

保 存 血 輸 血 と 電 解 質 代 謝

第 1 編

血 清 電 解 質 の 変 動 に つ い て

岡山大学医学部砂田外科教室（主任：砂田輝武教授）

副 手 須 藤 和 夫

〔昭和 33 年 10 月 7 日受稿〕

目 次

I. 緒 言	1. 実験方法
II. 動物実験	2. 実験成績
1. 実験材料並びに方法	3. 小 括
2. 実験成績	IV. 総括並びに考按
3. 小 括	V. 結 論
III. 臨床実験	

I. 緒 言

最近輸血特に保存血輸血に関する研究が多くの研究者によつて盛んに行われるようになり、輸血学の著明な進歩を促すようになった。すなわち 1916 年 Rous & Turner¹⁴⁾ が保存血輸血の可能性を明かにし、Robertson¹⁴⁾ (1918) は実際に人に用いて成功して以来、保存血輸血は急速な発展をとげ、世界第二次大戦を契機として血液銀行が組織され、以来この普及完備と発達とによつて血液の臨床面への供給が極めて容易となり、最近の外科的手術侵襲の増加による血液需要量の増大を補うことが可能となり、輸血量の急激な増加を促すようになった。しかしこの反面種々の副作用に遭遇する機会も多くなり、この原因と防止に関する研究も盛んに行われるようになってきたが、この保存血輸血にさいして、電解質も一部の副作用と関係をもつのではないかと注目されるようになった。すなわち Duliere²¹⁾ (1931), Jeanneney²²⁾ (1938), Scudder²³⁾ (1939), De Gowin²⁴⁾ (1940), Downman²⁶⁾ (1940) 等によつて血液保存中赤血球内のカリウムが溶血と関係なく血漿中に移行し、反対に血漿中のナトリウムが血球内に移行することが明かにされ、特にカリウムは保存初期の 7 日前後までは迅速な血漿中への移行をおこし、15～20 日で保存前濃度 (4.1～5.6 mEq/L) の約 6～7 倍の血漿濃度に達することが明らかにされた。この

ような保存血を大量かつ急速に輸血した場合にカリウム中毒をおこす可能性が当然考えられ、Scudder 等は 30 日保存の血液はこの位の血漿カリウム濃度に達するが、普通急速には輸血せず持続点滴輸血法によるのでこの危険は除外されようが、しかしカリウム中毒をおこすに充分な量が使用されるということは重要な問題であり、高カリウム血症を有する患者に保存血の大量を急速輸血することは危険であるとのべている。また Bunker²⁵⁾ (1955) は輸血が大量になると血清カルシウム、イオン濃度の低下をおこすといい、これは抗凝固剤として使用するクエン酸塩によるのではないかと推測し、テタニーをおこす危険性を強調している。また大量の輸血後屢々浮腫等の副作用が日常見られるのはよく知られている事実である。以上のように保存血輸血が大量となつた場合の電解質の変動による副作用がいろいろと報告および思考されているが、系統的な電解質代謝の研究が未だ見られない。臨床上行われる大量の輸血は多くは大量の出血を余儀なくされる侵襲の大きな手術中に行われることが殆んどで、このため色々な因子、例えば手術侵襲それ自体またショック等の因子によつて電解質の変化に影響をおよぼしてくると思われるので、私は主として動物実験によつて、手術等の侵襲を加えることなく、純粹に保存血の大量輸血のみを行つた場合の電解質の変動を系統的に追究するため本研究を行つた。故に本編では保存血輸

血を行つた場合の血清電解質、すなわちナトリウム、クロール、カリウム、カルシウムの4者（以後 Na, Cl, K, Ca の記号を用う）の消長を、動物実験例を主とし、臨床実験を従として研究を行つた。

II. 動物実験

1. 実験材料並びに方法

a. 実験材料

体重 10 kg 前後の健康成犬を性別無差別に使用して実験を行つた。受血犬と給血犬との血液型を適合させるため、各犬より約 5 cc 採血してクロスマッチ試験を行い、主試験および副試験に合格したものを適合とし、給血用犬と受血用犬とに分け、給血用犬より次の方法で採血し、保存血を作製した。

b. 保存血作製法

給血用犬をラボナールまたはネンブタール静注により麻酔し、股動脈を露出してこれから採血した。採血は無菌的に死に至るまで脱血し（10 kg 前後の犬で約 400~800 cc 採血可能）、この血液を直接 ACD 液（枸橼 0.33 g, 枸橼酸 0.12 g, 葡萄糖 0.33 g, 蒸溜水 25.0 cc の割合）を入れた日本血液銀行提供の 100 cc または 200 cc 容の血液保存瓶に入血と同じく血液 100 cc に対し ACD 液 25 cc の割合で採取し、すぐ 2°~5°C に保つた氷室に入れて保存した。保存 20 日までは殆んど溶血は見られなかつた。

c. 輸血方法

受血犬を 5% ネンブタール（0.5 cc/体重 kg）、または 2.5% ラボナール（1 cc/体重 kg）で静脈麻酔を行い、気管内閉鎖循環麻酔器を用いて充分酸素を供給しながら実験を行つた。まず一侧の股静脈を露出して輸血用とし、さらに他側の股動脈を露出して血圧測定のため水銀マンノメーターを直結した。また一侧の頸静脈を露出してここから検査用静脈血を採取した。輸血は 7~24 日間保存の 1~2 匹分の適合保存血を体重に応じて大量（600~1700 cc）股静脈から点滴輸血した。輸血速度はクエン酸中毒で死なせないため、各例適宜調節したので一定でないが、死に至らない範囲でなるべく速く輸血し（1 cc/分/体重 kg 前後の速度）、血圧が高度上昇した場合には 1~2 回股動脈から 100~500 cc 脱血しつつ輸血を行つた。

d. 検査事項および測定方法

輸血前および輸血 200 cc, 500 cc, 1000 cc, 1500 cc ごと、および輸血終了時、輸血後 3 時間、6 時間、12 時間、24 時間後にそれぞれ前述の受血犬の頸

静脈より採血し、採血後直ちに血清を分離して血清中の Na, Cl, K, 全 Ca 濃度を測定した。さらに血清カルシウム、イオン（以後 Ca^{++} の記号を用いる）が緒言でのべた如く重要な意味を有すると思われるので、この測定も行つた。なお血液保存中における血漿 K, Na 濃度の変化もみるため、前記保存血から保存前、保存第 1, 2, 3, 5, 7, 10, 14, 21 日目の各日に、よく瓶を動かして血液を混和後一部採取し、測定を行つた。

次に対照実験として新鮮血輸血を行い、また Ca の実験例にはクエン酸ソーダの作用を除くために行つたヘパリン加新鮮血輸血実験、およびクエン酸ソーダ自身の影響をみるために行つたクエン酸ソーダ単独注入実験を対照として追加した。

また輸血前と輸血後に心電図を撮り、K, Ca の濃度変動の有無を間接的に調べた。

i) 血清 Na 濃度の定量法

Coleman (Model-22) 火焰比色計を用いて (City gas と酸素を使用) 同器使用書記述の標準グラフ使用法³⁷⁾によつて測定した。すなわち既知濃度の試薬を燃焼させて計器の目盛の読みから標準グラフを作製し、次に 200 倍稀釈の被検血清を燃焼させて計器の目盛の読みからグラフによつて血清 Na 濃度を測定した。

ii) 血清 Cl 濃度の定量法

光電比色計を用いた Silver-iodate 法⁵⁾により測定した。検体は黄色に発色し、波長 420 mμ で吸光度を読み、標準グラフより血清 Cl 濃度を求めた。

iii) 血清 K 濃度の定量法

Krammer-Tisdall 氏の Cobalt-nitrite 法⁵⁾⁽³⁶⁾を用い、検体を緑色に発色させて光電比色計により比色定量した。波長は 420 mμ を用いた。

iv) 血清全 Ca 濃度の定量法

光電比色計を使用して Phosphate 法⁵⁾により測定した。検体は淡青色に発色し、波長 660 mμ を用いて測定し、標準グラフより全 Ca 濃度を求めた。

v) 血清 Ca^{++} 濃度の定量法

血清 Ca は蛋白と結合した非透析性 Ca と、蛋白と結合してない透析性 Ca とに分けられるが、さらに透析性 Ca はイオン化した Ca^{++} とイオン化しないクエン酸 Ca 等に分けられるが、この Ca^{++} の方は次の式で算定出来る。

$$\text{Ca}^{++} (\text{mg}/100 \text{ cc}) = \text{全 Ca} (\text{mg}/100 \text{ cc}) - (0.87 \times \text{全血漿蛋白 gm}/100 \text{ cc})$$

McLean and Hasting²⁹⁾⁽³⁰⁾⁽³²⁾によつて作られた

モノグラムを用いると簡単に Ca^{++} 濃度が、血清蛋白と全 Ca 濃度から求められ、私もこの方法を用いて Ca^{++} 濃度を求めた。

2. 実験成績

a. 保存血血漿中におけるK, Na 濃度の変化

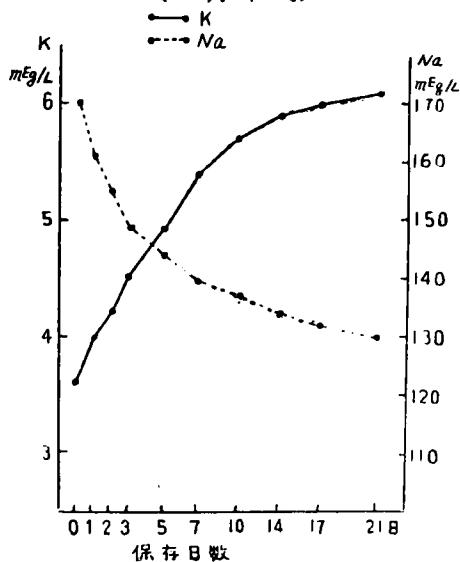
緒言で述べた如く、血液保存に際して血球内Kが血漿中に移行し、保存が進むにつれて血漿K濃度が

上昇し、反対に血漿 Na は血球中に移行して血漿 Na 濃度が低下することが諸賢により明らかにされたが、私も犬保存血について追試し、同じ傾向を得た(表1, 図1)。犬血球内のK濃度は人血球のそれに比べて非常に少く、約 20 mg/血液 100 cc 前後、あるいは 7.8 mM/血球 100 gm といわれるので、Kが血球より血漿中へ移行しても、後述するように

表 1 保存血血漿 Na, K 濃度 (mEq/L)

保存日数		前	1	2	3	5	7	10	14	17	21
例 I	K	3.0	3.6	3.8	4.3	4.8	5.7	6.0	9.3	6.6	6.8
	Na	178	173	160	154	146	142	140	135	132	130
II	K	3.2	3.4	3.9	4.4	4.9	5.6	5.8	6.0	6.1	6.2
	Na	177	165	150	144	139	136	133	131	129	129
III	K	4.2	4.4	4.5	4.8	5.4	5.8	6.1	6.3	6.5	6.6
	Na	165	163	162	146	145	143	139	138	136	132
IV	K	3.5	4.1	4.3	4.6	5.0	5.4	5.6	5.7	5.7	5.9
	Na	168	160	156	153	148	146	145	143	137	135
V	K	3.8	4.0	4.1	4.3	4.6	5.3	5.7	5.8	5.9	6.0
	Na	162	143	141	142	135	134	140	127	127	125
VI	K	4.0	4.5	4.7	4.9	5.1	5.5	5.7	6.0	6.0	6.1
	Na	167	154	153	149	142	140	137	132	133	131
VII	K	3.4	3.7	4.0	4.1	4.5	4.6	4.8	5.0	5.1	5.3
	Na	171	168	164	156	140	138	132	130	129	128
平均	K	3.6	4.0	4.2	4.5	4.9	5.4	5.7	5.9	6.0	6.1
	Na	170	161	155	149	144	140	137	134	132	130

図 1 保存血血漿 Na, K 濃度 (7 例 平均)



人間の場合に見られるような高濃度にならない。しかしその移行傾向は同一を示し、保存7～10日目までは迅速な血漿K濃度の上昇がみられ、以後は緩徐な上昇に移行している。反対に血漿 Na 濃度はKに対し鏡像的变化を示した減少がみられる。

b. 保存血大量輸血と電解質変動

i) 血清 Na 濃度

血清 Na は表2に示す如く、犬10例について7～21日間保存の保存血輸血を行つて血清濃度を測定したが、いずれも輸血すると輸血量に比例してNa濃度の軽度の上昇を認めた。しかも輸血24時間後においてもなお輸血前値に戻っていない。しかしその増加は平均増減率が示すようにあまり著明な変動とはいえない。10例の血清濃度の平均曲線をとると図2の如くである。次に血清 Na 濃度が輸血速度により影響をうけるのではないかと考え、各例について輸

表 2 血 清 Na (mEq/L)

保 存 血 輸 血 例

※ 輸血前に対する輸血終了時の増減率(%)

犬 番 号	体 重 kg	性	輸 血 量 cc	輸 血 保 存 日 数	輸 血 速 度 cc/kg	輸 血 前	輸 血 200cc	輸 血 500cc	輸 血 1000cc	輸 血 1500cc	輸 血 終 了 時	輸 血 後 6時間	輸 血 後 12時間	輸 血 後 24時間	※
109	8	♀	500	9	0.72	172	175	174	—	—	174	174	173	172	+ 1.2
111	9	♂	500	10	1.01	180	177	183	—	—	183	171	170	170	+ 1.7
115	10	♂	1000	13	0.55	161	164	164	167	—	167	167	169	172	+ 3.7
117	9	♀	800	14	1.63	153	161	161	—	—	163	165	168	165	+ 6.6
118	9	♂	1000	15	2.30	156	157	157	161	—	161	162	165	167	+ 3.2
120	12	♂	1500	21	1.04	151	151	153	160	163	163	165	167	168	+ 8.0
123	6	♀	700	16	1.95	158	158	160	—	—	161	161	160	—	+ 1.9
125	10	♂	1000	18	1.66	164	167	166	171	—	171	173	177	181	+ 4.3
127	11	♀	1500	14	1.13	162	165	168	174	179	179	185	188	186	+10.5
130	10	♂	800	7	0.89	170	173	178	—	—	179	181	182	185	+ 5.3
平 均						163	165	166	167	171	—	170	172	174	—
平 均 増 減 率 %						0	+1.3	+1.8	+2.5	+4.9	—	+4.3	+5.6	+6.8	—

新 鮮 血 輸 血 例

犬 番 号	体 重 kg	性	輸血量 cc	輸血速度 cc/分/kg	輸 血 前	輸血 200cc	輸血 500cc	輸血 1000cc	輸血 終了時	輸血後 6時間	輸血後 12時間	輸血後 24時間	※
147	8	♂	800	1.32	171	171	171	—	172	173	174	174	+ 0.6
150	9	♀	1200	1.47	166	165	163	165	166	161	161	163	0
153	8	♂	1000	1.56	145	146	142	144	144	152	149	150	- 0.7
155	10	♂	1000	1.67	151	153	159	162	162	155	152	148	+ 7.3
			平 均		158	159	159	157	—	160	159	159	—
			平均増減率%		0	+0.6	+0.6	-0.6	—	+1.3	+0.6	+0.6	—

図 2 血清電解質 (実験例)

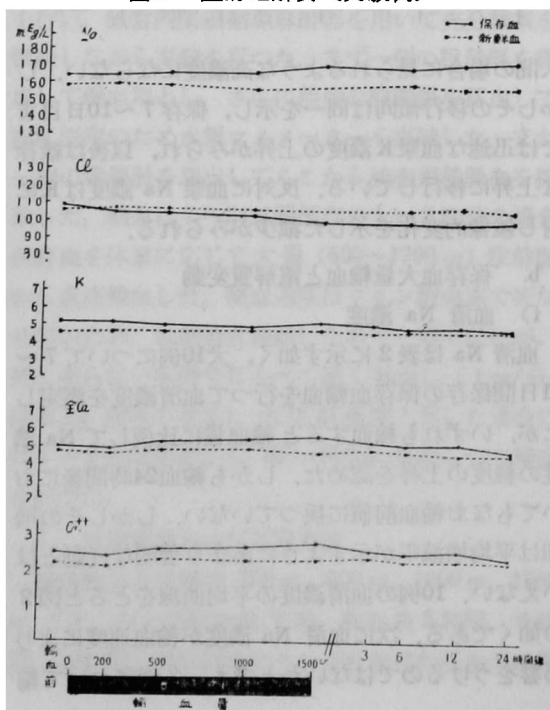
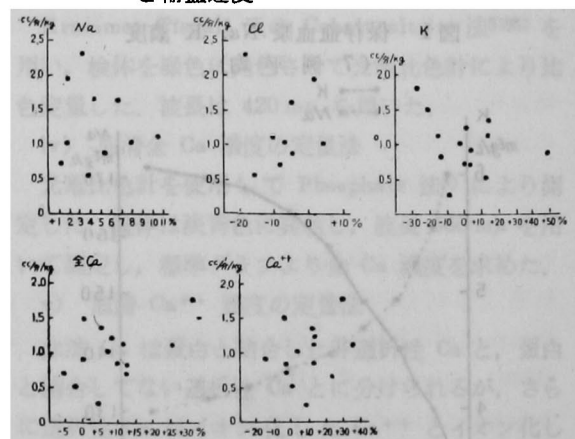


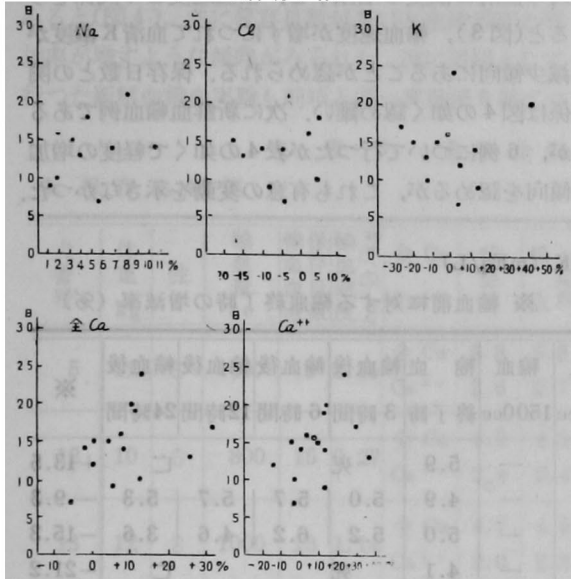
図 3 輸血前に対する輸血終了時の増減率と輸血速度



註 縦軸に輸血速度、横軸に増減率をとつた

血前に対する輸血終了時の増減率をとつて輸血速度と比べてみたが、図 3 の如く特別の関係は認められなかつた。また各例の輸血血液の保存日数と輸血終了時増減率との関係も比べてみたが(図 4), この場

図4 輸血前に対する輸血終了時の増減率
と輸血血液保存日数



註 縦軸に保存日数を取り、横軸に増減率をとった

合保存日数が増せば増加率もやや増加する傾向にあることを認めた。次に対照として新鮮血輸血実験を4例について行つたが、この場合の血清 Na 濃度の変化は殆んど見られなかった。

ii) 血清 Cl 濃度

本例は前項 Na 濃度測定例と同一例について血清 Cl 濃度を測定したが、成績は表3の如くで、各例平均すると輸血前値に対しやや減少傾向がみられた。すなわち輸血量の増加につれてやや減少を示し、輸血後6時間、12時間でも輸血前値までの恢復はみられず、輸血後24時間に於ても平均6.5%の減少率を示している。しかしあまり有意な変化ではない。図2に血清 Cl 濃度の平均曲線を示した。輸血による血清 Cl 濃度の増減率と輸血血液保存日数並びに輸血速度との関係は図3、4に示すようにそれぞれ有意の関係はみられなかった。新鮮血輸血実験も前項と同じ例について行つたが、この場合殆んど変動は認められなかった。

表3 血清 Cl (mEq/L)

保存血輸血例

※ 輸血前に対する輸血終了時の増減率(%)

犬 番 号	体 重 kg	性	輸 血 量 cc	輸 血 保 存 日 数	輸 血 速 度 cc/kg	輸 血 前	輸 血 200cc	輸 血 500cc	輸 血 1000cc	輸 血 1500cc	輸 血 終 了 時	輸 血 後 6時間	輸 血 後 12時間	輸 血 後 24時間	※
109	8	♀	500	9	0.72	95	83	87	—	—	87	85	88	90	- 8.4
111	9	♂	500	10	1.01	98	105	102	—	—	102	102	99	95	+ 4.1
115	10	♂	1000	13	0.55	119	111	106	101	—	101	101	100	102	-15.1
117	9	♀	800	14	1.63	100	97	97	—	—	95	89	91	99	- 5.0
118	9	♂	1000	15	2.30	116	111	95	95	—	95	105	107	112	-18.1
120	12	♂	1500	21	1.04	114	114	112	108	106	106	99	103	99	- 7.0
123	6	♀	700	16	1.95	107	104	115	—	—	109	108	102	106	+ 1.9
125	10	♂	1000	18	1.66	112	114	114	117	—	117	112	108	103	+ 4.5
127	11	♀	1500	14	1.13	105	100	114	97	94	94	98	99	101	-10.5
130	10	♂	800	7	0.89	111	110	108	—	—	106	103	101	100	- 4.5
平 均						108	105	105	104	100	—	100	100	101	—
平均増減率%						0	-2.8	-2.8	-3.7	-7.4	—	-7.4	-7.4	-6.5	—

新鮮血輸血例

犬 番 号	体 重 kg	性	輸血量 cc	輸血速度 cc/分/kg	輸 血 前	輸 血 200cc	輸 血 500cc	輸 血 1000cc	輸 血 終了時	輸 血後 6 時間	輸 血後 12時間	輸 血後 24時間	※
147	8	♂	800	1.32	105	103	105	—	105	104	103	104	0
150	9	♀	1200	1.47	115	113	112	110	111	108	110	110	— 3.5
153	8	♂	1000	1.56	105	107	109	106	106	108	108	108	+ 1.0
155	10	♂	1000	1.67	100	103	101	106	106	109	111	105	+ 6.0
			平 均		106	107	107	107	—	107	108	107	—
			平均増減率%		0	+0.9	+0.9	+0.6	—	+0.9	+1.9	+0.9	—

iii) 血清K濃度

表4の如く犬14例について7~24日間保存の保存血輸血を0.27~1.76 cc/分/体重kgの速度で行ったが、血清K濃度は輸血量の増加につれやや減少傾向がみられるが、殆んど正常血清濃度の範囲内にあり、平均増減率をみると-5.8%~+3.8%程度の変化であり、図2の如く平均曲線をとつてみると余り

有意の変化と思われない。輸血前に対する輸血終了時の血清K濃度の増減率と、輸血速度との関係をみると(図3)、輸血速度が増すにつれて血清K濃度が減少傾向にあることが認められる。保存日数との関係は図4の如く認め難い。次に新鮮血輸血例であるが、6例について行つたが表4の如くで軽度の増加傾向を認めるが、これも有意の変動を示さなかつた。

表 4 血 清 K (mEq/L)

保 存 血 輸 血 例

※ 輸血前に対する輸血終了時の増減率(%)

犬 番 号	体 重 kg	性	輸血 量 cc	輸 血 保 存 日 数	輸 血 速 度 cc/分/kg	輸 血 前	輸 血 200cc	輸 血 500cc	輸 血 1000cc	輸 血 1500cc	輸 血 終 了 時	輸 血 後 3時間	輸 血 後 6時間	輸 血 後 12時間	輸 血 後 24時間	※
5	11	♂	1000	9	1.35	5.2	5.2	5.0	5.9	—	5.9	死			亡	+13.5
12	10	♂	800	15	0.27	5.4	5.0	4.3	—	—	4.9	5.0	5.7	5.7	5.3	-9.3
13	12	♂	1000	13	1.14	5.9	5.2	5.8	5.0	—	5.0	5.2	6.2	4.6	3.6	-15.3
14	10	♀	600	15	1.50	5.2	5.0	—	—	—	4.1	死			亡	-21.2
28	10	♂	700	7	0.70	4.7	5.0	4.8	—	—	4.8	4.8	5.3	5.7	4.7	+2.1
47	11	♀	1000	14	0.51	4.3	4.4	5.2	4.8	—	4.8	4.8	4.6	4.5	4.3	+11.6
79	7	♀	1700	20	0.86	4.4	5.3	5.4	5.6	5.9	6.2	5.7	4.5	3.8	4.3	+40.8
91	10	♂	1500	24	0.73	5.4	6.0	4.6	4.5	5.4	5.4	5.6	6.1	死	亡	0
95	9	♀	1500	17	1.76	5.9	4.7	4.4	4.0	4.2	4.2	4.3	死		亡	-28.8
96	10	♂	1000	10	0.83	5.8	5.2	5.0	5.0	—	5.0	5.3	5.7	5.4	5.8	-13.8
98	11	♂	1000	16	1.01	5.5	4.9	5.2	5.3	—	5.3	5.2	5.3	4.8	5.1	-3.6
102	10	♀	1500	19	1.11	4.6	4.7	4.5	4.7	5.2	5.2	4.9	4.5	4.4	4.7	+13.0
103	8	♀	800	12	0.91	5.7	6.1	5.8	—	—	5.9	5.7	5.9	5.7	6.2	+3.5
105	8	♂	1300	14	1.24	5.2	4.8	4.4	4.6	—	5.2	4.9	6.0	5.3	5.3	0
					平 均	5.2	5.1	5.0	4.9	5.2	—	5.1	4.9	5.0	4.9	—
					平均増減率%	0	-1.9	-3.8	-5.8	0	—	-1.9	+3.8	-1.9	-3.8	—

新 鮮 血 輸 血 例

犬番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血速度 cc/分/kg	輸血前	輸血 200cc	輸血 500cc	輸血 1000cc	輸血 1500cc	輸血 終了時	輸血後 3時間	輸血後 6時間	輸血後 12時間	輸血後 24時間	※
17	10	♀	1000	1.10	4.9	4.3	4.6	4.2	—	4.2	4.2	4.6	4.4	4.7	-14.2
50	15	♂	1000	0.78	5.2	4.9	4.9	4.8	—	4.8	4.8	5.0	4.7	5.1	- 7.7
58	10	♀	800	1.17	4.6	4.6	4.6	—	—	4.5	4.6	4.8	4.9	5.0	- 2.2
84	7	♂	1500	2.73	4.6	4.4	4.5	4.8	4.8	4.8	4.5	4.4	5.0	5.3	+ 4.3
147	8	♂	800	1.32	4.2	4.2	4.3	—	—	4.3	4.3	4.2	4.2	4.2	+ 2.4
150	9	♀	1200	1.47	4.3	5.1	5.3	5.2	—	5.3	5.1	5.0	4.8	4.4	+23.2
			平均		4.6	4.6	4.7	4.8	4.8	—	4.6	4.7	4.7	4.8	—
			平均増減率%		0	0	+2.2	+4.4	+4.4	—	0	+2.2	+2.2	+4.4	—

iv) 血清全CaおよびCa⁺⁺濃度

前項と同じ実験例で測定を行つたが、全CaおよびCa⁺⁺濃度は表5の如くで、各例平均してみると、共に輸血初期すなわち200cc輸血頃僅かに減

少した後、輸血量の増加につれて増加傾向を示すようになり、輸血後24時間には輸血前値に近くなつてゐる。図2は平均曲線を示す。血清全CaおよびCa⁺⁺濃度の輸血前に対する輸血終了時の増減率と、

輸血速度との間の関係(図3)は有意のものはみられなかった。しかし輸血血液の保存日数との関係をみると(図4), 共に保存日数が多いと血清濃度の増加率が増すような傾向がみられた。次に対照として行つた新鮮血輸血実験も前項と同一実験例6例につ

いて血清濃度を測定したが, 結果は大体保存血輸血の場合に似た傾向を示した。またクエン酸塩の影響を除外するために, ヘパリンを抗凝固剤とした新鮮血輸血実験を2例に試みたが, この場合も全Ca, Ca^{++} 共に増加傾向を示したが, 輸血初期の減少は

表 5 血清全Caおよび Ca^{++} (mEq/L)

1. 保存血輸例

※ 輸血前に対する輸血終了時の増減率(%)

犬番号	体重 kg	性	輸 血 量 cc	輸 血 保 存 日 数	輸 血 速 度 cc/kg	全 Ca Ca ⁺⁺	輸 血 前	輸 血 200cc	輸 血 500cc	輸 血 1000cc	輸 血 1500cc	輸 終 了 時	輸 3 時 後	輸 6 時 後	輸 12 時 後	輸 24 時 後	※	
5	11	♂	1000	9	1.35	全 Ca Ca ⁺⁺	5.8 2.6	5.8 2.7	5.9 2.8	6.1 2.9	— —	6.1 2.9	死 亡				+ 5.2 +11.5	
12	10	♂	800	15	0.27	全 Ca Ca ⁺⁺	4.9 2.4	4.9 2.4	5.2 2.5	— —	— —	5.1 2.6	6.2 2.8	6.3 3.1	5.7 2.8	4.9 2.4	+ 4.1 + 8.3	
13	12	♂	1000	13	1.14	全 Ca Ca ⁺⁺	4.7 2.0	4.9 2.3	5.2 2.5	5.6 2.7	— —	5.9 2.7	5.1 2.5	— —	4.9 2.3	5.2 2.4	+25.5 +35.0	
14	10	♀	600	15	1.50	全 Ca Ca ⁺⁺	4.5 2.4	4.3 2.2	— —	— —	— —	4.5 2.3	死 亡				0 - 4.2	
28	10	♂	700	7	0.70	全 Ca Ca ⁺⁺	5.5 2.8	5.1 2.5	5.2 2.7	— —	— —	5.2 2.7	5.5 2.7	5.3 2.7	5.5 2.8	5.3 2.7	- 5.5 - 3.6	
47	11	♀	1000	14	0.51	全 Ca Ca ⁺⁺	4.2 2.0	4.0 1.9	4.0 1.9	4.1 2.0	— —	4.1 2.0	4.3 2.1	5.1 2.3	5.4 2.6	4.5 2.0	- 2.4 0	
79	7	♀	1700	20	0.86	全 Ca Ca ⁺⁺	5.0 2.4	— —	5.3 2.5	5.4 2.6	5.5 2.7	5.5 2.7	5.2 2.5	4.8 2.0	5.5 2.7	5.1 2.5	+10 +12.5	
91	10	♂	1500	24	0.73	全 Ca Ca ⁺⁺	4.7 2.2	4.9 2.3	6.1 3.0	5.9 2.9	5.3 2.7	5.3 2.7	5.7 2.8	5.3 2.6	死 亡		+12.8 +22.7	
95	9	♀	1500	17	1.76	全 Ca Ca ⁺⁺	4.8 2.4	4.7 2.2	6.0 2.9	5.4 2.6	6.3 3.1	6.3 3.1	5.5 2.7	死 亡				+31.3 +29.2
96	10	♂	1000	10	0.83	全 Ca Ca ⁺⁺	4.8 2.7	4.8 2.7	5.1 2.3	5.4 2.6	— —	5.4 2.6	5.9 2.8	4.8 2.1	4.9 2.3	4.7 2.2	+12.5 - 3.7	
98	11	♂	1000	16	1.01	全 Ca Ca ⁺⁺	5.7 2.8	5.5 2.7	6.0 2.9	6.1 2.9	— —	6.1 2.9	6.0 2.9	5.0 2.5	5.3 2.6	5.0 2.5	+ 7.0 + 3.6	
102	10	♀	1500	19	1.11	全 Ca Ca ⁺⁺	5.1 2.5	5.2 2.5	5.2 2.5	5.3 2.6	5.7 2.8	5.7 2.8	5.8 2.9	5.6 2.6	6.0 2.9	5.2 2.5	+11.8 +12.0	
103	8	♀	800	12	0.91	全 Ca Ca ⁺⁺	4.7 2.7	4.5 2.1	4.8 2.3	— —	— —	4.7 2.3	4.4 2.1	4.8 2.4	4.5 2.2	4.5 2.2	0 -14.8	
105	8	♂	1300	14	1.24	全 Ca Ca ⁺⁺	5.0 2.4	4.9 2.4	5.1 2.5	5.4 2.7	— —	5.4 2.7	5.6 2.7	4.9 2.5	5.3 2.6	4.9 2.2	+ 8.0 12.5	
				平 均		全 Ca Ca ⁺⁺	5.0 2.5	4.9 2.4	5.3 2.6	5.5 2.7	5.7 5.8	— —	5.4 2.6	5.2 2.5	5.3 2.6	4.9 2.4	— —	
				平 均 増減率%		全 Ca Ca ⁺⁺	0 0	-2 -4	+6 +4	+10 + 8	+14 +12	— —	+8 +4	+4 0	+6 +4	-2 -4	— —	

2. 新鮮血輸血例

犬番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血速度 cc/分/kg	全 Ca Ca ⁺⁺	輸血前	輸血 200cc	輸血 500cc	輸血 1000cc	輸血 1500cc	輸血終了時	輸血3時間後	輸血6時間後	輸血12時間後	輸血24時間後	※
17	10	♀	1000	1.10	全 Ca Ca ⁺⁺	5.0 2.4	4.9 2.3	4.7 2.2	4.7 2.2	— —	4.7 2.2	4.7 2.3	4.5 2.2	4.3 2.2	4.3 2.2	— 6.0 — 8.3
50	15	♂	1000	0.78	全 Ca Ca ⁺⁺	5.4 2.5	4.9 2.3	5.2 2.5	5.3 2.5	— —	5.3 2.5	5.4 2.6	5.5 2.6	5.4 2.6	5.3 2.6	— 1.9 0
58	10	♀	800	1.17	全 Ca Ca ⁺⁺	4.2 2.0	4.4 2.0	4.4 2.0	— —	— —	4.4 2.1	4.5 2.2	4.7 2.3	4.4 2.2	4.5 2.2	+ 4.8 + 5.0
84	7	♂	1500	2.73	全 Ca Ca ⁺⁺	4.4 2.1	4.5 2.1	4.6 2.5	4.7 2.2	4.7 2.3	4.7 2.3	5.0 2.4	4.8 2.3	4.8 2.3	4.6 2.3	+ 6.8 + 9.5
147	8	♂	800	1.32	全 Ca Ca ⁺⁺	4.3 2.1	4.2 2.0	5.0 2.3	— —	— —	5.0 2.3	4.8 2.2	4.5 2.1	4.2 2.0	4.3 2.0	+16.3 +15.0
150	9	♀	1200	1.47	全 Ca Ca ⁺⁺	4.8 2.3	4.7 2.1	5.1 2.4	5.0 2.4	— —	5.0 2.3	5.0 2.4	5.0 2.4	5.1 2.4	4.9 2.2	+ 4.2 0
平 均					全 Ca Ca ⁺⁺	4.7 2.2	4.6 2.1	4.8 2.3	4.9 2.3	4.7 2.3	— —	4.9 2.4	4.8 2.3	4.7 2.3	4.7 2.3	— —
平均増減率%					全 Ca Ca ⁺⁺	0 0	-2.1 -4.5	+2.1 +4.5	+4.3 +4.5	0 +4.5	— —	+4.3 +9.1	+2.1 +4.5	0 +4.5	0 +4.5	— —

3. ヘパリンカロ新鮮血輸血例

犬番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血速度 cc/分/kg	全 Ca Ca ⁺⁺	輸血前	輸血 200cc	輸血 500cc	輸血 1000cc	輸血終了時	輸血3時間後	輸血6時間後	輸血12時間後	輸血24時間後	※
60	7	♀	1200	1.27	全 Ca Ca ⁺⁺	4.6 2.2	4.9 2.3	4.9 2.3	5.0 2.4	5.1 2.4	5.0 2.4	5.0 2.4	5.1 2.4	4.9 2.3	+10.9 + 9.1
73	7	♀	1000	1.82	全 Ca Ca ⁺⁺	5.3 2.6	5.4 2.6	5.3 2.5	5.6 2.6	5.6 2.6	5.8 2.7	5.7 2.7	5.8 2.8	5.4 2.6	+ 5.7 0
平 均					全 Ca Ca ⁺⁺	5.0 2.4	5.2 2.5	5.1 2.4	5.3 2.5	— —	5.4 2.6	5.4 2.6	5.5 2.6	5.4 2.5	— —
平均増減率%					全 Ca Ca ⁺⁺	0 0	+4.0 +4.2	+2.0 0	+6.0 +4.2	— —	+8.0 +8.3	+8.0 +8.3	+10.0 + 8.3	+8.0 +4.2	— —

4. 10%クエン酸ソーダ単独注入例

犬番号	体重 kg	性	注入量 cc	注入速度 cc/分/kg	全 Ca Ca ⁺⁺	注入前	注入 10cc	注入 25cc	注入 50cc	注入3時間後	注入6時間後	注入12時間後	注入24時間後	*
7	10	♂	50	0.08	全 Ca Ca ⁺⁺	5.1 2.2	4.4 2.0	5.1 2.3	5.3 2.6	5.0 2.4	4.8 2.3	5.1 2.4	5.0 2.4	3.9 18.1
88	7	♂	50	0.09	全 Ca Ca ⁺⁺	5.0 2.4	4.8 2.3	5.1 2.5	5.5 2.7	5.3 2.6	5.1 2.5	5.1 2.5	5.0 2.4	10.0 12.5
92	11	♂	50	0.09	全 Ca Ca ⁺⁺	4.3 2.2	4.1 2.0	4.5 2.3	4.9 2.5	死 亡				

平 均	全 Ca	4.8	4.4	4.9	5.2	5.2	5.0	5.1	5.0	—
	Ca ⁺⁺	2.3	2.1	2.4	2.6	2.5	2.4	2.5	2.4	—
平均増減率%	全 Ca	0	-8.3	+2.1	+ 8.3	+8.3	+4.2	+6.3	+4.2	—
	Ca ⁺⁺	0	-8.7	+4.3	+13.0	+8.7	+4.4	+8.7	+4.4	—

見られなかった。次にクエン酸ソーダ自身の影響をみるためにクエン酸ソーダ単独の注入実験（10%クエン酸ソーダ溶液 50 cc 注入）を行つた所、やはり注入初期において一時全 Ca および Ca⁺⁺ 濃度の低下がみられ、それ以後はむしろ増加する所見を得た。

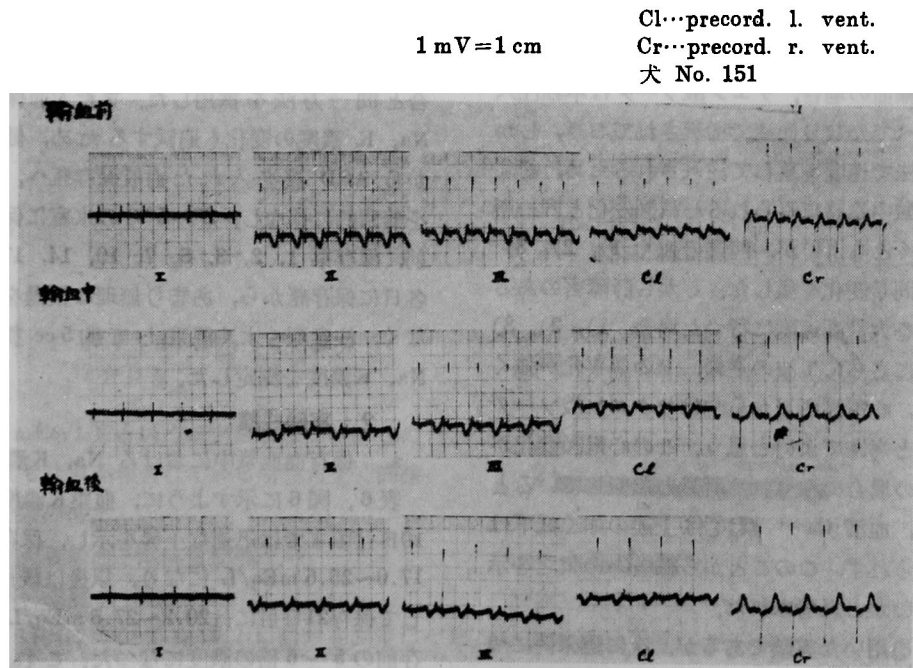
c. 心電図変化

これまで抗凝固剤として用いられるクエン酸ソーダを単独注入した場合、心電図の第Ⅱ誘導で P の扁平化、QT の延長、QRS の増高、T の逆転、心搏緩徐等がみられることが、Chang & Freeman⁹⁾ および Nakasone⁴⁰⁾、Howland³⁸⁾ 等により報告および確認され、この所見は低 Ca 血症の場合に見られる心電図変化と類似していることが指摘されてきた。私はさらにこの点を追究してみるため、保存血大量輸血実験および対照として行つた新鮮血輸血実験、クエン酸ソーダ単独実験およびクエン酸塩の作用を除外するために行つたヘパリン加新鮮血輸血実験に

便乗して、その輸血前と輸血中と、輸血直後に夫々心電図（Ⅰ、Ⅱ、Ⅲ誘導、単極肢誘導、胸部誘導で右室曲線、左室曲線）を撮り、電解質との関係を調べてみた。

まず保存血輸血例（犬 No. 79, No. 91, No. 95, No. 151）では 1) RR 間隔の延長、2) R および T の増高、3) P 特に PⅡの平低化、4) QT の軽度の延長が輸血後にみられた。図 5 は No. 151 の心電図変化を示す。新鮮血輸血例（犬 No. 58, No. 84）でも保存血の場合と同様の所見を示した。クエン酸ソーダ単独注入例（犬 No. 88, No. 92）においては 1) P 特に PⅡの平低化、2) T の平低化および逆転、3) QT の延長がみられ、T において前 2 者の実験と反対の所見がみられた。次にヘパリン加新鮮血輸血（犬 No. 60, No. 73）では保存血および新鮮血の場合と同じく P の平低化、QT の軽度の延長、R、T の増高がみられた。

図 5 大量輸血心電図変化（実験例）



3. 小 括

以上の輸血実験の結果を要約してみると、血清

Na 濃度は輸血によりやや増加し、血清 Cl 濃度は僅かに減少し、また血清 K 濃度はやや減少傾向、血全清 Ca および Ca⁺⁺ 濃度は最初一時減少した後軽

度の増加傾向を示すことを認めた。しかしそれぞれの濃度の変動は僅少で、殆んど正常濃度内での変化で、有意の知見を得なかつた。また輸血速度および輸血血液の保存日数が、それぞれの血清濃度に変化をおよぼすのではないかと考え、輸血前に対する輸血終了時の増減率をとつて調べてみるに、輸血速度とではK、保存日数とではNa、Caが僅かの関係を示したのみで、これもあまり著明な関係はみられなかつた。次に対照として行つた新鮮血輸血例では、さらに血清濃度の変動は僅かであつた。しかし血清Ca濃度においては、保存血、新鮮血輸血をとわず、輸血初期において一時血清濃度の低下がみられ、クエン酸ソーダ注入例でも同一所見を示し、以後はいずれもやや増加傾向にあり、このことから抗凝固剤であるクエン酸ソーダの作用とCaとの関係が思考される。次に保存血液中の血漿Na、Kの変化であるが、犬実験例においても、保存につれ血漿K濃度の上昇をおこし、反対に血漿Na濃度の低下する所見を得た。次に心電図変化であるが、輸血例（保存血、新鮮血、ヘパリン加新鮮血輸血例）ではいずれも1) 一般にPの多少の平低化、2) QTの軽度の延長、3) RR間隔の軽度の延長、4) Tの増高がみられ、クエン酸ソーダを用いないヘパリン加輸血でも同様の所見がみられることから、必ずしもクエン酸ソーダによつてこれらの変化が現われるとは考え難い。クエン酸ソーダ単独注入例では前述の1)、2)、3)と同一所見を呈するが、T波は反対に低下または逆転を示す。輸血の場合、クエン酸ソーダは単独注入の場合に比べてかなり血液で希釈されており、しかも持続点滴法で速度を落して注入されるため、必ずしもクエン酸中毒時にみられる心電図変化と同一所見を示さなくともよいが、前述の如く1)、2)、3)においては同じ変化を呈した。しかし肝障害のある患者に輸血を大量高速度に行つた場合、1)、2)、3)の所見の上にさらにT波の逆転、Pの扁平化が強く現われれば、心電図所見からやはりクエン酸ソーダによる変化と考えるとよいと思う。この心電図変化が低Ca血症の場合にみられる所見と類似しているといわれるが、血清Ca⁺⁺濃度は上述の如く低下はほとんど見られず、このことから組織Caの欠乏を示すのではないかと思考された。

以上は犬を用いた実験であるが、次に臨床例についても血清電解質濃度を測定し、本研究の参考とした。

Ⅲ. 臨 床 実 験

1. 実験方法

a. 実験対照

臨床上手術等の侵襲を加えない患者で、大量の輸血が行われる例に遭遇する機会が殆んど得られないので、主として外科手術中に行われる比較的大量輸血例を実験対照として本実験を行つた。NaおよびCl測定実験例と、KおよびCa測定実験例とは別々の患者群を対照とした。

b. 輸血方法

臨床上一般に行われる点滴輸血方法によつて輸血を行い、輸血血液は日本血液銀行神戸支社の保存血（4～20日間保存）を使用した。抗凝固剤はACD液（組成は前述）で血液との割合は血液100ccにつき25cc添加されてある。輸血にあたりいずれも患者血とクロスマッチ試験を行い、その適合を確認してから使用した。輸血は主に足背の静脈から行い、輸血速度は常に出血量より1～2割overするように加減したので一定ではない。

c. 検査事項および測定方法

輸血前および輸血500、1000、1500、2000、3000cc毎、および輸血終了時、輸血後6、12、24、48時間毎に、それぞれ肘部の皮静脈から採血を行い、直ちに血清を分離して血清Na、Cl、K、Ca濃度の測定を行つた。血清Caは全Ca濃度とCa⁺⁺濃度を無論測定した。測定方法は前述の動物実験の場合と同一方法を採用した。また人血保存中の血漿Na、K濃度の変化も追試するため、健康成人5例からACD液を入れた血液保存瓶へ、その静脈血を無菌的に採血し、2°～5°Cの氷室に保存し、保存前、保存第1、2、3、5、7、10、14、17、21日目の各日に保存瓶から、あまり無理な振盪を加えることなく、注意深くよく混和して約5cc採血し、血漿Na、K濃度を測定した。

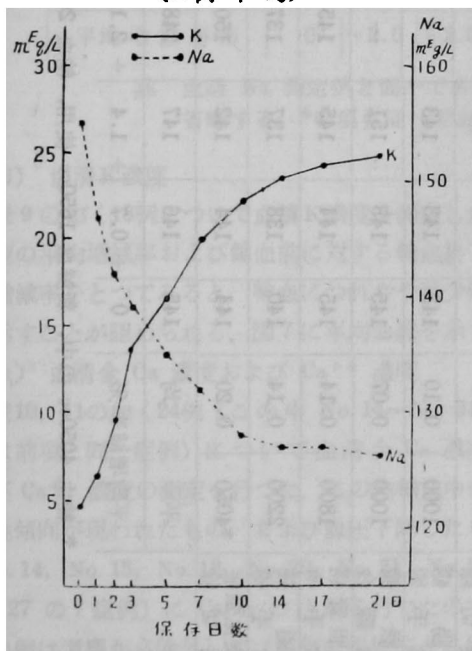
2. 実験成績

a. 保存血血漿中におけるNa、K濃度の変化

表6、図6に示すように、血漿K濃度は保存7～10日目頃までは迅速な上昇を示し、保存10日目には17.0～25.6 mEq/Lになり、以後は緩徐な上昇を示して保存21日目には20.2～27.5 mEq/Lとなり、保存前の5～6倍の濃度になつた。これに対し血漿Na濃度はKの変化と全く反対の傾向、すなわち保存10日目までに急速な減少を示し、以後は緩徐な減少となり、保存21日目には120～130 mEq/L（保存

表 6 保存血血漿 Na, K 濃度 (mEq/L)

例	保存日数	前	1	2	3	5	7	10	14	17	21
I	K	4.8	6.5	11.4	16.2	18.2	21.5	24.7	26.3	26.5	27.1
	Na	155	151	149	138	135	134	131	132	130	128
II	K	3.8	5.0	8.3	12.5	15.0	18.8	21.2	22.6	23.4	24.1
	Na	161	153	145	146	143	138	133	131	133	130
III	K	3.9	6.1	8.7	10.4	12.7	16.3	17.0	18.5	19.1	20.2
	Na	152	142	143	139	134	131	120	118	121	120
IV	K	5.0	7.6	9.8	15.2	19.4	21.0	22.7	23.4	24.1	24.8
	Na	158	145	141	140	137	137	135	130	128	127
V	K	4.3	6.4	9.0	14.3	17.5	22.2	25.6	26.0	27.4	27.5
	Na	148	144	133	131	124	122	122	125	123	124
平均	K	4.4	6.3	9.4	13.7	16.6	20.0	29.2	23.4	24.1	24.7
	Na	155	147	142	139	135	132	128	127	127	126

図 6 保存血血漿 Na, K 濃度
(5例平均)

前 148~161 mEq/L) という低い値となつた。この所見はこれまで諸家が報告している所見と全く同様であることを確め得た。

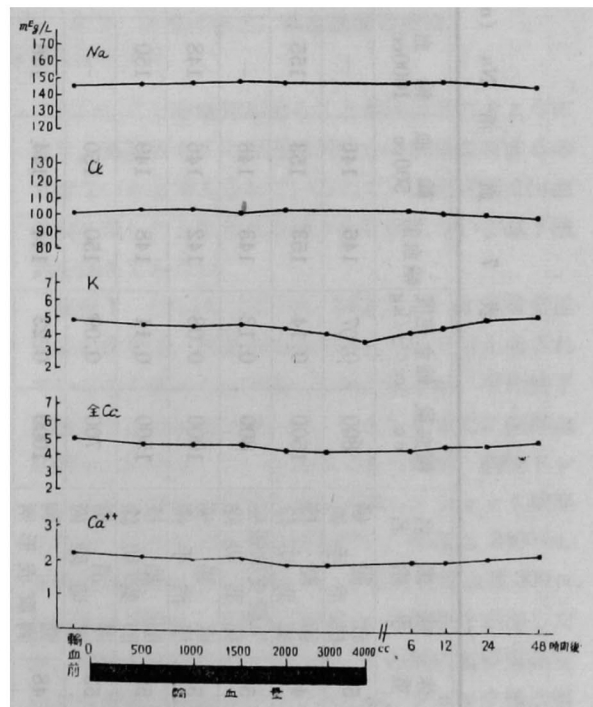
b. 保存血大量輸血と電解質変動

i) 血清 Na 濃度

表 7 の如く 14 例について血清 Na 濃度を測定したが、大体輸血につれて多少増加傾向を示す結果を得た。しかし正常血清濃度内での変化で、あまり有意の変化とは思われない。また輸血量の多少におま

終了時の増減率をとつてみたが、0~+6.8% 程度の増加率であつた。図 7 はこの平均曲線を示す。

図 7 血清電解質 (臨床例)



ii) 血清 Cl 濃度

前項と同じ 14 例について血清 Cl 濃度を測定したが、表 8 の如く僅かに増加傾向がみられるが、これも殆んど有意の変化とは認められなかつた。図 7 はこの平均曲線を示す。

表 7 血 清 Na (mEq/L) ※輸血前に対する輸血終了時の増減率(%)

患 者 番 号	性 別	年 令	体 重	疾 患 名	輸血量 cc	輸血速度 cc/分/kg	輸血前	輸血 500cc	輸血 1000cc	輸血 1500cc	輸血 2000cc	輸血 終了時	輸血後 6時間	輸血後 12時間	輸血後 24時間	輸血後 48時間	※
1	F. K.	♂	53	直腸癌	800	0.07	146	146	—	—	—	147	149	147	145	142	+ 0.7
2	H. I.	♂	35	肺葉切除	1500	0.14	153	153	155	156	—	156	154	154	151	150	+ 2.0
3	C. I.	♀	26	気管支拡張症	800	0.12	143	148	—	—	—	152	152	151	151	150	+ 6.3
4	S. N.	♂	64	直腸癌	1000	0.08	142	146	148	—	—	148	148	149	147	142	+ 4.2
5	M. H.	♂	48	肺葉切除	1500	0.11	148	149	150	149	—	149	150	151	148	150	+ 6.8
6	S. S.	♂	44	胃潰瘍	700	0.09	150	150	—	—	—	150	146	144	147	145	0
7	H. I.	♂	35	胸廓成形術	1000	0.23	144	144	146	—	—	146	144	143	145	144	+ 1.4
8	M. T.	♂	40	食道癌	2000	0.14	147	147	151	150	150	150	149	145	142	140	+ 2.0
9	T. Y.	♂	49	肺葉切除	1000	0.11	141	144	146	—	—	146	145	143	141	143	+ 3.5
10	N. O.	♂	60	直腸癌	1000	0.10	143	143	143	—	—	143	140	145	143	140	0
11	H. S.	♂	50	動脈瘤	1000	0.07	145	145	151	—	—	151	146	146	143	141	+ 4.1
12	U. Y.	♂	56	総胆管癌	1800	0.14	145	144	145	145	—	145	143	146	148	136	0
13	S. A.	♂	40	食道癌	2200	0.14	140	138	137	137	141	143	148	145	141	140	+ 2.1
14	M. K.	♂	24	気管支拡張症	*4050	0.20	144	144	142	150	151	4000cc 150	死 亡				—
平 均					均		145	146	147	148	147	—	147	147	146	144	—
平均増減率%							0	+ 0.7	+ 1.4	+ 2.1	+ 1.4	—	+ 1.4	+ 1.4	+ 0.7	— 0.7	—

* 輸血 4050cc の中, 新鮮血 1650cc 使用, 輸血 2000cc 以後採血不能, 輸血 4000cc で動脈血より採血し測定す。

表 8 血 清 Cl (mEq/L) ※輸血前に対する輸血終了時の増減率 (%)

番号	患 者	量 血輸 cc	輸 血 前	輸 血 500cc	輸 血 1000cc	輸 血 1500cc	輸 血 2000cc	輸 血 終了 時	輸 6 時 後間	輸12 時 後間	輸24 時 後間	輸48 時 後間	※
1	F. K.	800	109	110	—	—	—	108	105	106	104	104	— 0.9
2	H. I.	1500	90	90	90	95	—	95	88	85	80	79	+ 5.6
3	C. I.	800	84	84	—	—	—	84	87	89	90	85	0
4	S. N.	1000	104	104	104	—	—	104	111	111	113	107	0
5	M. H.	1500	94	101	104	105	—	105	103	106	109	101	+11.7
6	S. S.	700	97	98	—	—	—	90	94	91	87	80	— 7.2
7	H. I.	1000	99	103	102	—	—	102	102	106	103	103	+ 3.3
8	M. T.	2000	96	99	101	101	101	101	104	102	100	96	+ 5.2
9	T. Y.	1000	117	115	107	—	—	107	101	100	98	103	— 8.6
10	N. O.	1000	108	117	115	—	—	115	118	110	116	105	+ 6.5
11	H. S.	1000	103	105	105	—	—	105	106	105	97	95	+ 1.9
12	U. T.	1800	104	105	106	106	—	106	104	105	106	110	0
13	S. A.	2200	103	100	96	96	101	103	102	100	101	103	0
14	M. K.	*4050	103	105	105	105	106	4000cc 101	死 亡				—
	平 均		101	103	103	101	103	—	102	101	100	98	—
	平均増減率%		0	-2.0	+2.0	0	-2.0	—	+1.0	0	-1.0	-3.0	—

註 血清 Na 測定例と同一であるため、性、年齢、体重疾患名、輸血速度の項は省略する。*の項も同一であるので説明は省略する。

iii) 血清K濃度

表9の如く18例について血清K濃度を測定したが、各例の平均増減率および輸血前に対する輸血終了時の増減率をとつてみると、輸血につれやや減少傾向を示すことが認められる。図7に平均曲線を示す。

iv) 血清全 Ca 濃度および Ca⁺⁺ 濃度

表10, 11の如く24例（この中 No. 14~No. 31 までは前項と同一症例）について血清全 Ca 濃度および Ca⁺⁺ 濃度の測定を行つた。この内輸血中に出血性傾向が現われたもの、および血圧下降したもの（No. 14, No. 15, No. 18, No. 20, No. 21, No. 22, No. 27 の7症例）に CaCl₂ の注射を行つたので、この例は考察から除外して（各例の平均をとる場合これらの例は除外した）平均増減率および輸血前に対する輸血終了時の増減率を出して調べてみると、輸血につれそれぞれ減少傾向を示すことが認められた。図7にそれぞれの平均曲線を示す。

3. 小 括

以上の臨床例について検討してみると、血清 Na, Cl 濃度は僅かに増加傾向、血清K, 全 Ca, Ca⁺⁺ 濃度は僅かに減少傾向がみられたが、いずれも有意の変動とは認められなかつた。しかし最近大量輸血

にさいして出血傾向が起ることが注目されるようになり、電解質もこの原因に何らかの関係を有するのではないかと考えられているので、上記症例で出血傾向を起したと思われる個々の症例について以下検討を加えてみたい。

症例1. (No14, 川○稔, 24才, ♂) は気管支拡張症の患者で、肺葉切除術を施行し、充分止血されているのを確めた後閉胸した例であるが、手術終了直後より出血傾向が現われ、このときまでに保存血 1000 cc を輸血しているのみであつたが、胸腔ドレーンよりの出血が多量で血圧下降し、ショック状態となり、このため輸血を反復行い、保存血 2400 cc, 新鮮血 1650 cc, 計 4050 cc, さらに乾燥血漿 300 cc, Dextran 250 cc, 5%糖 1000 cc の補液を追加したが、術後4時間目に死亡した。この例に電解質測定のため静脈血採取を行つていたが、ショック後次第に採血が困難となり、輸血 2000 cc 以後は全く採血不能となり、このため輸血 4000 cc のとき（死亡直前）股動脈より動脈血を採取した。血清 Na, Cl, K 濃度は測定するに殆んど変化がなかつたが、血清全Ca, Ca⁺⁺ 濃度は（輸血前値 Ca 4.7 mEq/L, Ca⁺⁺ 2.2 mEq/L）次第に減少傾向を示し（輸血 2000 cc のとき全 Ca 4.1 mEq/L, Ca⁺⁺ 1.9

表 9 血 清 K (mEq/L) ※輸血前に対する輸血終了時の増減率 (%)

番 号	患 者	性	年 令	体 重 kg	疾 患 手 術 名	輸 血 量 cc	輸 血 速 度 cc/分	輸 血 前	輸 血 300cc	輸 血 600cc	輸 血 900cc	輸 血 1200cc	輸 血 1500cc	輸 血 2000cc	輸 血 3000cc	輸 血 終了 時	輸 血 6 時 後	輸 血 12 時 後	輸 血 24 時 後	輸 血 48 時 後	※	備 考
14	M. K.	♂	24	51	食管支拡張症 肺葉切除	4050	0.20	5.0	5.0	5.1	5.0	5.2	5.0	4000cc 5.5	—	4000cc 5.5	3.5	3.0	3.1	3.9	—	前項で説明
15	Y. T.	♀	57	47	胃腸 胃切除術	1200	0.21	4.6	5.0	3.4	—	—	—	3.1	—	3.1	6.1	6.2	6.4	—	-32.6	
16	F. T.	♂	61	51	胃腸 胃切除術	1000	0.08	6.2	5.3	4.6	—	—	—	4.6	—	4.6	6.1	6.1	6.2	6.4	-25.8	
17	K. T.	♂	55	52	胃腸 胃切除術	1500	0.16	4.9	4.1	4.3	3.8	—	—	3.8	—	3.8	3.7	4.2	4.5	4.9	-22.4	
18	L. K.	♂	56	45	肺腺癌 肺葉切除	4100	0.27	3.8	5.0	5.8	6.0	4.5	4.2	4.0	4.2	4.0	3.5	3.7	6.8	4.5	+ 5.3	輸血後3時間して再び 300cc 輸血す
19	K. S.	♂	59	48	食道 根治手術	2000	0.20	4.7	4.5	4.4	—	4.3	—	4.3	—	4.3	4.4	4.8	—	4.9	- 8.5	
20	K. M.	♂	45	58	肺結核 肺葉切除	6600	0.29	5.4	—	4.6	—	4.3	3.9	4000cc 3.6	—	4000cc 3.6	—	死	亡	—	-33.3	4000cc以後測定不能輸血量 の中に新鮮血1200ccを含む
21	S. U.	♀	56	36	直腸 根治手術	3600	0.36	4.0	4.3	4.7	4.0	3.8	—	3.8	—	3.8	4.6	5.3	5.8	5.3	- 5.0	
22	M. K.	♀	37	38	食管支拡張症 肺葉切除	1700	0.25	5.2	3.6	3.8	4.0	—	—	4.2	—	4.2	3.2	3.9	4.4	5.4	-19.2	輸血後2時間して再び保存 血2000cc 新鮮血600cc 追加
23	K. K.	♂	20	68	肺結核 肺葉切除	1000	0.07	4.7	3.8	3.8	—	—	—	3.8	—	3.8	4.2	4.0	3.6	5.2	-19.1	
24	E. S.	♀	28	36	食管支拡張症 肺葉切除	1000	0.15	5.2	4.6	4.1	—	—	—	4.1	—	4.1	3.5	4.0	4.8	5.5	-21.2	
25	K. K.	♂	47	54	胃腸 胃切除術	800	0.08	4.3	4.1	—	—	—	—	4.4	—	4.4	3.6	4.3	4.7	4.2	+ 2.3	
26	S. I.	♂	23	42	肺結核 肺全剝術	1500	0.20	5.4	5.6	5.4	5.4	—	—	5.4	—	5.4	6.2	死	亡	—	0	
27	M. S.	♀	26	50	肺腺癌 肺葉切除	1500	0.12	4.6	4.0	3.8	4.7	—	—	4.7	—	4.7	5.9	5.8	5.9	5.7	+ 2.2	
28	H. N.	♂	23	58	第四性病 直腸切除術	1700	0.14	4.7	5.1	5.0	5.0	—	—	5.0	—	5.0	3.0	4.8	5.2	5.5	+ 6.4	輸血後4時間して新鮮血 400cc 追加
29	T. S.	♂	60	49	直腸 根治手術	800	0.09	5.4	4.8	—	—	—	—	4.7	—	4.7	—	5.1	4.9	4.9	-13.0	
30	Y. A.	♂	27	56	肺結核 肺葉切除	1000	0.11	5.5	5.0	4.4	—	—	—	4.4	—	4.4	3.9	4.7	5.1	5.5	-20.0	
31	S. T.	♂	52	45	食道 根治手術	1000	0.11	5.1	4.8	5.1	—	—	—	5.1	—	5.1	4.2	4.5	4.9	4.8	0	
平 均							均	4.9	4.6	4.5	4.7	4.4	4.1	—	—	—	4.2	4.5	5.0	5.1	—	
平均増減率%							0	-6.1	-8.2	-4.1	-10.2	-16.3	—	—	—	—	-14.3	-8.2	+2.0	+4.1	—	

表 10 血清全 Ca (mEq/L)

番号	患者	性	年齢	体重 kg	疾患名 手術名	輸血量 cc	輸血速度 cc/分/kg	輸血前	輸血 500cc	輸血 1000cc	輸血 1500cc	輸血 2000cc
14	M. K.	♂	24	51	気管支拡張症 肺葉切除術	4050	0.20	4.7	4.6	4.7	4.8	4.1
15	Y. T.	♀	57	47	胃潰瘍 胃切除術	1200	0.21	5.2	4.1	4.7	—	—
16	F. T.	♂	61	51	胃癌 胃切除術	1000	0.08	5.5	5.7	5.2	—	—
17	K. T.	♂	55	52	胃癌 胃切除術	1500	0.16	4.7	4.3	4.9	4.9	—
18	L. K.	♂	56	45	肺壊疽 肺葉切除術	4100	0.27	4.3	4.4	4.4	4.5	4.2
19	K. S.	♂	59	48	食道癌 根治手術	2000	0.20	5.3	5.3	5.0	—	4.7
20	K. M.	♂	45	58	肺結核 肺葉切除術	6600	0.29	5.5	—	5.1	—	4.8
21	S. U.	♀	56	36	直腸癌 根治手術	3600	0.36	5.5	6.0	5.5	5.3	*6.4
22	M. K.	♀	37	38	気管支拡張症 肺葉切除術	1700	0.25	5.9	5.0	5.9	5.3	—
23	K. K.	♂	20	68	肺結核 区域切除術	1000	0.07	5.5	4.7	4.7	—	—
24	E. S.	♀	28	36	気管支拡張症 肺葉切除術	1000	0.15	4.6	4.2	4.5	—	—
25	K. K.	♂	47	54	胃癌 胃切除術	800	0.08	4.7	4.7	—	—	—
26	S. I.	♂	23	42	肺結核 全切除術	1500	0.20	4.8	4.5	4.3	4.2	—
27	M. S.	♀	26	50	肺葉切除術 肺結核	1500	0.12	5.5	4.9	5.1*	4.2*	—
28	H. N.	♂	23	58	第四性病 直腸切除術	1700	0.14	4.4	5.3	4.2	4.5	—
29	T. S.	♂	60	49	直腸癌 根治手術	800	0.09	4.8	4.7	—	—	—
30	Y. A.	♂	27	56	肺結核 区域切除術	1000	0.11	4.5	4.4	4.0	—	—
31	S. T.	♂	52	45	食道癌 根治手術	1000	0.11	4.2	3.8	3.8	—	—
32	T. K.	♂	26	57	肺結核 区域切除術	1200	0.07	5.2	4.8	4.4	—	—
33	T. M.	♂	49	49	胃癌 全切除術	2200	0.12	4.9	4.6	4.3	4.4	4.3
34	T. K.	♂	48	38	食道癌 根治手術	2800	0.14	5.5	5.5	5.0	4.7	4.8
35	H. H.	♀	47	45	出血性胃潰瘍 (手術せず)	600	0.19	5.1	—	—	—	—
36	M. Y.	♂	42	54	胃癌 胃切除術	1300	0.09	5.5	4.5	4.2	—	—
37	T. G.	♂	29	57	肺結核 肺葉切除術	2000	0.14	5.2	4.4	4.4	4.1	3.9
平均								5.0	4.7	4.7	4.7	4.4
平均増減率%								0	-6.0	-6.0	-6.0	-12.0

mEq/L), このため輸血 3500 cc のとき CaCl_2 0.8g の注射を行い, 動脈血ではあるが, 4000 cc 輸血時には全 Ca, Ca^{++} 濃度共に上昇したが (全 Ca 5.1 mEq/L, Ca^{++} 2.5 mEq/L), その直後に死亡した。しかし大体特に著明な電解質の大変動はみられなかった。

症例 (No. 20, 三〇寛, 45才, ♂) は肺結核の患者でやはり肺葉切除術を施行した例であるが, 術中保存血 2400 cc 輸血し, 閉胸を始めた頃から胸壁創面, 胸腔内から瀰漫性に何処からともなく出血し始め, 創閉鎖後も胸腔ドレナージから出血が続き, このためショック状態となり, さらに輸血を追加し

※輸血前に対する輸血終了時の増減率

* 印の値は Ca Cl₂ 注射後のため、平均には除外した。

輸血3000cc	輸終了血時	輸6血時後間	輸12血時後間	輸24血時後間	輸48血時後間	※	備 考
—	4000cc 5.1*	死 亡				—	輸血3500cc のとき Ca Cl ₂ 0.8g 注射
—	4.9	4.7	*5.2	*5.4	*5.0	— 5.8	輸血後7, 10時間後に Ca Cl ₂ 0.4g 注射
—	5.2	4.2	4.6	5.0	5.2	— 5.5	
—	4.9	4.4	4.8	4.2	4.6	+ 4.3	
4.2	4.1	*4.3	*4.1	*5.1	*5.0	— 4.7	輸血後5時間で Ca Cl ₂ 0.8g 注射
—	4.7	4.8	4.3	—	4.9	— 7.5	
4.4	4000cc 4.7*	死 亡				—14.5	輸血3800cc のとき Ca Cl ₂ 0.8g 注射4000cc 以後測定不能
—	*7.6	*4.3	*4.5	*5.3	*5.4	+38.2	輸血1800cc のとき Ca Cl ₂ 0.8g 注射
—	*7.0	*5.6	*5.5	*5.3	*5.5	+18.7	輸血1600cc および終了後1時間して Ca Cl ₂ 0.8g 注射
—	4.7	4.8	4.4	4.3	4.9	—14.5	
—	4.5	4.0	4.1	4.8	5.2	— 2.2	
—	4.1	4.8	5.0	5.2	5.1	—12.8	
—	4.2	4.5	死 亡			—12.5	
—	*4.2	*4.3	*4.5	*5.3	*5.5	—24.6	輸血700cc のときCa Cl ₂ 0.8g 注射
—	4.2	4.1	4.3	4.4	4.6	— 4.6	
—	4.6	—	4.7	5.0	5.0	— 4.2	
—	4.0	3.5	4.0	4.2	4.0	—11.1	
—	3.8	4.1	4.1	3.6	4.1	— 9.5	
—	4.4	—	4.8	5.0	5.1	—17.0	
—	4.2	4.4	5.0	5.1	5.0	—15.2	
—	4.8	5.2	5.9	5.4	5.3	—12.7	
—	5.2	—	—	—	—	+ 1.9	
—	4.2	4.0	4.2	4.5	5.2	—23.6	
—	3.9	3.8	5.0	5.1	5.1	—25.0	
4.3	—	4.4	4.6	4.7	4.9	—	
—14.0	—	—12.0	—8.0	—6.0	—2.0	—	

て総量 6600 cc となり、また昇圧剤、止血剤、強心剤、CaCl₂ 等の注射を行つたが、出血はさらに増加し、術後3時間目に死亡した。この時も血清全 Ca および Ca⁺⁺ 濃度は軽度の減少傾向を示し、血清 K 濃度も減少傾向がみられた。

症例 3 (No. 22, 久○光○, 37才, ♀) は気管支

拡張症に対し同じく肺葉切除術を施行した例であるが、術中保存血 1300 cc 輸血した頃に、軽度ではあるが術創から出血傾向が現われ血圧下降を来したが、なお保存血輸血を続けながら予定通り手術を完了したが、術後再び血圧が80に下降したので保存血 200 cc と CaCl₂ 0.8 g を注射したが血圧上昇せず、さ

らに新鮮血 600 cc を追加輸血して始めて血圧を維持することが出来た。この例の血清 K 濃度は減少傾向にあるが、血清全 Ca および Ca^{++} 濃度は殆んど不変で、 CaCl_2 注射後は無論濃度の上昇をみている。

以上 3 例の出血傾向を来した例について考察すると、出血傾向は必ずしも血清 Ca 濃度と関係してないように思われるが、まだ例数が少いので断定の域に達していない。Bunker は超大量輸血で血清 Ca^{++} 濃度の著明な減少をおこす例があると指摘し、作用が一時的であるにせよ CaCl_2 等の Ca 剤の注射を

すすめているが、私も上述の術中、術後に出血傾向を起した例や、輸血量の多いもの、出血量が多く血圧下降するものに 2% CaCl_2 20 cc 注射液を 1~2 筒注射しているが、注射後一時的ではあるが血圧の上昇と血清全 Ca および Ca^{++} 濃度の増加が現われてくる。しかし 1~2 時間後には血清 Ca 濃度は正常値に戻り、血圧も同じく元に復するのがみられた。私の例では輸血量はそう多くはないが、しかし輸血後多少 Ca 濃度は減少傾向にあるので、やはり CaCl_2 の注射は試みてよいのではないと思われる。

表 11 血 清 Ca^{++} (mEq/L) ※輸血前に対する輸血終了時の増減率 (%)

番号	患 者	輸血量 cc	輸血前	輸血 500cc	輸血 1000cc	輸血 1500cc	輸血 2000cc	輸血 3000cc	輸 了 時	輸 6 時 後	輸 12 時 後	輸 24 時 後	輸 48 時 後	※
14	M. K.	4050	2.2	1.7	1.8	2.0	1.9	—	4000cc 2.5*	死 亡				—
15	Y. T.	1200	2.4	2.0	2.2	—	—	—	2.3	2.1	*2.4	*2.5	*2.3	— 4.2
16	F. T.	1000	2.5	2.6	2.4	—	—	—	2.4	1.9	2.0	2.2	2.4	— 4.0
17	K. T.	1500	2.2	2.0	2.3	2.2	—	—	2.2	2.2	2.3	1.9	2.0	0
18	L. K.	4100	2.0	2.0	2.0	2.1	2.0	1.8	1.8	*1.9	*2.0	*2.4	*2.3	—10.0
19	K. S.	2000	2.2	2.2	2.1	—	2.0	—	2.0	1.7	1.8	2.0	2.1	— 7.5
20	K. M.	6600	2.3	—	2.1	—	2.0	1.9	4000cc *2.2	死 亡				—14.5
21	S. U.	3600	2.2	2.6	2.3	2.2	*3.2	—	*3.6	*2.1	*2.2	*2.6	*2.6	+38.2
22	M. K.	1700	2.5	2.1	2.7	2.4	—	—	*3.2	*2.6	*2.5	*2.5	*2.6	+18.7
23	K. K.	1000	2.2	1.9	1.9	—	—	—	1.9	2.0	2.0	1.9	2.0	—13.6
24	E. S.	1000	2.0	1.8	1.9	—	—	—	1.9	1.8	1.9	2.1	2.2	— 5.0
25	K. K.	800	2.1	1.8	—	—	—	—	1.6	1.9	1.8	2.1	2.4	—23.8
26	S. I.	1500	2.2	2.1	2.0	2.0	—	—	2.0	2.2	死 亡			—12.5
27	M. S.	1500	2.3	1.8	*2.0	*1.7	—	—	*1.7	*1.9	*1.9	*2.3	*2.3	—26.1
28	H. N.	1700	2.0	2.0	1.9	1.9	—	—	1.8	1.8	1.9	2.0	2.1	—10.0
29	T. S.	800	1.9	1.9	—	—	—	—	1.9	—	2.0	2.1	2.1	0
30	Y. A.	1000	2.1	2.1	1.8	—	—	—	1.8	1.9	2.0	1.6	1.7	—14.3
31	S. T.	1000	1.8	1.7	1.8	—	—	—	1.8	2.0	2.0	1.8	1.8	0
32	T. K.	1200	2.5	2.3	2.0	—	—	—	2.0	—	2.2	2.3	2.4	—20.0
33	T. M.	2200	2.2	2.1	2.0	2.0	1.9	—	1.9	2.0	2.3	2.3	2.3	—13.6
34	T. K.	2800	2.6	2.6	2.3	2.1	2.1	—	2.1	2.4	2.6	2.5	2.5	—19.2
35	H. H.	600	2.3	—	—	—	—	—	2.4	—	—	—	—	+ 4.3
36	M. Y.	1300	2.4	2.0	2.0	—	—	—	2.0	1.8	1.7	2.1	2.4	—16.7
37	T. G.	2000	2.3	2.1	2.1	1.9	1.6	—	1.6	1.6	1.8	2.0	2.2	—30.4
平 均			2.2	2.1	2.1	2.1	1.9	1.9	—	2.0	2.0	2.1	2.2	—
平均増減率%			0	—4.5	—4.5	—4.5	—13.6	—13.6	—	—9.1	—9.1	—4.5	0	—

註、症例は前項全 Ca 濃度測定例と同一であるため、性、年令、体重、疾患名、輸血速度備考および*の項の説明は省略する。

IV. 総括並びに考按

緒言に述べたごとく, Duliere²¹⁾ (1931) が初めて人血保存において血漿Kが進行性に増加することを記録したのを嚆矢として以来, Jeanneney²²⁾ (1938), Scudder²³⁾ (1939), De Gowin²⁴⁾ (1940), Downman²⁶⁾ (1940), Aylward³³⁾ (1940), Muether (1941) 等によつて 2°~5°C の氷室に保存した無菌保存血において, 溶血と関係なく血球内Kが血漿中に移行し, 保存7~10日目までは迅速な移行がみられ, 以後は緩徐な移行に移る2相性の血漿K濃度の上昇をおこすことが確認された. また Jeanneney はKと反対にNaが血漿より血球内に移行し, 血漿濃度の低下をおこし, Kに対して反対の鏡像的变化を示すという知見を新しく追加した. 以後この事実は内外の諸賢により追試され確められてきたが, このKとNaの, 血球と血漿との間のイオン交換に関する機転については未だ充分解明されていない. しかし一般に人血球では生物学的の嫌気的解糖作用によるエネルギーによつて, 細胞内Kが蓄積されていると考えられているが, 保存によつてこの代謝が停止し, したがつてKが細胞外に移行するのではないかと考えられている. よつて葡萄糖添加血液は, そうでない血液より保存による血漿K濃度上昇が少いといわれている. 人血球内のK濃度は血清K濃度の17~20倍であるが, 血球内Na濃度は僅かで殆んどが血漿中に存在している. この関係が保存によつて変化し, 保存15~20日目では血漿K濃度は保存前の約7倍の濃度になる. 私の実験でも動物実験, 人血実験とも同一の血漿濃度の変化を示した. 普通臨床上使用する保存血は4~20日までの期間のものをを用いているが, 10~20日間保存の血液では血漿K濃度が相当高いものを輸血することになり, 臨床上重要なことである. Scudderはこの点を強調しており, 充分K中毒をおこす濃度であるとのべている. しかし一般に臨床上では緩徐な点滴輸血を行つており, 一応この心配はないと思われ, DeGowin は血液 500 cc を12分位の速度で輸血しても無害であろうと述べている. しかしK中毒をおこすに充分な量が使用されるということが問題である. 私は犬実験例について出来るだけ速く大量輸血を行つてK濃度を測定したが, 大した変動を保存血は与えなかつた. また臨床例でも有意の変化はみられなかつた. この点に関しては DeGowin, Bunker 等も血清K濃度を測定したが, 有意の変化はみられなかつたとのべている. ではこのKは何処

に行つたのか, この点については後編で研究するが, これはおそらく細胞内へ移行し, また尿中に排泄されて血清K濃度が調節されるのではないと思われる. 細胞外液と細胞内液との間のK, Naの交換, 移行は以前は細胞膜を通しての自由の交流はおこらないと考えられていたが, 最近に至つて時々の場合に応じて通過性が常に変化し, 互に移行することが出来ることが明らかになり, 特に同位元素の使用によつて確められた. Kを過量に投与すると血清細胞内のKが増すということが判つてきた. ゆえに保存血血漿中の高濃度のKが輸血によつて注入されても前述の機転によつて血清濃度が調節されるものと思う. しかし高K血症を起すコレラ, 腸閉塞症, 糖尿病, 腎臓および肝臓, 副腎の機能不全等のKの蓄積をおこす疾患への保存血大量輸血は益々高K血症を助長し, K中毒の危険があるので, 輸血は禁忌とした方がよい.

次にCaであるが, 血清Caは蛋白と結合した非透析性Caと, 蛋白と結合しない透析性Caとに分けられているが, さらに透析性Caはイオン化したCa⁺⁺と, イオン化しないでクエン酸などと結合したCaに分けられる. しかしクエン酸等と結合したCaは殆んど問題にならぬ少量であり, 透析性Caの殆んどはイオン化していると考えられているが, このCa⁺⁺が今日臨床上重要な意味をもつていとされている. 抗凝固剤として用いられるクエン酸ソーダは血清中のCa⁺⁺と結合し, 血液の凝固性を無くすると考えられているが, この血液を大量輸血した場合, クエン酸ソーダも大量注入されるので, 当然血清Ca⁺⁺濃度が低下すると考えられ, Bunker²⁵⁾ は臨床上行われた1000~2000 cc以上の大量輸血例について末梢動脈血を採血してCa⁺⁺濃度を測定し, 血中クエン酸濃度の上昇につれてCa⁺⁺濃度の減少をおこす例のあることを指摘し, 出血による循環血量の減少と, 血清Ca⁺⁺濃度の減少が同時におこれば不利であるとのべており, テタニーをおこす危険性を強調している. しかし輸血速度が30分に500 cc以下の場合にはこの危険性はないと述べている. Wexler²⁵⁾ は小児の交換輸血の際テタニーをおこした例を報告し, Ames, Syllm, Rapoport²⁵⁾ も輸血によるテタニー例を記録している. Bunkerも7000 ccの輸血と500 ccの乾燥血漿の注射を行つてテタニーをおこして死亡した例を述べている. しかし私の行つた動物実験では血清全CaもCa⁺⁺も共に輸血初期に

一時低下するが、それ以後はむしろ増加する傾向がみられた。徳沢等⁹⁾は臨床上行われる大量輸血について血清総Ca濃度を測定し、輸血開始早期に低下するのみで以後はむしろ増加していると述べ、渋沢等¹⁹⁾の成績も同一傾向を示している。またHowland³⁸⁾等はクエン酸注入実験で血清全Ca濃度の増加を認め、 Ca^{++} 濃度は正常範囲内にあつたと述べている。Stewart⁹⁾は犬にクエン酸ソーダを静注すると、正常な犬では血清総Ca濃度は急激に上昇し、上皮小体剔除犬ではこのクエン酸ソーダの注射に耐えられず、注射すると直ちに死亡してしまい、5時間以上生きていたものでも血清Ca濃度は殆んど増加していないと述べ、骨やその他の臓器から Ca^{++} が動員されないためにおこる低Ca血症のためだろうと述べている。要するに輸血に際して同時に注入されるクエン酸ソーダによつて、実際は血清 Ca^{++} はクエン酸と結合し Ca^{++} は減少するが、これは最初の一時的な低下となつて現われ、次には諸臓器特に骨等よりのactiveな状態のCaが動員されて血流中に入り、減少を調節しようと作動し、また血清中の非透析性Caも一部イオン化されて減少量を補おうとし、このため却つてやや高めの血清Ca濃度となるのではないかとされる。最近大量輸血に際しての出血傾向が注目されるようになったが、Caは上述の如く血清濃度からは関係がないように思われるが、以上の考察から諸臓器のCaは減少していると考えられ、血清Caのこの調節機構の障害があると、テタニーおよび出血傾向等の副作用が現われるのではないかと思う。Howlandは普通クエン酸は体内で敏速に代謝され、また多くの成人は速かに貯蔵Caが移行してくることが出来るので、普通の条件下では低 Ca^{++} による中毒はおこらないが、子供、低体温麻酔、Ca代謝の障害あるいは循環障害等のあるときは一応中毒の危険性があると述べている。この問題は保存血輸血に限らず、新鮮血輸血の場合も抗凝固剤としてクエン酸ソーダを用いている以上同じことがいえるのではないかと思う。しかしKの場合は新鮮血輸血の方が、輸血血液中の血漿K濃度が保存血に比べて少いので、理想的であるのではないかと考えられる。

次に血清Na、Cl濃度の変化であるが、共に有意の変動はみられなかつた。一般にこの両者はほとんど細胞外液中に存在し、Kの場合と同じくその時々状態で自由に細胞内に移行出来るということが判つており、したがつて血清濃度もうまく調節され、

大した変動を示さないものと思われる。特にClは赤血球膜を自由に通過出来るので、血清濃度の一定の調節も自由であるとされている。

次に保存血輸血時の心電図変化であるが、すでに述べた如く、クエン酸中毒時にみられる心電図変化とは同一の所見を呈さなかつた。これは輸血の場合クエン酸ソーダは単独注入時の場合よりかなり稀釈されているので、クエン酸中毒時の場合にみられる所見を示さなかつたと思われるが、対照として行つたクエン酸単独注入例では低Ca血症時にみられるとき心電図変化を示した。しかしこの場合血清 Ca^{++} 濃度は大した変化なく、このことから組織Caの欠乏が考えられる。輸血を大量行つた場合、心電図にこのような変化が現われれば、一応クエン酸中毒として CaCl_2 等のカルシウム剤の投与が考えられ、また試みてよいと考えるが、柳沢氏⁶⁾⁹⁾によれば家兎に CaCl_2 を注射すると、一時血清 Ca^{++} 濃度は上昇するが、その後正常値よりは低い濃度以下つて、この低濃度が数時間持続するとのべ、予防的にCa剤を投与する場合に注意を要するとのべ、またAlwall, Wexler⁹⁾も投与後内因性の血清クエン酸濃度の上昇を来すとのべ、頻回の投与の危険を指摘しており、また多量注射すると反つてCa中毒をおこすことも考えられ、むやみに度々、しかも多量与えるのは危険であると思われる。

以上の研究から次の如き結論を得た。

V. 結 論

1. ACD加血液を $2^{\circ}\sim 5^{\circ}\text{C}$ の氷室に保存した場合、人血、犬血をとわず、保存につれて血漿K濃度は、保存10日目までは急激な上昇を示し、以後は緩徐な上昇に移行する2相性の濃度上昇変化を示した。これに対し血漿Naは反対の鏡像的減少変化を示した。
2. 保存血大量輸血を行つた場合、血清電解質(Na, Cl, K, Ca)はあまり有意の変動は示さなかつた。しかし僅かな変動としては、Na濃度は実験例、臨床例共に輸血につれやや軽度の上昇、Cl濃度は実験例ではやや減少、臨床例では殆んど不変であつた。K濃度は実験例では不変、臨床例ではやや減少傾向がみられたが、輸血される保存血の血漿中にKが高濃度に存在するに拘わらず濃度の上昇はみられなかつた。血清Caは全Ca、 Ca^{++} 濃度共臨床例では減少傾向、実験例では最初一時低下した後むしろ増加傾向を示した。
3. 実験例で保存血輸血の場合の血清電解質の変

動と、輸血速度および輸血血液の保存日数との関係を調べたが、あまり有意の関係はみられなかった。

4. 臨床例で特に出血傾向を起した例について考察してみたが、特に血清 Ca^{++} 濃度がこの原因をなすとは認められなかった。

5. 実験例について保存血輸血の場合の心電図変化を追究したが、特に有意の所見は得られなかった。

6. 対照実験として新鮮血輸血を行つたが、血清電解質濃度の変化では保存血輸血の場合と特に異つた知見は得られなかった。

以上を要約すると保存血の大量輸血を行つた場合、血清電解質は一定にうまく調節されており、電解質の調節機構の障碍のない場合、保存血大量輸血は電解質の面からはさほど大した危険はないと考えられ

る。しかし高K血症のある患者への保存血大量輸血は危険であり、この場合は新鮮血輸血によつた方がよいと思う。また子供、低体温麻酔、Ca代謝障碍あるいは循環障碍がある場合には、保存血および新鮮血の如何をとわず大量輸血することは電解質代謝の面からみても不適當であると思う。

擧筆するに当り、終始御懇篤なる御指導と御校閲の労を賜つた恩師津田教授並びに砂田教授に深甚の謝意を表す。

(本論文の要旨は第5回輸血学会総会、第2回中国四国輸血学会、第6回輸血学会総会において報告した)

主 要 文 献

- 1) 武内・東北実験医学, 11, 327, 568, 1928.
- 2) 井田: 日小児会誌, 58, 937, 昭29.
- 3) 林: 日本並に日本産医学実験動物の解剖学及び生理学計数(原著)
- 4) 伊藤: 日外会誌, 31, 10, 1095, 昭6.
- 5) 齊藤: 光電比色計による臨床化学検査(原著, 南山堂)
- 6) 柳沢・カルシウム及びマグネシウム新定量法と代謝(原著, 文光堂)
- 7) 佐藤: 日外会誌, 56, 8, 1070, 昭30.
- 8) 福武他: 日本臨床, 13, 70, 昭30.
- 9) 徳沢他: 臨床外科, 11, 7, 466, 昭31.
- 10) 医学のあゆみ, 21, 364, 昭31.
- 11) 高藤他: 外科, 15, 94, 昭28.
- 12) 医学のあゆみ, 22, 349, 昭31.
- 13) 加藤: 輸血学(原著, 南山堂)
- 14) 雨宮: 輸血, 輸液の常識(原著, 金原出版)
- 15) 福田, 渋谷: 輸血の臨床(原著, 協同医書)
- 16) 津田, 砂田 日本医事新報, 1733, 3, 昭32.
- 17) 砂田: 臨床と研究, 34, 8, 826, 昭32.
- 18) 津田, 砂田: 血液と輸血, 4, 1, 昭32.
- 19) 渋谷: 血液と輸血, 2, 5, 18, 昭31.
- 20) 吉川: 電解質の臨床(原著, 協同医書)
- 21) Duliere, W. L. : 23) 24) 26) より引用.
- 22) Jeanneney, G. : 23) 24) より引用.
- 23) Scudder, J. et al. : J. A. M. A., 112, 2263, 1939.
- 24) De Gowin, E. L. et al. : J. A. M. A., 114, 855, 1940.
- 25) Bunker, J. P. et al. : J. A. M. A., 157, 1361, 1955.
- 26) Downman, C. B. B. & Oliver, J. O. : British Med. Jour., 114, 4135, 1940.
- 27) Ferrebee, J. W. et al. : Am. J. physiol., 135, 230, 1941.
- 28) Allen, J. G. et al. : Surg., 15, 824, 1944.
- 29) Mc Lean, F. C., & Hasting, A. B. : J. B. C., 108, 285, 1935.
- 30) ibid., 107, 337, 1934.
- 31) Howland, W. S. et al. : Surg. Gynec. & Obst., 101, 478, 1955.
- 32) Frankin, C., Mc Lean, F. C., Hasting, A. B. : A. J. M. S., 189, 601, 1935.
- 33) Ayward, F. X. et al. : Lancet, 238, 685, 1940.
- 34) W. Ellenberger und H. Baum. : Anatomie des Hundes., 1891.
- 35) Kerr, S. E. : J. B. C., 117, 227, 1937.
- 36) Kramer, B., Tisdall, F. F. : J. B. C., 48, 223, 1921.
- 37) Operating Directions for the Model 21. Coleman Flame Photometer., 1956.
- 38) Howland, W. S. et al. : Surg. Gynec. & Obst., 105, 529, 1957.
- 39) Winkler, A. W. et al. : Am. J. physiol., 124, 478, 1938.
- 40) Nakasone, N. et al. : J. Lab. & Clin. Med., 43, 1954.

41) Harris, J. E. : J. B. C., 140, 315, 1941.

43) Holmes, J. H. & Cizek, J. J. . Am. Jour.

42) Danowski, T. S. : J. B. C., 139, 693, 1941.

Physiol., 164, 407, 1951.

Transfusion of Preserved Blood and Electrolyte Metabolism

Part I. Fluctuation of Electrolytes in Serum on Massive Transfusion of Preserved Blood

By

Kazuo SUDO, M. D.

II. Surgical Dept. Okayama University Medical School
(Director: Prof. Terutaka Sunada M. D.)

In the experiment of massive transfusion of compatible preserved blood on dogs, Na-, Cl-, K-, total Ca- and Ca-ion-concentration were determined, and electrocardiograms were taken of each case as reference simultaneously. These electrolytes were also determined on patients needed massive transfusion during surgery, and Na- and K-concentration in plasma of preserved blood were traced day by day. Results obtained are as follows:

1) In the blood stored in ice box of 2° to 5°C of temperature the serum potassium was increased, on the contrary lowered the serum sodium.

2) On massive transfusion of preserved blood, concentration of serum electrolytes of recipients showed minimum fluctuation.

3) The fluctuation of electrolytes was not significantly related to the transfusion rate, nor the preservation period of blood transfused.

4) Serum calcium-ion level was determined on the patients showed hemorrhagic tendency during surgery, but no noticeable correlation was observed.

5) The electrocardiograms showed no significant findings.

6) In the control experiment of fresh blood transfusion, the serum electrolytes did not show marked changes.

From the results obtained above, it is concluded that massive transfusion of preserved blood is not dangerous in a sense of serum electrolyte level, although it is preferable to transfuse fresh blood in the following cases; cases in the conditions which will cause hyperpotasemia, infant, cases under hypothermia and impaired calcium metabolism, or cases with circulatory disturbances.
