

保 存 血 輸 血 と 電 解 質 代 謝

第 2 編

血 球 内, 尿 中 並 に 組 織 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	3. 組織水分量
II. 実験材料並に方法	4. 組織電解質濃度
III. 実験成績	IV. 総括並に考按
1. 血球内 Na, K濃度	V. 結 論
2. 尿中電解質濃度	

I. 緒 言

前編において保存血大量輸血時における血清電解質濃度の消長について研究を行つたが、血清濃度は大体一定に調節されている結果を得た。すなわちKについてみると、血漿K濃度の高い保存血を大量輸血した場合、当然血清K濃度の上昇が考えられたが、ほとんど有意の変化を示さなかつた。これはおそらく細胞内区との交流によつて、また尿へのK排泄によつて調節されているのではないかと考えられた。またCaについてみると、抗凝固剤として用いられるクエン酸ソーダによつて、輸血後血清CaとくにCa⁺⁺濃度の低下が考えられたが、実測してみるとあまり著明な変化はみられず、これは諸臓器からのCaの遊離によつて、減少量を補つているのではないかと思考された。さらにNa, Clについてみると、やはり血清濃度は大体一定に維持されており、これは輸血後時々現われる浮腫等の原因を説明するのに不十分であると思われた。そこで私はさらにこれ等の点について深く掘下げ、その原因を確かめるために本研究を行つた。すなわち犬を用いて保存血大量輸血実験を行い、受血犬の赤血球細胞内でのNa, K濃度の変動、尿中電解質(Na, Cl, K, Ca)濃度の変化、組織中電解質濃度の消長をみるためにそれぞれの濃度測定を行い、あわせて新鮮血輸血実験を対照として試みてみた。

II. 実験材料並びに方法

実験材料は前編と同じく体重10kg前後の健康成犬を用い、また輸血用保存血の作製法、保存血輸血方法もすべて前編にのべたと同じ方法、手技を用いて実験を行つた。そして赤血球内Na, K濃度、尿中Na, Cl, K, Ca濃度および組織中Na, Cl, K, Ca濃度の測定を行つたが、さらに組織水分量の消長も観察してみるため、この測定も行つた。それぞれの材料採取法および測定方法は以下の如くである。

1. 血球内 Na, K濃度

7例の実験例について測定を行つたが、輸血および輸血終了直後、輸血後4, 24時間の各時間に、頸静脈からヘパリンで濡らした注射器によつて約5cc採血し、次のごとき方法で血球内Na, K濃度の測定を行つた。

一般に血球内電解質濃度を求める方法は色々あるが、私は下記のごとき全血濃度、血清濃度、ヘマトクリット(Ht)値から算定して求める方法¹⁸⁾¹⁹⁾を採用した。

全血濃度 (mEq/血液 1000 cc) - {血清濃度 (mEq/血清 1000 cc) × (1 - $\frac{100}{Ht}$)} = X ……血液 1000 cc 中の血球内濃度

$X \times \frac{100}{Ht}$ = 求める血球 1000 cc 中の電解質濃度

全血中の Na, K 濃度を測定する方法にはまた色々あるが、私は Coleman 火焰比色計¹⁾を用いて測定を行つた。すなわち Na 測定用として 100 cc 容メスルベン、K 測定用として 25 cc 容メスコルベンを用意し、それぞれに水（再々蒸溜水）を約半容入れる。次に採血した血液の 0.5 cc を正確に Ostwald-Folin pipette で測つて入れ、さらに Coleman 火焰比色計使用書記載の試薬をそれぞれ加えた後、水をおのおの目盛まで満し充分振盪し、血液の完全溶血をおこさせる。この Sample を Coleman (Model-22) 火焰比色計によつてそれぞれ測定し、全血 Na, K 濃度を出した。次に血清 Na, K 濃度であるが、これは前編に記述した方法で測定を行つた。次にヘマトクリット値であるが、ヘマトクリット管に血液を入れて 3000 回転で 30 分間遠心して求めた。この 3 者より求める血球内 Na, K 濃度を算定した。

2. 尿中 Na, Cl, K, Ca 濃度

前項と同じ実験例について、用じ時間に採尿（尿道カテーテル挿入または膀胱穿刺によつて採尿）し、濾過した Na, Cl, K, Ca 濃度の測定を行つた。測定方法は Na, K は Coleman 火焰比色計法を用い、Ca は Phosphate 法¹⁾、Cl は Lilver-Iodate 法¹⁾により共に光電比色計を用いて測定した。なお尿中電解質濃度は個々の例、および採尿時間によつてそれぞれ動揺が烈しいので、測定時に色々と尿を稀釈して測定を行つた。

3. 組織水分量並びに電解質

健康成犬 7 例に保存血大量輸血を行つて、組織すなわち肝臓、脾臓、肺臓、心臓、腎臓、筋肉、皮膚の 7 つの組織の組織水分量並びに電解質 (Na, Cl, K, Ca) の濃度の測定を行つた。各組織の採取方法、水分量並びに電解質の測定法は以下の如くである。

a. 組織採取法

まず測定用組織材料を得るために、輸血前と輸血終了直後の各時間に、それぞれの臓器から約 2 g の組織を採取した。ただし輸血前には腎臓、心臓、肺臓の 3 臓器からは採取しなかつた。この理由は、腎臓に侵襲を加えると電解質排泄機構に大きな影響を与えると考えられたからであり、肺臓および心臓については、閉鎖循環麻酔を行つてはいるが、開胸すると手術侵襲をさらに増大す恐れがあり、心臓からは無論採取出来ないで、この 3 臓器からの輸血前の採取は行わなかつた。その代り、この 3 臓器の組織水分量並びに電解質濃度の輸血直前値の対照を得るために、別に正常犬 7 例を選び、閉鎖循環麻酔

の下に、この 3 臓器から組織を採取し、輸血前値の参考とした。

採取手技は、輸血前にまず一側の大腿部内側の皮膚を完全に剃毛した後、充分脂肪組織を除去してこの部から皮膚の採取を行い、次にその皮膚の下の筋肉からも一部採取した。次に正中切開で開腹し、肝臓は充分縫合結紮によつて止血を行いつつ中葉から採取し、脾臓は腹側端からこれも充分止血しながら採取した。そして一応術創を全部縫合閉鎖してから輸血を開始した。輸血終了とともに直ちに今度は他側の大腿部から皮膚並に筋肉を同一手技により採取し、また再開腹して、肝臓は同じく中葉より、脾臓は背側端よりそれぞれ採取した。次に人工呼吸を行いつつ開胸し、肺臓は下葉より、心臓は心尖部心筋よりおのおの組織を採取した。

b. 組織水分量測定法

本測定は重量法³⁾⁴⁾⁵⁾によつて行つた。すなわち前述の採取した新鮮組織材料の血液を充分吸取紙で吸つて除去した後、正確に秤量し (Xg)、さらに 100~115°C に調節した恒温電気乾燥器中に置き、重量が一定するのを待つた後（概ね 24 時間後）、取り出して乾燥材料の重量を再び秤量し (Yg)、次によつてそれぞれの水分量を算出した。

$$\frac{X-Y}{X} \times 100 = \text{組織水分量 (\%)}$$

c. 組織 Na, Cl, K, Ca 定量法

上記の乾燥材料を湿性灰化法⁶⁾⁷⁾⁸⁾によつて灰化し、それぞれの測定に供した。すなわち 100 cc 容 Kjeldall コルベンに乾燥材料と純硝酸 5 cc を加え、これを 1 昼夜放置した後、純硫酸を 3 cc 追加し湿性灰化を行つた。灰化完了（無色透明な液となる）後これに水を加え、全量 10 cc とした後、それぞれ分析に供した。すなわち Na, K は Coleman 火焰比色計を用いて測定し、Ca は Phosphate 法により、Cl は Silver-Iodate 法により、それぞれ光電比色計を用いて測定した。

次に新鮮血輸血実験を対照として行つたが、保存血の場合と同じ実験方法によつて実施した。

III. 実験成績

1. 血球内 Na, K 濃度

表 1, 図 1 のごとく、7 例について保存 9~21 日の血液を 500~1500 cc 輸血したが、血球内 Na は輸血後減少傾向を示し、輸血後 4 時間には恢復の傾向がみられ、輸血後 24 時間には大体輸血前値に近く戻つている。血球内 K はこれと反対に輸血後増加し、

表 1 血球内 Na, K 濃度 (mEq/血球 1000cc)

1. 保存血輸血例

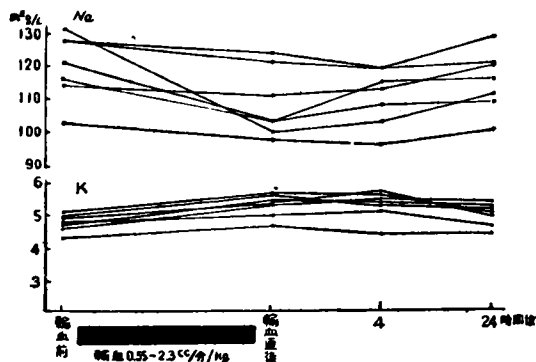
例	Na, K.				Na				K				
	番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血液保存日数	輸血速度 cc/分/kg	輸血前	輸血直後	輸血後 4 時間	輸血後 24 時間	輸血前	輸血直後	輸血後 4 時間
109	8	♀	500	9	0.72	116	104	109	110	5.0	5.6	5.3	5.2
111	9	♂	500	10	1.01	103	98	97	101	4.7	5.5	5.4	5.3
115	10	♂	1000	13	0.55	121	104	116	117	4.6	5.3	5.5	5.4
117	9	♀	800	14	1.63	128	122	121	130	5.1	5.7	5.6	5.1
118	9	♂	1000	15	2.30	131	100	104	112	4.9	5.4	5.7	5.0
120	12	♂	1500	21	1.04	128	125	121	122	4.8	5.0	5.1	4.7
123	6	♀	700	16	1.95	114	112	114	121	4.3	4.7	4.5	4.5
平均						120	109	112	116	4.8	5.3	5.3	5.0
平均増減率%						0	-9.2	-6.7	-3.3	0	+10.4	+10.5	+4.2

2. 新鮮血輸血例

例	Na, K.				Na				K				
	番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血速度 cc/分/kg	輸血前	輸血直後	輸血後 4 時間	輸血後 24 時間	輸血前	輸血直後	輸血後 4 時間	輸血後 24 時間
147	8	♂	800	1.32	115	116	114	114	5.0	5.1	4.9	4.8	
150	9	♀	1200	1.47	124	127	121	123	5.4	5.2	5.3	5.5	
153	8	♂	1000	1.56	127	125	123	120	5.6	5.4	5.5	5.8	
155	10	♂	1000	1.67	121	124	120	122	5.4	5.5	5.4	5.3	
平均						122	123	120	120	5.4	5.3	5.3	5.4
平均増減率%						0	0.8	-1.6	-1.6	0	-1.9	-1.9	0

図 1

血球内 Na, K (実験例)



輸血後 4 時間においてもなお増加状態にあり、輸血後 24 時間には大体輸血前値に復している。これに対し、対照として行つた新鮮血輸血では Na, K ともほとんど変化はみられなかつた。

2. 尿中電解質濃度

前項と同じ実験例について測定を行つたが、表 2、図 2 のごとく、Na, Cl は輸血後その排泄量が減少し、K, Ca は増加している結果を得た。しかも Na, Cl は輸血後 24 時間でも減少したまま元に復しておらず、K も輸血後 24 時間たつてもまだむしろ増加傾向にあることが認められる。これに対し新鮮血輸血例では、Na は輸血後増加し、Cl はやや減少傾向を示し、K は殆んど変化を示さず、Ca は保存血輸血の場合と同じく輸血後著明に増加する結果を得た。

3. 組織水分量

実験例 7 例に、保存 7~26 日の血液を 400~1000 cc 輸血して実験を行つたが、成績は表 3、図 3 の如くで、輸血後各組織とも水分量の増加を認めた。とくに肺臓、腎臓、肝臓、心臓、皮膚の組織に増加が著明であるようである。次に対照として 2 例に新鮮

表 2 尿 中 電 解 質 濃 度 (mEq/L)

1. 保 存 血 輸 血 例

番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血液 保存日数	輸血速度 cc/分/kg	輸 血 前			輸 血 後			輸 血 後 4 時 間			輸 血 後 24 時 間						
						Na	Cl	K	Ca	Na	Cl	K	Ca	Na	Cl	K	Ca	Na	Cl	K	Ca
109	8	♀	500	9	0.72	253	90	19.1	5.4	110	31	25.8	14.6	86	45	30.2	9.3	65	57	20.5	6.0
111	9	♂	500	10	1.01	112	71	35.4	6.2	98	92	46.2	33.4	81	73	51.3	21.2	57	11	59.1	5.8
115	10	♂	1000	13	0.55	101	123	30.0	5.5	129	33	42.4	27.3	100	42	44.5	14.2	98	59	48.8	6.3
117	9	♀	800	14	1.63	172	120	24.6	4.3	64	48	62.8	17.4	42	31	68.8	6.6	47	20	50.6	4.5
118	9	♂	1000	15	2.30	324	138	49.2	4.5	294	27	61.8	40.5	280	17	62.7	19.0	280	33	70.4	10.2
120	12	♂	1500	21	1.04	165	85	42.8	5.8	124	35	39.2	25.2	113	38	59.4	12.1	93	28	68.7	6.4
123	6	♀	700	16	1.95	219	131	20.5	4.6	154	57	56.4	28.1	124	49	43.6	8.7	122	44	51.9	4.1
平 均						192	108	31.7	5.2	139	46	47.8	26.6	118	42	51.5	13.0	109	36	52.9	6.2
平均増減率 %						0	0	0	0	-27.6	-57.4	+50.8 ⁺	411.5 ⁺	-38.5	-61.1	+62.5	+150	-43.2	-66.7	+66.9	+19.2

2. 新 鮮 血 輸 血 例

番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血速度 cc/分/kg	輸 血 前			輸 血 後			輸 血 後 4 時 間			輸 血 後 24 時 間							
					Na	Cl	K	Ca	Na	Cl	K	Ca	Na	Cl	K	Ca	Na	Cl	K	Ca	
147	8	♂	800	1.32	105	112	71.2	5.7	278	56	66.4	17.0	266	65	63.2	10.5	186	84	56.8	7.5	
150	9	♀	1200	1.47	240	148	70.0	5.2	272	172	75.2	41.4	213	147	71.5	23.8	172	166	65.0	11.7	
153	8	♂	1000	1.56	238	121	43.8	6.8	290	79	53.0	32.5	251	83	57.8	28.4	195	84	33.8	12.5	
155	10	♂	1000	1.67	260	132	18.4	7.8	310	100	24.0	26.6	228	58	20.2	17.9	216	42	27.3	8.8	
平 均						211	128	50.9	6.4	288	102	54.7	29.4	239	88	53.2	20.2	192	94	45.7	10.1
平均増減率 %						0	0	0	0	+36.5	-20.3	+7.5 ⁺	359.4 ⁺	+13.5	-31.2	+4.5	+215.6	-9.0	-26.6	-10.2	+57.8

表 3 組織水分量(%)

1. 保存血輸血例

番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血液 保存日数	輸血時間 増減率 %	肝臓	脾臓	筋肉	皮膚	腎臓	肺臓	心臓
132	8	♂	600	8	輸血前	73.0	76.3	76.4	58.8	—	—	—
					輸血後	77.8	77.0	76.0	67.4	81.4	82.8	79.0
					増減率	+6.6	+0.9	-0.5	+14.6	—	—	—
135	9	♀	900	16	輸血前	67.7	70.5	69.7	57.6	—	—	—
					輸血後	75.6	78.8	75.4	68.2	81.1	80.0	83.2
					増減率	+11.7	+11.8	+8.2	+18.4	—	—	—
136	10	♂	600	26	輸血前	75.6	77.8	72.0	56.9	—	—	—
					輸血後	85.2	83.3	74.2	63.5	85.7	84.6	82.9
					増減率	+12.7	+7.1	+3.1	+11.6	—	—	—
138	12	♂	1000	21	輸血前	70.6	77.6	76.8	58.9	—	—	—
					輸血後	82.5	81.7	81.8	63.8	83.3	81.5	80.2
					増減率	+16.9	+5.3	+6.5	+8.3	—	—	—
140	10	♀	600	17	輸血前	72.3	74.0	67.9	57.6	—	—	—
					輸血後	77.3	74.6	68.3	65.4	82.7	80.0	79.2
					増減率	+6.9	+0.8	+0.6	+13.5	—	—	—
143	8	♀	500	16	輸血前	73.1	70.3	63.2	56.8	—	—	—
					輸血後	81.4	71.4	71.4	66.4	72.5	85.7	73.7
					増減率	+11.4	+1.6	+13.0	+16.9	—	—	—
145	6	♀	400	7	輸血前	74.1	77.8	73.0	57.1	—	—	—
					輸血後	81.4	80.0	70.2	65.8	83.0	82.3	80.0
					増減率	+9.9	+2.8	-3.8	+15.2	—	—	—
平均					輸血前	73.2	74.9	71.3	57.7	*73.4	*74.1	*73.3
					輸血後	80.2	78.1	74.2	67.2	81.4	82.4	79.7
					増減率	+9.6	+4.3	+4.1	+16.5	+10.9	+11.2	+8.7

輸血前位対照例

番号	体重 kg	性	腎臓	肺臓	心臓
125	10	♀	73.5	76.6	74.2
126	9	♂	70.6	73.9	71.8
127	10	♂	75.0	71.5	70.4
128	8	♀	71.6	74.1	75.2
129	7	♂	75.2	76.2	73.2
130	10	♀	73.3	77.1	73.4
131	11	♀	74.6	73.7	74.9
平均			73.4	74.1	73.3

*印は輸血前値対照例の値を代入した。

2. 新鮮血輸血例

番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血時間 増減率 %	肝臓	脾臓	筋肉	皮膚	腎臓	肺臓	心臓	
157	9	♂	700	輸血前	75.2	77.8	70.3	56.9	—	—	—	
				輸血後	80.2	78.0	73.6	58.8	83.0	81.1	77.6	
				増減率	+6.6	+0.3	+4.7	+3.3	—	—	—	
160	10	♂	1000	輸血前	72.8	75.5	68.8	57.3	—	—	—	
				輸血後	75.5	88.2	72.4	57.6	81.5	82.3	80.2	
				増減率	+3.7	+16.8	+5.2	+0.5	—	—	—	
平均					輸血前	74.0	76.7	69.6	57.1	*73.4	*74.1	*73.3
					輸血後	77.9	79.1	73.0	58.2	82.6	81.7	78.9
					増減率	+5.3	+3.1	+4.9	+1.9	+12.5	+10.2	+7.6

表 4 組 織 Na (mEq/kg)

1. 保存血輸血例													輸血前値対照例					
番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血 血液 保存 日数	輸血時間 増減率 %	肝臓	脾臓	筋肉	皮膚	腎臓	肺臓	心臓	番号	体重 kg	性	腎臓	肺臓	心臓
132	8	♂	600	8	輸血前	103	115	75	86	—	—	—	125	10	♀	88	88	88
					輸血後	132	138	94	117	122	129	108						
					増減率	+28.2	+20.0	+25.3	+36.0	—	—	—						
135	9	♀	900	16	輸血前	74	73	93	84	—	—	—	128	8	♀	83	105	74
					輸血後	104	122	98	128	101	117	126						
					増減率	+40.5	+67.1	+5.4	+52.4	—	—	—						
136	10	♂	600	26	輸血前	78	78	66	102	—	—	—	平均			89	93	84
					輸血後	125	105	83	126	125	144	106						
					増減率	+60.3	-34.6	+25.8	+23.5	—	—	—						
138	12	♂	1000	21	輸血前	86	103	72	75	—	—	—	*印は輸血前値対照例の 値を代入した。					
					輸血後	115	117	102	98	118	128	95						
					増減率	+33.7	+13.6	+41.7	+30.7	—	—	—						
140	10	♀	600	17	輸血前	94	84	87	94	—	—	—						
					輸血後	128	126	106	119	137	123	114						
					増減率	+36.2	+50.0	+21.8	+26.6	—	—	—						
143	8	♀	500	16	輸血前	88	97	65	73	—	—	—						
					輸血後	124	133	96	105	132	136	98						
					増減率	+40.9	+36.1	+47.7	+43.8	—	—	—						
145	6	♀	400	7	輸血前	85	88	78	90	—	—	—						
					輸血後	117	127	103	132	127	125	117						
					増減率	+37.6	+44.4	+32.1	+46.7	—	—	—						
平均					輸血前	87	91	77	86	*89	*93	*84						
					輸血後	121	124	97	118	123	129	109						
					増減率	+39.1	+36.3	+26.0	+37.2	+38.2	+38.7	+29.8						
2. 新鮮血輸血例																		
番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血時間 増減率 %	肝臓	脾臓	筋肉	皮膚	腎臓	肺臓	心臓							
157	9	♂	700	輸血前	92	107	82	81	—	—	—							
				輸血後	118	124	103	114	120	115	103							
				増減率	+28.3	+15.9	+25.6	+40.7	—	—	—							
160	10	♂	1000	輸血前	87	85	77	90	—	—	—							
				輸血後	105	117	94	121	116	126	111							
				増減率	+20.7	+37.6	+22.1	+34.4	—	—	—							
平均				輸血前	90	96	80	86	*89	*93	*84							
				輸血後	112	121	99	118	118	121	107							
				増減率	+24.4	+26.0	+23.8	+37.2	+32.6	+30.1	+27.4							

表 5 組 織 Cl (mEq/kg)

1. 保存血輸血例

番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血液 保存日数	輸血時間 増減率 %	肝臓	脾臓	筋肉	皮膚	腎臓	肺臓	心臓
132	8	♂	600	8	輸血前	125	119	94	128	—	—	—
					輸血後	141	154	105	134	139	153	133
					増減率	+12.8	+29.4	+11.7	+4.7	—	—	—
135	9	♀	900	16	輸血前	120	116	95	109	—	—	—
					輸血後	139	151	118	142	127	159	104
					増減率	+15.8	+30.2	+24.2	+30.3	—	—	—
136	10	♂	600	26	輸血前	115	134	98	135	—	—	—
					輸血後	148	157	113	137	143	134	115
					増減率	+28.7	+17.2	+15.3	+1.5	—	—	—
138	12	♂	1000	21	輸血前	132	121	88	98	—	—	—
					輸血後	143	149	84	105	135	168	118
					増減率	+8.3	+23.1	+4.5	+7.1	—	—	—
140	10	♀	600	17	輸血前	117	124	96	116	—	—	—
					輸血後	135	147	96	125	146	132	125
					増減率	+15.4	+18.5	0	+7.8	—	—	—
143	8	♀	500	16	輸血前	112	125	107	107	—	—	—
					輸血後	145	138	121	116	144	164	109
					増減率	+29.5	+10.4	+13.1	+8.4	—	—	—
145	6	♀	400	7	輸血前	114	111	84	118	—	—	—
					輸血後	136	132	92	145	124	161	117
					増減率	+19.3	+18.9	+9.5	+22.9	—	—	—
平均					輸血前	119	121	95	116	*114	*129	*102
					輸血後	141	147	104	129	137	153	117
					増減率	+18.4	+21.5	+9.5	+11.2	+20.2	+18.6	+14.7

輸血前値対照例

番号	体重 kg	性	腎臓	肺臓	心臓
125	10	♀	117	126	98
126	9	♂	114	135	117
127	10	♂	106	139	94
128	8	♀	121	133	105
129	7	♂	128	118	103
130	10	♀	115	138	88
131	11	♀	96	114	108
平均			114	129	102

*印は輸血前値対照例の値を代入した。

2. 新鮮血輸血例

番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血時間 増減率 %	肝臓	脾臓	筋肉	皮膚	腎臓	肺臓	心臓
157	9	♂	700	輸血前	116	126	104	118	—	—	—
				輸血後	140	144	115	133	141	139	125
				増減率	+20.7	+14.3	+10.6	+12.7	—	—	—
160	10	♂	1000	輸血前	124	115	91	113	—	—	—
				輸血後	133	139	106	126	129	147	108
				増減率	+7.3	+20.9	+16.5	+11.5	—	—	—
平均				輸血前	120	121	98	116	*114	*129	*102
				輸血後	137	142	111	130	135	143	117
				増減率	+14.2	+17.4	+13.3	+12.1	+18.4	+10.9	+14.7

表 6 組 織 K (mEq/kg)

1. 保存血輸血例													輸血前値対照例					
番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血液 保存日数	輸血時間 増減率 %	肝臓	脾臓	筋肉	皮膚	腎臓	肺臓	心臓	番号	体重 kg	性	腎臓	肺臓	心臓
132	8	♂	600	8	輸血前	340	353	298	48	—	—	—	125	10	♀	224	202	254
					輸血後	364	387	346	72	246	265	322						
					増減率	+7.1	+9.6	+16.1	+50.0	—	—	—						
135	9	♀	900	16	輸血前	240	291	233	98	—	—	—	126	9	♂	218	242	238
					輸血後	282	360	277	124	328	333	297						
					増減率	+17.5	+23.7	+18.9	+26.5	—	—	—						
136	10	♂	600	26	輸血前	300	383	286	59	—	—	—	127	10	♂	243	254	237
					輸血後	325	427	319	96	312	305	311						
					増減率	+8.3	+11.4	+11.5	+62.7	—	—	—						
138	12	♂	1000	21	輸血前	329	307	281	63	—	—	—	128	8	♀	232	263	234
					輸血後	396	334	304	85	284	287	330						
					増減率	+20.4	+8.8	+8.1	+34.9	—	—	—						
140	10	♀	600	17	輸血前	232	259	223	36	—	—	—	129	7	♂	264	220	246
					輸血後	274	312	302	61	271	306	286						
					増減率	+18.1	+20.5	+35.4	+69.4	—	—	—						
143	8	♀	500	16	輸血前	253	296	213	74	—	—	—	130	10	♀	236	229	214
					輸血後	289	325	278	86	235	264	253						
					増減率	+14.2	+9.8	+30.5	+16.2	—	—	—						
145	6	♀	400	7	輸血前	282	256	230	57	—	—	—	131	11	♀	257	234	229
					輸血後	315	283	295	69	194	309	288						
					増減率	+11.7	+10.5	+28.3	+21.0	—	—	—						
平均					輸血前	282	306	252	62	*239	*235	*236						
					輸血後	321	347	303	85	267	296	298						
					増減率	+13.8	+13.4	+20.2	+37.1	+11.7	+26.0	+26.3						
2. 新鮮血輸血例																		
番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血時間 増減率 %	肝臓	脾臓	筋肉	皮膚	腎臓	肺臓	心臓							
157	9	♂	700	輸血前	246	304	233	62	—	—	—							
				輸血後	276	297	247	74	248	266	288							
				増減率	+12.2	-2.3	+6.0	+19.4	—	—	—							
160	10	♂	1000	輸血前	232	263	264	53	—	—	—							
				輸血後	210	281	258	55	195	253	207							
				増減率	-9.5	+6.8	-2.3	+3.8	—	—	—							
平均					輸血前	239	284	249	58	*239	*235	*236						
					輸血後	243	289	253	65	222	260	248						
					増減率	+1.7	+1.8	+1.6	+12.1	-7.1	+10.6	+5.1						

*印は輸血前値対照例の値を代入した。

表 7 組 織 Ca (mEq/kg)

1. 保存血輸血例

番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血液保存日数	輸血時間増減率 %	肝臓	脾臓	筋肉	皮膚	腎臓	肺臓	心臓
132	8	♂	600	8	輸血前	24	29	28	28	—	—	—
					輸血後	23	20	31	31	27	32	27
					増減率	-4.2	-31.0	+10.7	+10.7	—	—	—
135	9	♀	900	16	輸血前	23	38	22	24	—	—	—
					輸血後	18	32	21	19	23	31	18
					増減率	-21.8	-15.8	-4.5	-20.8	—	—	—
136	10	♂	600	26	輸血前	28	22	24	26	—	—	—
					輸血後	24	21	26	27	27	23	31
					増減率	-14.6	-4.5	+8.3	+3.8	—	—	—
138	12	♂	1000	21	輸血前	16	26	26	32	—	—	—
					輸血後	17	30	23	28	36	26	29
					増減率	+6.3	+15.4	-11.5	-12.5	—	—	—
140	10	♀	600	17	輸血前	22	32	31	19	—	—	—
					輸血後	26	34	29	21	34	29	24
					増減率	+18.4	+6.3	-6.5	+10.5	—	—	—
143	8	♀	500	16	輸血前	19	27	29	21	—	—	—
					輸血後	20	24	19	22	27	24	23
					増減率	+5.3	-11.2	-34.5	+4.5	—	—	—
145	6	♀	400	7	輸血前	31	31	21	22	—	—	—
					輸血後	29	27	22	23	31	27	26
					増減率	-6.5	-12.9	+4.8	+4.5	—	—	—
				平均	輸血前	23	29	26	25	*34	*31	*27
					輸血後	22	27	24	24	29	27	25
					増減率	-4.3	-6.9	-7.7	-4.0	-14.7	-12.9	-7.4

輸血前値対照例

番号	体重 kg	性	腎臓	肺臓	心臓
125	10	♀	35	38	34
126	9	♂	27	27	24
127	10	♂	32	28	28
128	8	♀	41	34	27
129	7	♂	39	32	22
130	10	♀	33	25	25
131	11	♀	28	32	31
平均			34	31	27

*印は輸血前値対照例の値を代入した。

2. 新鮮血輸血例

番号	体重 kg	性	輸血量 cc	輸血時間増減率 %	肝臓	脾臓	筋肉	皮膚	腎臓	肺臓	心臓	
157	9	♂	700	輸血前	27	28	26	27	—	—	—	
				輸血後	23	23	20	25	31	23	29	
				増減率	-14.8	-17.9	-23.1	-7.4	—	—	—	
160	10	♂	1000	輸血前	22	32	28	25	—	—	—	
				輸血後	21	29	26	24	26	27	22	
				増減率	+4.5	-9.4	-7.1	-4.0	—	—	—	
				平均	輸血前	25	30	27	26	*34	*31	*27
					輸血後	22	26	23	25	29	25	26
					増減率	-12.0	-13.3	-14.8	-3.8	-14.7	-19.4	-3.5

図 2
尿中電解質 (実験例)

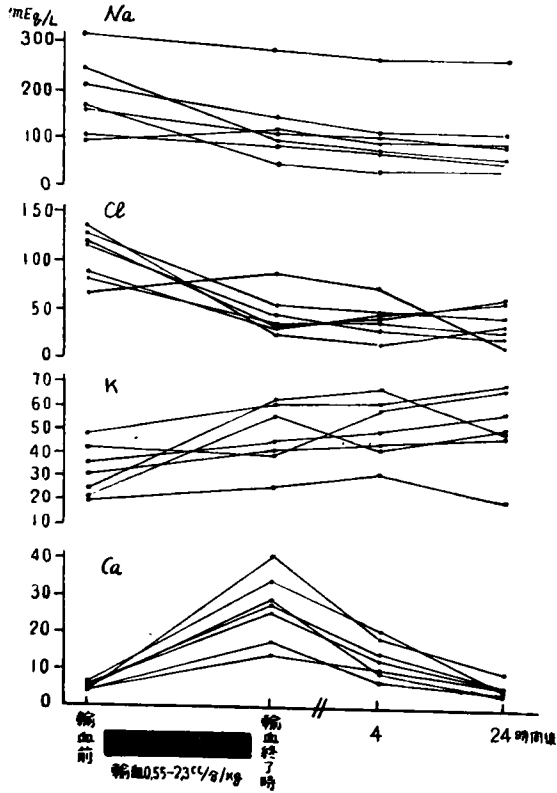


図 3
組織水分量 (実験例 7 例平均)

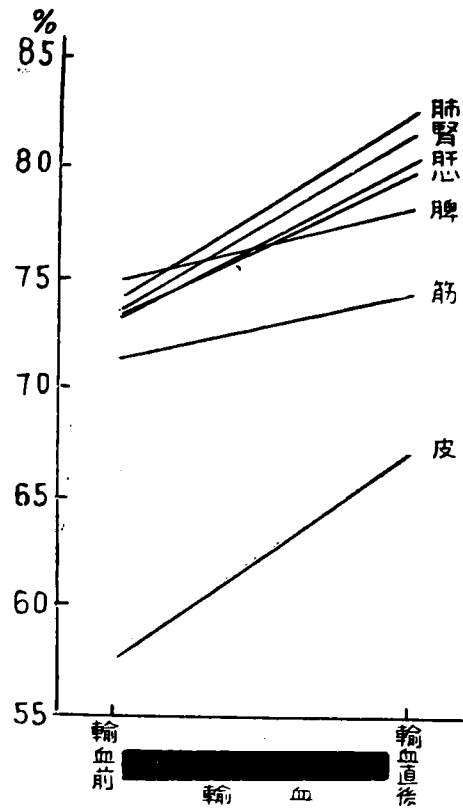


表 8 組織電解質 (7例平均) mEq/kg

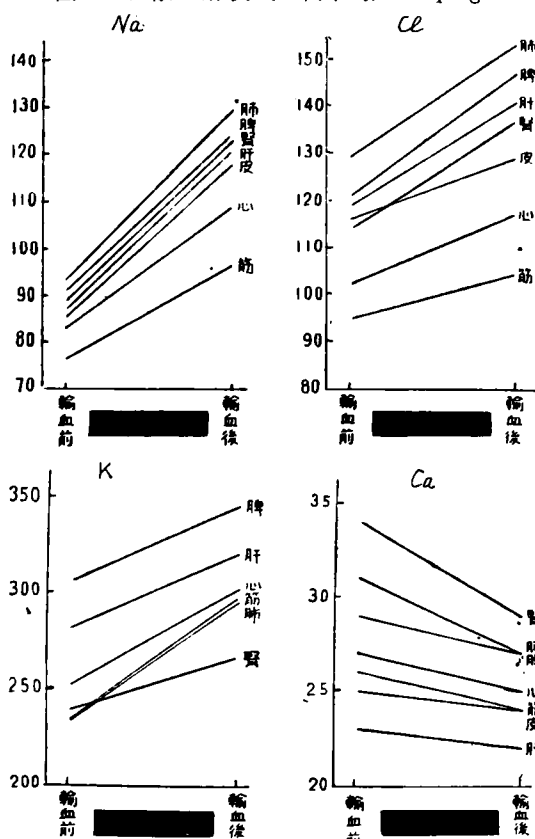
		Na			Cl		
		輸血前	輸血後	増減率%	輸血前	輸血後	増減率%
肝	臓	87	121	+39.1	119	141	+18.4
脾	臓	91	124	+36.3	121	147	+21.5
腎	臓	89	123	+38.2	114	137	+20.2
肺	臓	93	129	+38.7	129	153	+18.6
心	臓	84	109	+29.8	102	117	+14.7
筋	肉	77	97	+26.0	95	104	+9.5
皮	膚	86	118	+37.2	116	129	+11.2

		K			Ca		
		輸血前	輸血後	増減率%	輸血前	輸血後	増減率%
肝	臓	282	321	+13.8	23	22	-4.3
脾	臓	306	347	+13.2	29	27	-6.9
腎	臓	239	267	+11.7	34	29	-14.7
肺	臓	235	296	+26.0	31	27	-12.9
心	臓	236	298	+26.3	27	25	-7.4
筋	肉	252	303	+20.2	26	24	-7.7
皮	膚	62	85	+37.1	25	24	-4.0

血輸血を試みたが、この場合も保存血の場合と同じく組織水分量は増加している結果を得た。

4. 組織電解質濃度前項と同一例について実験を行ったが、詳細な実験成績は、Na については表4, Cl については表5, K については表6, そしてCa については表7にそれぞれ示した。また各例の平均をとり、表8, 図4にわかり易く示した。すなわち組織 Na, Cl, K は輸血後著明な増加を示し、組織 Ca は反対に減少傾向を示す結果を示した。これに対し対照として行つた新鮮血輸血例（前項と同じ2例）では、Na, Cl は保存血の場合と同じく増加するが、K はほとんど変化せず、Ca は保存血の場合と同じくやはり減少傾向を示した。

図4 組織電解質（7例平均）mEq/kg



註. K, Ca において、皮膚の値は低いので省略した

IV. 総括並びに考按

以上の実験成績を簡単に述べると、保存血を大量輸血した場合、血球内では Na が減少し、K が増加する結果を得、尿では Na, Cl の排泄濃度の減少、K, Ca の排泄濃度の増加する所見を示した。また組織水分量は各組織とも増加し、組織電解質は Na, Cl, K 濃度の増加、Ca 濃度の減少する結果を示し

た。以上の事実から考察を試みてみると、K については、血漿 K が高濃度に存在する保存血を大量輸血した場合、血球内 K, 組織 K の増加を示し、また尿への排泄量の増加する知見を得、前編にのべたごとく血清 K 濃度が一定に調節されていることがわかる。一般に電解質は Donnan の膜平衡によつて、陽イオンと陰イオンとが互に平衡を保つていと理論づけられているが、この理論では、細胞内液には K が多く、Na は僅かしか含まれておらず、細胞外液では Na が多く、K が少いという細胞内外の Na, K 濃度の差を説明することは出来なかつた。そこで以前は細胞膜のイオンの不透過性のためであるとか、また細胞膜の透過性が選択的であるためとかと説明されていたが、現在まだ明らかでない点が多い。しかし最近放射性同位元素の利用によつて、赤血球膜を K や Na が互に通過して移行することが出来ることが明らかとなつてきた。そこで何か膜そのものに機構が働いて、膜内外の Na, K の分布の均等化されるのを妨げていると考えられる。この点に関して各種の説があるが、要するに細胞膜において、エネルギーの消費を伴つた機構が行われてはじめて細胞内外のこのようなイオン勾配の維持が行われるという点で多くの見解が一致しており、このエネルギーは動物によつて、解糖あるいは呼吸作用によつて供給されると考えられている。また一部の人は acethyl choline 系の活動がこの膜機構維持に関係すると考えている。そしてこのような膜調節機構に従つて、Na, K は互に細胞膜を通過しているのである。そして Na と K とは逆相関関係にあり、細胞内 K を失えば、その $1/2 \sim 2/3$ 当量までが Na で置き換えられることが出来る。すなわち体外から摂取された Na は、すみやかに血漿かう組織間液に平等に分布するが、同時に一部は細胞内にも入つて行く。そして K 不足の食餌で養つた動物では、筋肉の Na 量は正常の 2 倍位にまでなるので、Na が細胞内 K の一部を代償するということがわかる。一方 K を摂取したときは、細胞外液に入つた後次の 3 つの経路をとる。

- 1) 4 ~ 24 時間後に細胞に入る。
- 2) glycogen と共に肝臓に貯蔵される。
- 3) 尿中に入り（一部は糞便と共に）体外に排泄される。

この場合 K と glycogen とは密接な関係があり、肝臓に glycogen が蓄積されると K も蓄積され、反対に glycogen が肝臓にない時、または分解される

ときは、Kは再び free となつて肝臓外に出て行く。このような関係が、Kと蛋白についても言え、Kが細胞内に貯蔵されるためには蛋白が関与するといわれる。すなわち蛋白の蓄積と共に細胞内にKが入つて行く。この反対に窒素平衡が負になるとKは細胞内より細胞外に出る。しかしKは蛋白の Anabolism, Katabolism がなくとも細胞内に入ることが出来る。すなわちKを大量投与、摂取するとき細胞外液中のK濃度を急激にあげないため、この過程をとつてKは細胞内に入り、血清濃度を一定に調節するのである。一般に赤血球細胞内へKが侵入する速さは動物により差があり、赤血球内含有量の少ない猫では15時間で100%交換するといわれ、人血液では血漿Kを4~15倍に増やした場合（相当するだけのNaを減じて全体の陽イオン濃度は変らないようにする）38°Cにおいては赤血球中には殆んど移行してこない。それが犬では血漿Kを8倍増すと2時間でほとんど100%増加するといわれる。一般にKを体外から摂取すると、1~2時間で細胞内外の平衡が40%位完成し、2~3日で完全に平衡に達することが放射性同位元素を用いて確かめられている。以上のべた機転により、血漿K濃度の高い保存血を大量輸血した場合、Kは犬の場合であるが割に速く血球中に入り、Naと置換し、また組織でのKの蓄積をおこしてくると考えられる。さらに尿にも多量排泄され、血清濃度はうまく一定に調製されていると思う。この点を裏づけるため新鮮血輸血実験を行つたが、この場合血球内でのNa、Kの変化はみられず、また尿へのK排泄濃度もほとんど有意の変化を示さず、組織Kの濃度も増加がみられなかつた。すなわちこのような両者の差を示すのは、保存血と新鮮血との血漿K濃度の差によるものと思われる。

次にNa、Clについて考察してみると、この両者の組織濃度は輸血後かなり増加しており、それと同時に組織水分量の増加も見られ、また尿中への両者の排泄濃度の減少が見られることから、組織間液への水、Na、Clのかなりな蓄積が考えられ、このことから浮腫をおこす可能性が当然考えられる。また最近大量輸血と肺水腫との問題が論ぜられているが、このような電解質の分布状況からも発生原因の一端がうかがわれる。また対照として行つた新鮮血輸血の場合も、組織Na、Clは保存血輸血の場合に比べてやや増加の率は少ないが、やはり増加し、また組織水分量の増加も見られ、やはり浮腫をおこす可能性が考えられるが、尿への排泄濃度ではNaはやや

増加しており、この結果から保存血輸血の場合ほど浮腫をおこす可能性は少ないのではないかと考えられる。

次にCaについてみると、前編において、大量輸血の場合、抗凝固剤として加えられたクエン酸ソーダも同時に注入されるので、血清Ca濃度、とくにCa⁺⁺濃度の低下が考えられるが実測してみると、殆んど有意の変化を示さない。この結果から組織Caの減少をおこすのではないかと推測したが、やはり本研究で組織Caの減少する結果を得た。それと同時に尿へのCa排泄濃度が増す所見を得た。この所見は保存血輸血の場合も、新鮮血輸血の場合も同一であつた。このことから次の如き結論的なことが言えるのではないかと思う。すなわち大量輸血を行つた場合、受血者の血液中のCa特にCa⁺⁺がクエン酸と結合し当然血清Ca⁺⁺濃度の減少をおこす。しかし生体は直ちに反応を起し、血清Ca⁺⁺濃度を正常に調節するため組織よりfreeの状態のCa⁺⁺が遊離し、細胞外液中に流入してくるものと考えられる。犬実験例で、保存血、新鮮血輸血をとわず、受血犬の血清Ca⁺⁺濃度が輸血初期一時減少するのは、このクエン酸と結合したためにおこるCa⁺⁺の減少を示し、その後輸血と共に血清濃度が増加してくるのは、組織からCa⁺⁺が遊離してきてこの減少を補い、一過性の過量となつたためであろう。そしてこの過量のCaが尿中に直ちに排泄されるのではないかと思われる。

以上の考案より次のごときことが言える。すなわち血漿K濃度の高い保存血を大量輸血しても、うまく細胞内にKが移行し、また尿に多量排泄されて血清濃度が一定にコントロールされており、またCaの面からは、抗凝固剤としてクエン酸ソーダを使用するため、血清Ca⁺⁺濃度の低下を当然来すが、組織よりCaが遊離してきてこの減少を補つており、この点から、電解質の調節機構の障碍のない場合には、電解質代質の面から保存血大量輸血はさほど大して危険ではないと考えられる。しかし常に浮腫発生の要因があることを考慮すべきであろう。新鮮血輸血の場合には、保存血の場合のように、血球内Na、K濃度の変化、尿中Na、K排泄濃度の変化および組織K濃度の変動がほとんどみられず、この点より新鮮血輸血の方が保存血輸血の場合より優れていることは納得のいく所である。

V. 結 論

以上の保存血大量輸血実験より次のごとき結論を得た。

1. 輸血後血球内 Na 濃度は減少し, K 濃度は増加する.
2. 尿中 Na, Cl 排泄濃度は輸血後減少し, K, Ca 排泄濃度は増加する.
3. 組織水分量は各組織とも輸血後増加する.
4. 組織電解質では輸血後 Na, Cl, K 濃度は増加し, Ca 濃度は反対に減少する.
5. 対照実験として新鮮血輸血では, 血球内 Na, K 濃度, 尿中 Na, K 濃度, 組織 K 濃度の変化はほとんど見られなかつた.

以上の結果から, 血清電解質が一定に調節されて

いることが判然とし, 血清濃度の面からみると, この調節機構の障碍のない場合には, 保存血大量輸血は大した危険を伴わないと思考される. しかし細胞内 K の増加, 組織 Ca の減少および水, Na の組織への蓄積等の変動があるので, この点を絶えず考慮する必要があると思う. そして前編に述べたごとき保存血輸血の禁忌と思われるような場合には, 新鮮血輸血を行つた方が望ましいと思う.

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に砂田教授に深甚の謝意を表わす.

(本論文の要旨は第 6 回輸血学会総会において報告した)

主 要 文 献

- 1) 齊藤: 光電比色計による臨床化学検査 (原著, 南山堂)
- 2) 林: 日本人並に日本産医学実験動物の解剖及び生理学計数 (原著)
- 3) 須藤・小医化学実習 (原著)
- 4) 伊藤: 日外会誌, 31, 10, 1095, 昭 6.
- 5) 松林: 日外会誌, 55, 2, 120, 昭 29.
- 6) 砂原: 東京医学会誌, 56, 689, 昭 17.
- 7) 横殿: 熊本医学会誌, 15, 9, 1111, 昭 14.
- 8) 岸他: 癌, 31, 1, 1, 昭 8.
- 9) 武内: 東北実験医学, 11, 327, 1928.
- 10) 医学のあゆみ, 21, 5, 364, 昭 31.
- 11) 日米連合医学教育者協議会内科部記録・診断と治療 (臨時特別号), 昭 25.
- 12) 渋沢: 血液と輸血, 2, 5, 18, 昭 31.
- 13) 吉川: 電解質の臨床 (原著)
- 14) 吉利: 血液と輸血, 1, 4, 318, 昭 30.
- 15) 医学のあゆみ, 20, 6, 408, 昭 30.
- 16) 医学のあゆみ, 15, 2, 62, 昭 28.
- 17) Operating Directions for the Model 21. Coleman Flame Photometer.
- 18) Kramer, B., Tisdall, F. F. J. B. C., 48, 223, 1921.
- 19) Kramer, B., Tisdall, F. F. J. B. C., 53, 241, 1922.
- 20) Ruzsnyák, St., Keller, D. Biochem. Zeitschrift, 133, 350, 1922.
- 21) Daniel, C., Darrow, D. C. J. A. M. A., 162, 14, 1310, 1956.
- 22) Kerr, S. E. J. B. C., 117, 227, 1937.
- 23) Kerr, S. E. J. B. C., 85, 47, 1929.
- 24) Bunge, G. Zeitschrift für Biolog., 12, 191, 1876.
- 25) Ellenberger & Baum: Anatomie des Hundes, 1891.
- 26) Heppel, L. A. Am. J. Physi., 127, 385, 1939.
- 27) Darrow, D. C. New England Jour. Med., 233, 91, 1945.
- 28) Ferrebee, J. W. et al. Am. J. Physiol., 135, 230, 1941.

Transfusion of Preserved Blood and Electrolyte Metabolism

Part II. Fluctuation of Electrolytes in Blood Cell, Urine, and in Tissues Following 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 preserved blood on dogs, Na- and K-concentration in blood cells, Na-, Cl-, K- and Ca- concentration in urine, and water volume and Na-, Cl-, K- and Ca-concentration in tissues were determined. Results obtained are as follows:

1) Following blood transfusion, Na-concentration was decreased and K-concentration increased in blood cells of recipients.

2) After blood transfusion, Na- and Cl-concentration were decreased, K- and Ca-concentration increased in the urine.

3) Water content was increased in every tissue investigated after blood transfusion.

4) After blood transfusion, Na-, Cl- and K-concentration in tissues were increased, Ca-concentration decreased.

5) In the control experiment of fresh blood transfusion, the changes of Na- and K-concentration in blood cells, in urine and in tissues were nearly neglectable.

From the above, it was concluded that the serum electrolytes were well regulated in mechanism of their intercurrent and excretion intra and extra-cellularly.
