表1 Na(mEq/l)

番号	体重 kg	術前	術後						
			1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
25	9	150	147	143	139	146	150	152	150
27	11	141	139	134	137	140	143	141	142
28	8	148	138	135	140	145	149	147	146
30	12	146	138	139	140	144	146	145	147
31	14	152	143	145	142	149	152	149	151
平均値		147	141	139	140	145	148	147	147



に術前値に復した。

血清 Cl 濃度: 術後血清 Cl 濃度の変動は表2、図2のごとく、大体 Na 濃度と併行し、術後低下を示し、大体4~5日後に術前値に復し、以後多少の増減を示し7日後頃に安定した。

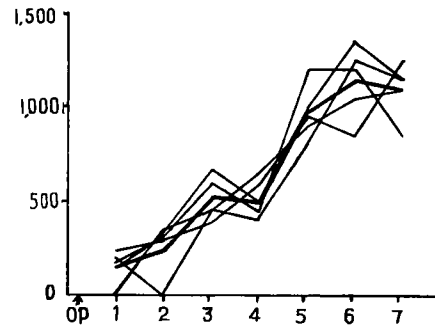
血清 K 濃度: 術後血清 K 濃度の変動は表3、図3のごとく、全例増加を示し、術後4日目に一度術前値に復し、後また増加し、7日以降術前値に安定した。

2) 術後尿中 Na, Cl, K 排泄量

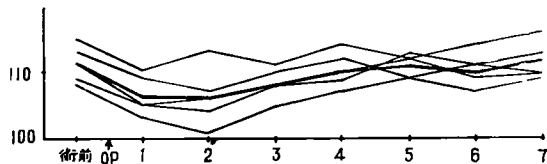
常温手術群 表2 血清 Cl(mEq/l)

番号	体重 kg	術前	術後						
			1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
25	9	109	105	106	108	109	113	111	110
27	11	108	103	101	105	107	109	107	109
28	8	113	109	107	110	112	109	111	113
30	12	111	105	104	108	110	112	109	110
31	14	115	110	113	111	114	112	114	116
平均値		111	106	106	108	110	111	110	112

常温手術群 図4 尿量



常温手術群 図2 血清 Cl (mEq/l)



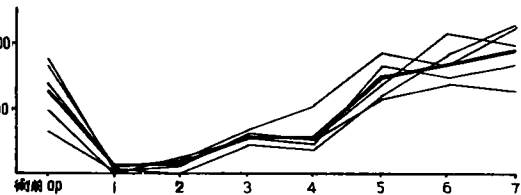
常温手術群 表4 術後尿中 Na 排泄量(mEq/l)

番号	体重 kg	術前	術後						
			1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
25	9	172.7	9.4	—	43.9	36.8	119.8	180.0	223.4
27	11	95.2	—	24.5	52.3	47.6	163.0	146.5	166.3
28	8	138.4	15.8	14.6	58.7	55.3	165.4	210.3	195.4
30	12	163.4	12.6	21.3	65.8	103.5	183.1	166.5	221.0
31	14	65.0	8.0	13.5	61.0	54.4	111.5	137.2	126.4
平均値		126.9	11.5	18.5	56.3	59.5	148.6	168.1	186.5

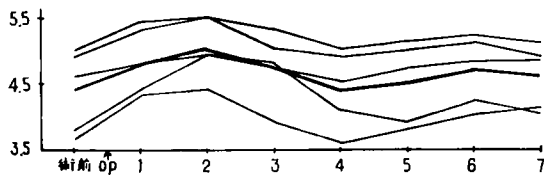
常温手術群 表3 血清 K(mEq/l)

番号	体重 kg	術前	術後						
			1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
25	9	4.6	4.8	4.9	4.7	4.5	4.7	4.8	4.8
27	11	3.7	4.3	4.4	3.9	3.6	3.8	4.0	4.1
28	8	3.8	4.4	4.9	4.8	4.1	3.9	4.2	4.0
30	12	4.9	5.3	5.5	5.0	4.9	5.0	5.1	4.9
31	14	5.0	5.4	5.5	5.3	5.0	5.1	5.2	5.1
平均値		4.4	4.8	5.0	4.7	4.4	4.5	4.7	4.6

常温手術群 図5 術後尿中 Na 排泄量 (mEq/day)



常温手術群 図3 血清 K(mEq/l)



術後尿量は図4のごとくで、術中、術後輸液を行っていないので、術後1日目は尿量極めて少く、24時間尿は、0~250cc 排泄量を示し、飼料摂取とともに増加し、術後5日以降尿量急激に増加した。

尿中 Na 排泄量：術後尿中 Na 排泄量は表4、図5のごとく、術前(手術前日を意味する)は65.0~172.7 mEq/day の排泄量を示しているが、輸液を行っていないので、尿量減少に一致して、術後1~2日目は著しい減少を示し、尿量増加とともに次第に

Na 排泄量も増加し、5日目頃から急激に増加を示した。

尿中 Cl 排泄量：術後尿中 Cl の排泄量も、表5、図6のごとく、大体 Na 排泄量と並行している。しかし渋沢²²⁾、Elman²⁸⁾ などの言うごとく、術後数日は Cl 排泄量は Na 排泄量より多く、Cl/Na 比をみるに、図7のごとく、術後1~3日間は Cl/Na 比は 1.0 を越すものが多い。この高値は数日間持続し、術後4~5日目より減少し、次第に術前値に復した。

尿中 K 排泄量：術後尿中 K 排泄量も、表6、図8のごとく、術前日は15.6~49.5 mEq/day にして、術後1~2日目は高濃度を示すも、尿量減少のため、排泄量は低下している。術後5日目頃より術前日に比し、尿量増加にかかわらず、次第に減少傾向を示している。

このK排泄量を Na 排泄量と比較するに、図9のごとく、その K/Na 比は術後3日まで高値を示し、5日以降急に低下し術前値以下に低下した。すなわち術後1~3日はK排泄量が Na 排泄量よりも多く、5日以降は Na に比しK排泄の非常に少ない時期があることを示している。

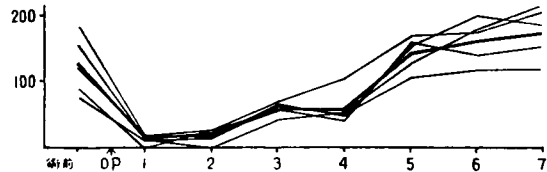
3) 組織水分量

常温手術群5例から対照にする筋肉、腸、肝臓と、術後4日目の各臓器組織を採取し、別に成犬5例を選

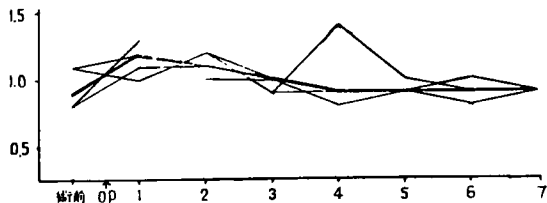
常温手術群 表5 術後尿中 Cl 排泄量(mEq/day)

番号	体重 kg	術前	術 後						
			1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
25	9	153.5	12.6	—	41.3	52.5	126.1	178.4	215.3
27	11	89.2	—	26.1	56.4	40.7	158.6	139.3	150.2
28	8	119.5	18.4	16.2	64.1	47.4	152.0	198.5	183.5
30	12	180.1	13.7	26.5	68.1	101.3	167.8	174.0	206.5
31	14	73.5	10.3	15.4	60.3	50.6	104.3	115.7	116.7
平均値		123.2	13.8	21.1	58.0	58.5	141.8	161.2	174.4

常温手術群 図6 術後尿中 Cl 排泄量 (mEq/day)



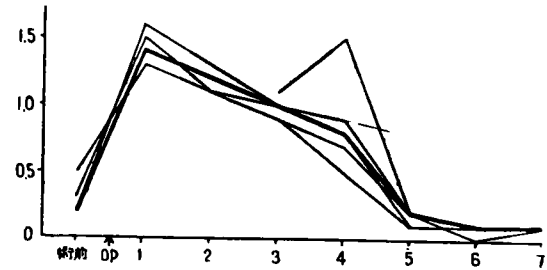
常温手術群 図7 術後尿中 Cl/Na 比の変動



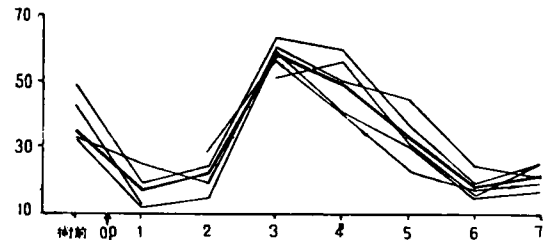
常温手術群 表6 術後尿中 K 排泄量(mEq/day)

番号	体重 kg	術前	術 後						
			1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
25	9	42.8	13.5	—	51.7	56.0	31.4	16.0	19.8
27	11	15.6	—	29.1	56.4	40.2	23.4	17.5	21.5
28	8	33.2	25.4	19.4	60.5	50.2	44.2	24.5	25.3
30	12	49.5	19.5	24.5	63.6	59.4	36.5	19.0	16.7
31	14	32.8	10.5	15.6	58.9	40.5	30.2	18.5	21.7
平均値		34.8	17.2	22.2	58.2	49.3	15.4	33.1	25.3

常温手術群 図8 術後尿中K排泄量 (mEq/day)



常温手術群 図9 術後尿中 K/Na 比の変動



び、肺臓、心臓、脳の各組織片を得て対照とし組織水分量を比較検討した。組織水分量は表7に示すごとく、術後4日目の筋肉、肝臓、腸においては対照に比較し明かに水分の増加を認めた。

4) 組織 Na, Cl, K 含有量

前項と同じ実験例にて組織 Na, Cl, K 含有量を測定したが、詳細の成績については Na は表8, Cl は表9, K は表10にそれぞれ示した。また各例の平均値および標準偏差を一括して表11に示しわかり易くした。すなわち術後4日目の筋肉、腸、肝臓においては Na, Cl ともに増加し、Kは減少の傾向を示し明かに有意の差を認めた。

B) 低温手術群

1) 術後血清 Na, Cl, K 濃度の変動

血清 Na 濃度：術後血清 Na 濃度の変動は表12、図10のごとく、軽度の減少傾向あり、術後2~3日頃最低値を示し、4日目頃大体冷却前値に復し、以降多少の増減を示し7日頃安定した。

血清 Cl 濃度：術後血清 Cl 濃度の変動は表13、図11のごとく、大体 Na 濃度と平行し、術後低下を示し、4日目頃に冷却前値に復した。

血清K濃度：術後血清K濃度の変動は表14、図12のごとく、術後わずかに増加の傾向を示し、4日目に一応冷却前値に復し、後やや増加の傾向を示し、7日後冷却前値に安定した。

すなわち、術後血清 Na, Cl, K の変動は大体正常範囲を示し著しい動揺は認められない。

表7 組織水分量

常温手術群								常温手術群対照例					
番号	体重 kg	筋肉	肝臓	腸	肺臓	心臓	脳	番号	体重 kg	肺臓	心臓	脳	
33	8	対照	75.0	73.6	82.0	—	—	—	32	11	79.9	78.9	77.1
		術後	76.0	73.1	84.5	80.8	78.0	79.4	34	9	78.0	79.3	77.0
35	13	対照	76.1	71.4	79.1	—	—	—	36	12	79.7	77.2	78.9
		術後	78.4	72.5	82.1	78.8	78.4	76.5	39	10	78.2	77.0	79.0
38	11	対照	76.0	71.5	82.1	—	—	—	41	13	79.5	79.1	79.1
		術後	77.8	73.2	84.8	78.7	75.7	78.2	平均値 79.1±0.6 78.3±1.0 78.2±0.9				
40	14	対照	76.4	74.0	81.8	—	—	—	※印は常温手術群対照例を 代入した。				
		術後	79.1	76.1	82.9	79.8	78.2	78.1					
42	9	対照	74.9	73.9	79.4	—	—	—					
		術後	76.2	75.2	82.2	80.6	78.1	76.8					
平均値		対照	75.7±0.6	72.9±1.4	80.9±1.3	※79.1±0.6	※78.3±1.0	※78.2±0.9					
		術後	77.6±1.1	74.0±1.2	83.0±1.1	79.7±0.9	77.0±1.3	77.8±1.1					

表8 組織Na含有量

常温手術群								常温手術群対照例					
番号	体重 kg	筋肉	肝臓	腸	肺臓	心臓	脳	番号	体重 kg	肺臓	心臓	脳	
33	8	対照	83	114	89	—	—	—	32	11	136	116	130
		術後	108	133	120	142	114	128	34	9	128	97	109
35	13	対照	98	120	118	—	—	—	36	12	109	109	142
		術後	119	144	129	133	93	105	39	10	93	82	127
38	11	対照	72	93	73	—	—	—	41	13	115	80	115
		術後	99	111	104	115	106	139	平均値 116±15 97±14 125±12				
40	14	対照	92	136	102	—	—	—	※印は常温手術群対照例を 代入した。				
		術後	115	154	136	121	81	125					
42	9	対照	67	88	95	—	—	—					
		術後	85	115	86	99	76	118					
平均値		対照	82±12	110±14	95±15	※116±15	※97±14	※125±12					
		術後	105±12	131±16	115±14	122±15	94±14	123±11					

表9 組織Cl含有量

常温手術群								常温手術群対照例					
番号	体重 kg	筋肉	肝臓	腸	肺臓	心臓	脳	番号	体重 kg	肺臓	心臓	脳	
33	8	対照	95	109	121	—	—	—	32	11	136	115	127
		術後	109	128	141	139	118	128	34	9	146	121	113
35	13	対照	113	124	118	—	—	—	36	12	125	104	135
		術後	135	143	137	147	116	110	39	10	115	109	117
38	11	対照	82	111	107	—	—	—	41	13	128	98	118
		術後	105	130	120	135	102	131	平均値 130±10 109±8 122±8				
40	14	対照	101	105	95	—	—	—	※は常温手術群対照例を 代入した。				
		術後	119	126	116	124	109	115					
42	9	対照	86	135	89	—	—	—					
		術後	103	151	105	131	91	109					
平均値		対照	95±11	117±11	106±12	※130±10	※109±8	※122±8					
		術後	115±9	136±10	129±15	135±8	107±10	119±9					

表10 組 織 K 含 有 量

常温手術群								常温手術群対照例					
番号	体重 kg		筋肉	肝 臓	腸	肺 臓	心 臓	脳	番号	体重 kg	肺 臓	心 臓	脳
33	8	対照	262	316	230	—	—	—	32	11	240	251	327
		術後	253	285	211	245	230	311					
35	13	対照	283	253	229	—	—	—	34	9	227	235	315
		術後	271	239	203	233	249	324					
38	11	対照	270	255	268	—	—	—	36	12	216	222	332
		術後	259	255	243	214	253	329					
40	14	対照	228	272	262	—	—	—	39	10	232	256	305
		術後	215	271	240	220	216	298					
42	9	対照	258	299	231	—	—	—	41	13	257	235	295
		術後	241	229	215	269	238	293					
平均値		対照	260±18	279±25	244±17	※234±14	※240±12	※315±14	平均値		234±14	240±12	315±14
		術後	248±19	256±20	222±16	236±20	237±13	311±14					

※は常温手術群対照例を
代入した。

表11 組 織 水 分 量 お よ び Na, Cl, K 含 有 量 一 括 成 績

	水 分 量		Na		Cl		K	
	対 照	術 後	対 照	術 後	対 照	術 後	対 照	術 後
筋 肉	75.7±0.6	77.6±1.1	82±12	105±12	95±11	155±9	260±18	248±19
肝 臓	72.9±1.4	74.0±1.2	110±14	131±16	117±11	136±10	279±25	256±20
腸	80.9±1.3	83.0±1.1	95±15	115±14	106±12	129±15	244±17	222±16
肺 臓	79.1±0.6	79.7±0.9	116±15	122±15	130±10	135±8	234±14	236±20
心 臓	78.3±1.0	77.0±1.3	97±14	94±14	109±8	107±10	240±12	237±13
脳	78.2±0.9	77.8±1.1	125±12	123±11	122±8	119±9	315±14	311±14

表12 血 清 Na (mEq/l)
低温手術群

番 号	体 重 kg	冷 却 前	冷 却 28° C	術 後						
				1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
43	8.5	147	147	151	144	141	147	145	144	147
45	10	143	143	140	141	142	143	140	141	142
57	12	144	143	136	139	142	145	147	149	145
50	9.5	152	152	148	146	145	148	152	153	154
51	11	149	151	148	145	147	150	148	148	150
平均値		147	147	145	143	143	147	147	147	148

低温手術群 図10 血 清 Na(mEq/l)

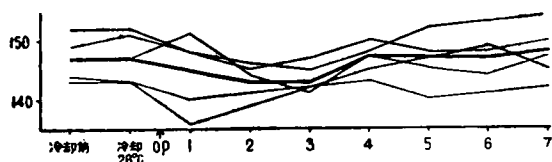
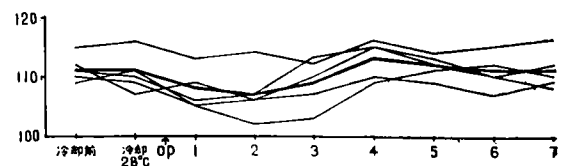


表13 血 清 Cl (mEq/l)
低温手術群

番 号	体 重 kg	冷 却 前	冷 却 28° C	術 後						
				1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
43	8.5	110	109	105	106	107	110	109	107	109
45	10	112	107	109	106	110	115	113	110	112
47	12	111	110	106	107	113	115	112	110	108
50	9.5	109	111	105	102	103	109	111	112	110
51	11	115	116	113	114	112	116	114	115	116
平均値		111	111	108	107	109	113	112	111	111

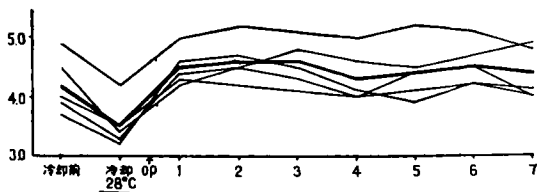
低温手術群 図 11 血 清 Cl(mEq/l)



低温手術群 表14 血清 K(mEq/l)

番号	体重 kg	冷却前	冷却 28°C	術 後						
				1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
43	8.5	4.5	3.4	4.2	4.5	4.8	4.7	4.5	4.7	4.9
45	10	3.9	3.3	4.4	4.5	4.3	4.0	4.4	4.5	4.0
47	12	3.7	3.2	4.6	4.7	4.5	4.1	3.9	4.2	4.0
50	9.5	4.0	3.5	4.3	4.2	4.1	4.0	4.1	4.2	4.1
51	11	4.9	4.2	5.0	5.2	5.1	5.0	5.2	5.1	4.8
平均値		4.2	3.5	4.5	4.6	4.6	4.3	4.4	4.5	4.4

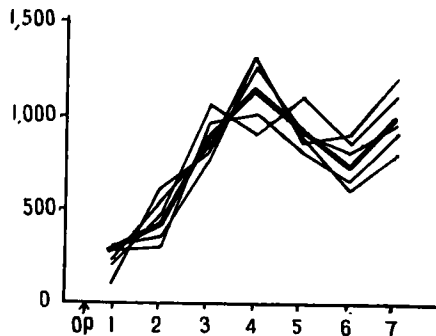
低温手術群 図12 血清 K(mEq/l)



2) 術後尿中 Na, Cl, K 排泄量

術後尿量は図13のごとくで、常温手術群と同じく、術中、術後輸液を行っていないので、術後1日目は尿量極めて少く、24時間尿は100~350ccの排泄量を示し、飼料摂取とともに増加し、3~4日目に急激に増量した。以降は摂食量に影響して増減し、正常尿量を示した。

低温手術群 図13 尿 量



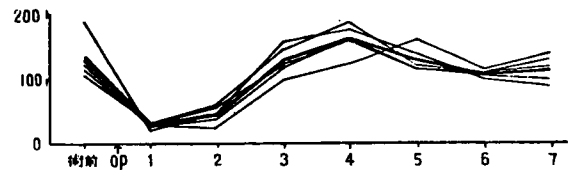
尿中 Na 排泄量：術後尿中 Na 排泄量は表15、図14のごとく、術前日は105.2~186.0 mEq/dayの排泄量を示していたが、輸液を行っていないので、術後1~2日は尿量減少とともに、Na 排泄量も著しい減少を示している。以後尿量増加と併行して増加し、4日後には術前値より増加の傾向を示している。

尿中 Cl 排泄量：術後尿中 Cl 排泄量も表16、図15

低温手術群 表15 術後尿中 Na 排泄量(mEq/day)

番号	体重 kg	術前	術 後						
			1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
43	8.5	105.2	30.8	60.1	142.3	183.4	120.0	108.0	116.3
45	10	120.0	24.0	38.3	115.4	158.2	112.0	101.0	96.2
47	12	186.0	20.0	45.6	153.6	171.4	135.3	96.0	84.5
50	9.5	111.3	29.6	56.4	119.4	155.6	112.3	108.2	124.0
51	11	125.1	26.8	25.8	98.8	120.5	156.5	112.2	135.6
平均値		129.5	26.2	45.2	125.9	157.8	127.2	105.1	111.3

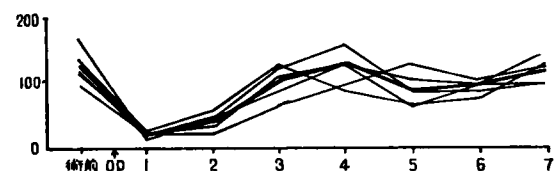
低温手術群 図14 術後尿中Na排泄量(mEq/day)



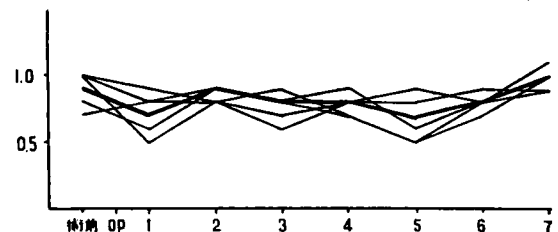
低温手術群 表16 術後尿中 Cl 排泄量 (mEq/day)

番号	体重 kg	術前	術 後						
			1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
43	8.5	113.0	26.6	55.7	125.5	138.7	66.3	78.3	127.8
45	10	95.6	21.0	32.5	108.4	126.2	65.7	90.5	93.0
47	12	163.3	13.5	45.3	124.5	159.2	84.5	86.0	97.8
50	9.5	114.3	15.4	49.6	87.6	124.6	102.4	96.5	143.1
51	11	132.7	25.6	21.1	64.3	98.0	126.2	104.0	125.2
平均値		123.8	20.4	40.8	102.1	129.3	89.0	91.1	117.4

低温手術群 図15 術後尿中 Cl 排泄量 (mEq/day)



低温手術群 図16 術後尿中 Cl/Na 比の変動



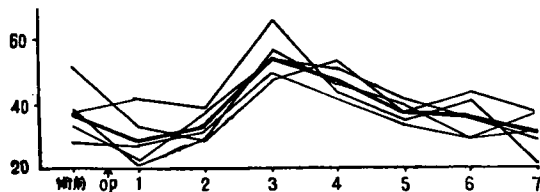
のごとく、大体 Na 排泄量と併行している。しかし図16に示すごとく、Cl/Na 比は術後次第に低下の傾向

が認められ、Na 排泄量が、Cl 排泄量より著しく多くなっている。7日後頃には大体1.0前後の正常値に復している。

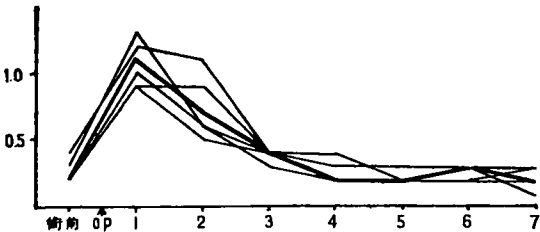
尿中K排泄量：術後尿中K排泄量は表17、図17のごとく、術前は 27.6~51.3mEq/day にして、術後1低温手術群 表17 術後尿中K排泄量 (mEq/day)

番号	体重 kg	術前	術 後						
			1日	2日	3日	4日	5日	6日	7日
43	8.5	36.5	41.4	38.2	64.8	43.5	34.6	40.4	21.6
45	10	32.8	22.7	37.5	53.6	50.2	41.4	35.6	29.5
47	12	38.0	21.3	29.5	56.0	45.6	39.2	28.5	30.1
50	9.5	27.6	26.8	30.7	48.3	41.0	32.8	29.0	36.2
51	11	51.3	33.2	28.6	46.5	53.4	37.0	41.1	36.5
平均値		37.2	29.1	32.9	53.8	46.7	37.0	34.9	30.8

低温手術群 図17 術後尿中K排泄量 (mEq/day)



低温手術群 図18 術後尿中 K/Na 比の変動



~2日はK濃度は高値を示すも、尿量減少のため排泄量は減少している。術後3日目が最高値を示し、次第に減少の傾向が認められる。またK排泄量とNa排泄量と比較してみると、すなわち K/Na 比をみるに、図18のごとく術後1日目は K/Na 比は 1.1を示しK排泄量がやや多くなっているが、2日以降は急激に下降を示している。

3) 組織水分量

低温手術群5例から低温下開腹手術時、対照にする筋肉、肝臓、腸の小片を得、ついで術後4日目に各臓器組織を採取し、別に成犬5例を選び、肺臓、心臓、脳の各組織片を得て対照とし組織水分量を測定し比較検討した。組織水分量は表18に示すごとく、術後4日目の筋肉、肝臓、腸の侵襲臓器も、他の組織にも有意の変動を認めない。

4) 組織 Na, Cl, K 含有量

前項と同じ実験例にて組織 Na, Cl, K 含有量を測定したが、詳細の成績については Na は表19, Cl は表20, K は表21にそれぞれ示した。また各例の平均値および標準偏差を一括して表22に示しわかり易くした。すなわち術後4日目の組織 Na, Cl は侵襲臓器において、軽度増加し、Kは有意の変動を認めない。

第4章 総括並びに考按

以上常温手術群と低温手術群の術後電解質の変動について、その実験成績を述べたが、これら両群の成績を比較検討してみると、血清 Na, Cl, K 濃度の変動では、両群ともに Na, Cl は減少し、Kの増加を認めしたが、低温手術群においてはその変動が少い。術後尿量は、両群とも輸液を行っていないので、術後1~2日は著しい減少を示したが、飼料摂取とともに増加

表 18 組 織 水 分 量

低温手術群								低温手術群対照例					
番号	体重 kg		筋 肉	肝 臓	腸	肺 臓	心 臓	脳	番号	体重 kg	肝 臓	心 臓	脳
42	10.5	対照	76.1	73.0	80.4	—	—	—	54	85	80.2	78.8	78.7
		術後	77.3	73.3	81.8	79.9	80.2	77.9					
46	9	対照	74.5	73.4	80.6	—	—	—	57	10	80.6	77.9	79.1
		術後	74.4	73.7	81.9	80.3	80.6	78.4					
48	8.5	対照	76.4	71.1	78.7	—	—	—	59	11.5	78.7	79.0	77.2
		術後	76.9	71.0	82.2	78.0	77.9	76.9					
52	11	対照	74.8	73.1	78.9	—	—	—	60	13	78.0	76.9	77.4
		術後	74.5	73.5	79.3	78.1	78.1	77.1					
53	12	対照	76.3	71.1	80.4	—	—	—	61	12	80.4	78.9	78.9
		術後	77.0	71.2	79.9	80.0	80.5	78.2					
平均量		対照	75.6±0.6	72.3±1.0	79.6±0.8	※	※	※	平均値		79.8±0.8	78.3±0.8	78.3±0.6
		術後	76.0±1.3	72.5±1.4	80.9±1.3	79.8±0.8	79.3±1.0	78.3±0.8					

※ 低温手術群対照例を代入した。

表 19 組織 Na 含有量

低温手術群								低温手術群対照					
番号	体重 kg		筋肉	肝臓	腸	肺臓	心臓	脳	番号	体重 kg	肝臓	心臓	脳
42	10.5	対照	82	123	88	—	—	—	54	8.5	134	115	128
		術後	85	125	121	132	116	125					
46	9	対照	95	105	115	—	—	—	57	10	125	95	105
		術後	109	109	128	121	98	109					
48	8.5	対照	70	93	71	—	—	—	59	11.5	113	111	140
		術後	78	102	76	110	105	145					
52	11	対照	91	129	105	—	—	—	60	13	95	85	129
		術後	96	135	110	93	88	121					
53	12	対照	65	89	96	—	—	—	61	12	109	87	110
		術後	72	92	99	105	81	105					
平均値		対照	81±12	108±16	95±15	※115±13	※98±11	※122±13	平均量		115±13	98±11	122±13
		術後	88±13	113±16	107±18	112±13	98±12	121±14	※ 低温手術群対照例を代入した。				

表20 組織 Cl 含有量

低温手術群								低温手術群対照					
番号	体重 kg		筋肉	肝臓	腸	肺臓	心臓	脳	番号	体重 kg	肝臓	心臓	脳
42	10.5	対照	98	123	119	—	—	—	54	8.5	128	116	112
		術後	106	121	123	126	119	115					
46	9	対照	81	116	117	—	—	—	57	10	145	119	125
		術後	87	126	126	141	121	127					
48	8.5	対照	93	104	101	—	—	—	59	11.5	126	106	113
		術後	93	106	112	106	104	109					
52	11	対照	83	95	87	—	—	—	60	13	110	103	116
		術後	97	112	99	132	85	108					
53	12	対照	102	111	99	—	—	—	60	12	137	87	134
		術後	108	118	108	134	98	131					
平均値		対照	81±8	110±10	105±12	※129±12	※106±11	※120±8	平均量		129±12	106±11	120±8
		術後	98±8	117±7	114±10	128±12	105±13	118±9	※印は低温手術群対照例を代入した。				

表21 組織 K 含有量

低温手術群								低温手術群対照					
番号	体重 kg		筋肉	肝臓	腸	肺臓	心臓	脳	番号	体重 kg	肝臓	心臓	脳
42	10.5	対照	262	277	225	—	—	—	54	8.5	229	232	339
		術後	270	276	224	261	262	340					
46	9	対照	275	318	216	—	—	—	57	10	256	255	329
		術後	264	324	220	229	234	351					
48	8.5	対照	270	275	245	—	—	—	59	11.5	220	265	345
		術後	288	272	245	218	220	321					
52	11	対照	236	310	263	—	—	—	60	13	236	219	318
		術後	239	308	263	232	271	333					
53	12	対照	247	265	229	—	—	—	61	12	261	223	351
		術後	260	273	228	269	230	350					
平均値		対照	258±15	289±21	236±17	※240±16	※239±18	※336±9	平均値		240±16	239±18	336±9
		術後	265±16	291±21	236±16	242±26	243±20	339±11	※印は低温手術群対照例を代入した。				

表22 組織水分量および Na, Cl, K 含有量一括成績
低温手術群

	水分量		Na		Cl		K	
	対 照	術 後	対 照	術 後	対 照	術 後	対 照	術 後
筋 肉	75.6±0.6	76.0±1.3	81±12	88±13	91±81	98±8	258±15	265±16
肝 臓	72.3±1.0	72.5±1.4	108±16	113±16	110±10	117±7	289±21	291±21
腸	79.6±0.8	80.9±1.3	95±15	107±18	105±12	114±10	236±17	236±16
肺 臓	79.8±0.8	79.3±1.0	115±13	112±13	129±12	128±12	240±16	242±20
心 臓	78.3±0.8	79.5±1.2	98±11	98±12	116±11	105±13	239±18	243±20
脳	78.3±0.6	77.7±0.6	122±13	121±14	120±8	118±9	336±9	339±11

し、常温手術群では5～6日後頃より、低温手術群では3日目より急激に増加した。また術後尿中 Na, Cl 排泄量は、常温手術群では尿量と大体一致して5～6日後頃より増加を示し、術後1～3日はCl排泄量がNa排泄量より多い。これに反し低温手術群では術後Na排泄量がCl排泄量より多く、Na, Clとも大体3～4日後増加を示した。尿中K排泄量は両群とも術後3日目最高を示し、大体5日目頃より術前排泄量以下に減少したが、常温手術群は術後1～3日目までK排泄量がNa排泄量より多く、これに反し低温手術群では、術後Na排泄量がK排泄量より著しく増加を来した。さらに術後4日目の組織水分量は、常温手術群では侵襲臓器、筋肉、肝臓、腸において増加を示しているが、低温手術群では有意の変動を認めない。また組織NaおよびClでは、常温手術群は侵襲臓器において明かに増加を示しており、低温手術群も増加の傾向は認めるが前者に比し軽度である。組織Kも、やはり筋肉、肝臓、腸において、常温手術群は明かに減少しているに反し、低温手術群では有意の変動を認めない。すなわち常温手術群では術後低Na, 低Cl血症を示し、尿量減少にともないNa, Clの排泄量は減少し、K/Na比の増加、尿中K排泄量の増加を認め、なお術後4日目の侵襲臓器の組織水分量、Na, Cl含有量は増加し、K含有量は減少した。しかし術後5～6日後頃より尿量増加し、それにともないNa, Clの排泄量も増加を示し、Kの排泄量は減少した。

一方低温手術群では術後血清Na, Cl濃度の減少、Kの増加は認められるが、その変動が少く、尿量増加にともないNa, Cl排泄量の増加を示し、Cl/Na比、K/Na比は低下の傾向が認められた。また術後4日目の組織水分量および電解質含有量は著しい変動を示さず、侵襲臓器の水分、Na, Clの増加は軽度で、Kの減少傾向を認めない。5～6日以後は常温手術群とほ

ほ同じような変動を示した。

従来から常温麻酔下における水分、電解質代謝に関する報告は非常に多く、大体術後低Na, 低Cl血症を示し、水分およびNa, Clの体内貯溜、Kの排泄増加が認められている。その原因については、Moore²⁴⁾はNaの喪失によるもの、水分過剰によるもの、骨内蓄積によるいわゆるSodium paradoxに分け説明しており、またWinfield²⁵⁾等は障害部および遠隔部の筋肉にNa, Clの蓄積、Kの減少を認め、これが手術後のNaおよびCl排泄減少の大きな要因であろうと述べている。私の実験成績でも損傷臓器、筋肉、腸、肝臓にWinfieldと同様の結果を得た。

一方外科侵襲などStressに対する生体反応に関し1938年Hans Selye²⁶⁾がGeneral adaptation syndromeの定義の下に新しい解釈を与えて以来、脳下垂体副腎系とStressに関する研究が多数報告されているが、これらの研究により、水分、電解質代謝は、抗利尿ホルモン(ADH)、電解質ホルモン(DOCA)等より説明されている。^{27) 28)}すなわち術後数日間は、ADHにより尿量減少し、副腎皮質ホルモンの分泌亢進により、Na, Clの体内貯溜とKの排泄増加を来し、蛋白もともに尿中に排泄され、交感神経優位のCatabolismの状態を呈しているが、術後1週間前後になると副交感神経優位のAnabolismの状態となり、体蛋白の再合成が開始され、副腎皮質ホルモンの分泌減少により、尿量増加とともにNa, Clの排泄も増加し、一方Kの排泄は減少するといわれている^{22) 28)}。すなわち術後数日はSelye²⁶⁾のAlarm reaction stageのCounter shock, Moor²⁴⁾のAdrenergic corticoid phase、沢沢²⁹⁾のADHの分泌亢進および副腎皮質機能亢進、八田²⁸⁾の交感神経優位のCatabolism亢進期等で説明され、術後5～6日以後はMoore²⁴⁾のCorticoid withdrawal

phase, 八田の副交感神経優位の Anabolism の時期に相当する。私の実験成績では水分、電解質の出納については明かでないが、術後尿量および Na, Cl の減少, K/Na 比の増加を示し、5~6日後より尿量および Na, Cl の増加, Kの減少を認め、その傾向がうかがえた。

低温下手術後の水分、電解質の変動については、Albert¹⁷⁾、岡村¹⁸⁾などが poor risk の臨床例について報告しているが、それによると尿量および Na の著しい増加を述べている。私の実験例においても明かに尿量, Na, Cl の増加を示し、低温下では Winfield²⁵⁾ の主張せる損傷筋への Na, Cl の増加は軽度で、Kの減少傾向は認められなかつた。このような術後の尿量および Na, Cl の増加は、低温により主として下垂体副腎皮質系の抑制効果によるものと考えられる。すなわち Egdahl³⁰⁾、Bernhard³¹⁾らは低温時には血中コルチコイドおよび ACTH レベルの低下を認め、Ganong³²⁾らも副腎皮質機能が低下すると述べ、手術侵襲が生体に及ぼす影響の少いことを強調している。藤本³³⁾も Sayer 氏法による白鼠副腎中アスコルビン酸減少率より低温状態が手術による侵襲を著しく減少することを報告している。また Katsh³⁴⁾は低温侵襲後の副腎、下垂体のアスコルビン酸減少率を測定し、下垂体副腎皮質機能の抑制を認めている。人工冬眠において Laborit³⁵⁾はアドレナリン-グルココルチコイド系の抑制により Catabolism の抑制を認めているが、私の実験においても、低温手術群において組織 K 含有量の減少傾向を認めないことから、組織蛋白の消耗が少なく、Catabolism の抑制傾向が考えられる。

すなわち低温下手術侵襲においては、手術により生体に及ぼす影響が少なく、術後 ADH の分泌抑制、副腎皮質機能亢進の抑制が考えられ、術後尿量の増加, Na および Cl の排泄増加を示し、水分および Na, Cl の体内貯溜傾向が軽微である。また体蛋白の消耗少

く、Catabolism の抑制傾向も考えられる。

第5章 結 論

以上成犬を使用し、常温手術群と低温手術群の2群に分け、術後血清 Na, Cl, K 濃度、尿中 Na, Cl, K 排泄量、組織水分量および Na, Cl, K 含有量を測定し、次のごと結論を得た。

1) 常温手術群では術後低 Na, 低 Cl 血症を示し、尿量減少にともない Na, Cl の排泄量は減少し、K/Na 比の増加、尿中 K 排泄量の増加を認めた。しかし術後5~6日頃から尿量増加し、それにともない Na, Cl の排泄量も増加を示し、Kの排泄量は減少した。なお術後4日目の侵襲臓器の組織水分量、Na, Cl 含有量は増加し、K含有量は減少した。

2) 低温手術群では術後血清 Na, Cl 濃度の減少、Kの増加は認められるが、その変動が少なく、尿量増加にともない Na, Cl 排泄量の増加を示し、Cl/Na比、K/Na比は低下の傾向が認められた。しかし5~6日以後は常温手術群とほぼ同じような変動を示した。なお術後4日目の組織水分量および電解質含有量は著しい変動を示さず、侵襲臓器の水分、Na, Cl の増加は軽度で、Kの減少傾向を認めない。

以上の結果から低温下手術侵襲では、術後 ADH の分泌抑制、副腎皮質機能亢進の抑制が考えられ、術後尿量の増加, Na および Cl の排泄増加を示し、水分および Na, Cl の体内貯溜傾向が軽微である。また組織含有量の減少傾向が認められないことから、体蛋白の消耗少く、Catabolism の抑制傾向も考えられる。

擧筆するに臨み、終始御懇篤なる御指導と御校閲を賜った恩師津田誠次名誉教授ならびに砂田輝武教授に深甚なる感謝の意を表するとともに、終始御便宜をばかつていたたい雲南共存病院長向畑十四郎博士に深謝す。

なお本論文の要旨は第34回中国四国外科整形外科学会において発表した。

参 考 文 献

- 1) Bigelow, W. G., et al : Ann. Surg., 132, 531, 1950.
- 2) Bigelow, W. G., et al : Ann. Surg., 132, 849, 1950.
- 3) Bigelow, W. G., et al : Am. J. Physiol., 160, 125, 1950.
- 4) Bigelow, W. G., et al : J. Thorac. Surg., 28, 463, 1954.
- 5) Hegnauer, A. H., et al : Am. J. Physiol., 161, 455, 1950.
- 6) Hegnauer, A. H., et al : Am. J. Physiol., 167, 63, 1951.
- 7) Hegnauer, A. H., et al : Am. J. Physiol., 167, 69, 1951.
- 8) Lewis, F. J. & M. Taufic : Surg., 33, 52, 1953.
- 9) Swan, H., et al : Ann. Surg., 138, 360, 1953.
- 10) Swan, H., et al : J.A.M.A., 153, 1081, 1953.

- 11) Swan, H., et al : *Ann. Surg.*, **139**, 385, 1954.
- 12) Swan, H., et al : *Ann. Surg.*, **142**, 382, 1955.
- 13) Elman, R., et al : *Ann. Surg.*, **130**, 703, 1949.
- 14) Randall, H. T., et al : *Surg.*, **26**, 341, 1949.
- 15) 葛西森夫 : 日外会誌, **57** : (4), 467, 昭31.
- 16) 鈴木伊佐雄 : 日外会誌, **58** : (11), 1718, 昭33.
- 17) Albert, S. N., et al : *J.A.M.A.*, **163**, (16) 1435, 1957.
- 18) 岡村宏他 : 麻酔, **7** : (10), 633, 昭33.
- 19) *Operating Directions for the Model, 21, Coleman Flame Photometer*, 1956.
- 20) Schales & Schales : *J. Biol. Chem.*, **140**, 879, 1941.
- 21) 砂原 : 東京医学会誌, **56** : 689, 昭17.
- 22) 渋谷喜守雄 : 臨床外科, **6** : 505, 昭26.
- 23) Elman, R., et al : *Ann. Surg.*, **135**, 164, 1952.
- 24) Moore, F. D. : *J. Amer. M. A.*, **154**, 379, 1954.
- 25) Winfield, J. M., et al : *Ann. Surg.*, **134**, 625, 1951.
- 26) Selye, H. (中尾健訳) : 副腎皮質ホルモン, 綜合医学新書, **11** : 301, 昭28.
- 27) Hardy, J. D., et al : *Ann. Surg.*, **132**, 20, 1950.
- 28) 八田秋 : 臨床外科, **12** : (12) 1, 昭32.
- 29) 渋谷喜守雄 : 最新医学, **11** : (5), 1122, 昭31.
- 30) Egdahl, R. H., et al : *Surg. Gynec. & Obst.*, **101**, 715, 1955.
- 31) Bernhard, W. F., et al : *Ann. Surg.*, **143**, 210, 1956.
- 32) Ganong, W. F., et al : *Surg.*, **38**, 506, 1955.
- 33) 羽田野茂, 藤本吉秀他 : 最新医学, **10** : 1686, 昭30.
- 34) Katsh, S., et al : *Am. J. Physiol.*, **178**, 456, 1954.
- 35) Laborit : 29) による。

Experimental Study on Electrolytes Changes in Hypothermia and Effects of Operation on Its Metabolism

Part II. Experimental Study of Operative Effects on Electrolytes Changes in Hypothermia.

By

Masatoshi MIZUSHIMA, M. D.

From the Second Surgical Division, Okayama University Medical School
(Director : formerly, Prof. Emeritus Dr. Seiji Tsuda and presently, Prof.
Dr. Terutake Sunada)

Effects of operation on serum level and urinary excretion of sodium, chloride and potassium, and water and electrolytes content in tissue were studied on dogs in both hypothermic and normothermic conditions. Following results were obtained.

1) Hyponatremia and hypochloremia, decrease of urinary excretion of both electrolytes, increase of potassium-sodium ratio and increase of urinary excretion of potassium in accordance with decrease of urine volume were found during postoperative period in dogs who underwent operation under normothermia.

However, increase of urine volume occurred on about 5th or 6th postoperative day resulting in increase of urinary excretion of sodium and chloride, and decrease of potassium excretion.

Increase of water, sodium and chloride content of the tissue which had operative intervention, were found on the 4th postoperative day, though decrease of potassium was noted.

2) Decrease of serum sodium and chloride, and increase of potassium were noticed in hypothermic group, though these changes were not so significant as in normothermic group.

Urinary excretion of sodium and chloride increased in accordance with increase of urine volume and chloride-sodium ratio were diminished. However, changes after 5th to 6th postoperative day were same in both groups.

There were found no significant changes in water and electrolytes content of tissue, which had operative intervention, on the 4th postoperative day in hypothermic group. Increase of water, sodium, and chloride in tissue were slight and no decrease of potassium was found.

It was anticipated based on these findings that excretion of ADH and function of adrenal gland were suppressed resulting in increase of urinary excretion of sodium and chloride with less retention of water, sodium and chloride in tissue during postoperative period in operation performed under hypothermia.

In addition to, decrease of potassium content in tissue was not found, suggesting of less consumption of body protein and suppression of catabolism during postoperative period.
