

## 토끼에 있어서 실혈, 과잉수혈 및 에피네프린으로 일어나는 조직 혈액량 분포의 변화

Variations of tissue blood volume distribution induced by hemorrhage,  
over-transfusion and epinephrine in rabbits.

서울대학교 의과대학 생리학교실

<지도 남기용 교수>

### 박종선

실혈이나 수혈에 있어서 혈관계 안을 순환하는 혈액량에는 곧 변화가 나타난다. 그러나 잠시의 시간 자체가 있은 후에는 혈관계 안팎에서 일어나는 액체의 이동의 결과로 순환 혈액량이 정상으로 회복되는 조절기구가 있다. 혈관계 안을 채우는 액체량의 조절 회복은 비교적 으로 잘 되는 것이나 적혈구는 그 수효가 쉽게 회복되지 않는 경우가 보통이다.

급성 실혈이 사람이나 동물에 있으면 직후에는 순환 혈액량이 감소하나 곧 주위 조직 간질액이 혈관계 안으로 이동하여서<sup>1,2)</sup> 혈장량이 회복된다. 이리하여 실혈전 혈액량의 90%<sup>3)</sup>까지도 회복한다 하며 손실된 혈장량의 50 대지 60%가<sup>1)</sup> 회복된다고도 한다.

혈관계 안으로 이동되는 액체의 단백질 농도는 정상 혈장보다 낮은 희석된 것이어서 혈장단백질 농도는 쉽게 회복되지 않는다. 실혈로 손실된 적혈구는 회복이 극히 완만하여서 장시간이 걸린다. 실혈이란 자극으로 적혈구조혈인자가 다량으로 발생하고 적혈구조혈이 촉진되기는 하지만<sup>4)</sup> 풀수에서의 적혈구조혈은 서서히므로 적혈구수의 완전한 회복에는 약 2개월이 걸린다 한다. 이리하여 혈장량은 정상이나 혈구량은 적은 상태가 발생한다. 그러므로 급성실혈에 있어서는 헤마토크릴의 저하가 나타난다<sup>5)</sup>. 이리하여 순환혈액내의 적혈구 총수의 감소가 있는 바 여기에 반응하여 혈액저장고 및 여러기관으로부터는 적혈구의 공급 내지는 동원이 있어서 혈구의 재분포가 일어난다. 흰쥐에 있어서는 실혈로 손실되는 적혈구의 80%가 간장, 심장-폐 및 폴리곤에 의해 동원되며, 나머지 20%가 피부, 뼈, 콩팥 및 창자에 의해 동원된다 한다<sup>6)</sup>. 따라서 각 장기의 적혈구량은 실혈 전후에 차이를 보이고 기관에 따라서 그정도에 차이가 나타날 것이다.

수혈은 실혈의 대상 조처로 시행되거나와 의상등에서 필요한 수혈량은 추측되는 실혈량보다 훨씬 다량인 경

우가 많다. 6.25 전란의 전상 환자의 예에서는<sup>7)</sup> 5 내지 15 리터의 다량의 수혈이 필요한 것도 있었다 한다. 이 원인으로는 실혈량의 추측에 차오가 있었거나 수혈된 혈구가 용혈하거나 또는 적혈구가 어떤 원인으로 실제의 순환으로부터 이탈하는 것을 생각했다. 의상을 일으키게 한 동물에 방사성 동위원소로 표지한 적혈구를 수혈하였더니 조금 있다 보면 수혈된 적혈구의 1/3 만이 순환계 안에 남아 있었고 2/3 는 어디론가 없어져서 순환에는 참여하지 않음을 보고한 것이다.<sup>8)</sup> 혈관계로부터 없어진 혈구는 신체내 어딘가에 있어야 할 것이다. 개에서 다량을 수혈하면 혈장단백질은 수혈된 분량의 91%, 혈장은 113%의 다량이 혈관계 밖으로 이동함이 보고되었다.<sup>9)</sup> 수혈에 있어서 액체의 혈관밖으로의 이동은 수혈량이 증가할 수록<sup>10)</sup> 다량이며 수혈속도가 크면 액체의 이동이 적다는<sup>11)</sup> 보고가 있다.

실혈은 뇌하수체—부신 계통의 활동을 촉진하는 원인이어서 혈액 중에 다량의 에피네프린을 분비함은 이미 알려진 사실이거나와, 이 작용에 부수하여서 혈압상승, 비장수축등이 나타난다. 동물에 있어서 에피네프린을 혈관내 주입하면 헤마토크릴의 상승이 보고되었는 바<sup>12)</sup> 이것은 혈관계로부터 수분이 혈관계밖으로 이동하는 것이 원인이라 생각된다. 적혈구용적의 변화는 혈액저장고로부터의 적혈구 동원을 가져올 가능성이 많다. 에피네프린은 혈압상승을 초래하는 것이므로 급성실혈로 혈압하강이 오는 것과는 반대의 효과를 나타내는 것이라 생각할 수도 있다. 이것은 각 장기에 대한 혈액유동량을 변화시킬 것이며 적혈구 분포에 변화를 가져올 것이다.

이상에 논의한 것 같이 실혈 혹은 수혈에 있어서 없어진 또는 새로이 얻은 적혈구가 어느 장기에서 많이 유래하는가 또는 들어가는가 하는 것을 보려고 함이 본논문의 목적이다. 토끼에 있어서 적혈구를 Cr<sup>51</sup>로 표지(標識)하여 급성실혈전후의 각 장기의 혈액량 분포의 변

화를 보았고, 과잉수혈을 실시하여 토끼의 혈액량을 정상보다 훨씬 증가시켰을 경우의 조직 혈액량 분포의 변화를 보았든 것이다. 나아가서 에피네프린을 작용시켰을 경우의 조직 혈액량 분포의 변화도 보았든 것이다.

## 실험 방법

**실험동물:** 성숙한 토끼 52 마리를 네뷸탈(Nembutal)을 50mg/kg의 비율로 복강내 주입 마취하여 실험하였다. 11 마리는 정상 대조군으로, 14 마리는 급성실혈군으로, 15 마리는 과잉수혈군으로, 12 마리는 에피네프린(epinephrine) 투여군으로 사용하였다. 동물의 체중은 1600 내지 2400 그램이었다.

대조군은 정상 토끼에서  $\text{Cr}^{51}$ 로 표지한 적혈구를 사용하여 총혈구량(total red cell volume)을 측정하고 일편 해마토크릴 값을 얻어서 총혈액량을 계산한 것이다. 또한 조직 혈액량을 여러 장기에서 측정하였다.

급성실혈군에 있어서는 실혈 전후에 대조군과 같은 측정을 한 것이다. 실혈은 경정맥으로부터 30밀리리터(평균 1.7% 체중, 총혈액량의 33%)를 5분 이내에 주사기로 뽑아서 한 것이다. 이만한 분량의 실혈은 실험 동물에 대하여 과히 큰 부담인듯 하지는 않았으며 실험 개시 30분 후에 동물을 회생시킬 때까지 쇼크 등으로 죽는 일은 없었다. 동맥 혈압은 110~120으로부터 80~90 mm로 하강하였으나 이밖에 큰 장해는 없었다.

과잉수혈군에 있어서는 30밀리리터의 혈액을 경정맥을 통하여 5분 이내에 주입하였다. 총혈구량 및 총혈액량 측정을 대조군과 같은 양식으로 하였고 동물을 회생하여 장기 혈구량을 측정하였다.

에피네프린 투여군 토끼에서는 표지한 자기 혈구를 주사하여 총혈구량을 측정한 후 곧 에피네프린(1mg/kg b.wt.)을 정맥내 주사하였다. 주사후 10분에 다시 총혈구량을 측정하고 동물을 회생하여 각 장기의 혈액량 분포를 관찰하였다.

**적혈구 표지법:** 적혈구를  $\text{Cr}^{51}$ 로 끄리표 달기는 Gray<sup>13</sup> 및 Sterling<sup>14</sup>법의 변법을 사용하였다. 멀균된 10밀리리터 주사기를 헤파린으로 측이고 동물의 혈액을 8밀리리터 가량 뽑아 여기에 1밀리리터의 Acid Citrate Dextrose(ACD) 용액과 30~40 $\mu\text{C}$ (크로뮴 함량 10 $\mu\text{g}$  이하)의  $\text{Na}_2\text{Cr}^{51}\text{O}_4$  용액을 첨가하여 잘 혼합하고 37°C에서 때때로 혼들어 주면서 45~60분간 가온하였다. 이러한 동안 방사성 크로뮴이온은 농도경사에 따라 혈구막을 투과하여 혈구속에 확산하여 잘 것인즉 그 대부분은 혈색소의 글로빈 성분과 비교적 견고하게 결합하는데, 이 표지법의 효율은 이온 농도, 온도, 시간, 항응고제 등에 따라서 다소 차이가 있었으나 본 실험에서는 평균 80%의 효율을 보였다. 37°C에서 45~60분 둔 다음에 100

밀리그램의 아스코르бин산을 첨가하여 아직 적혈구막 투과성이 있는 6가의 음성 크로뮴 이온을 적혈구막 투과성이 없는 3가의 양성 크로뮴 이온으로 전환시키므로써 끄리표로서 적혈구에 매달리지 못하고 혈장에 남아 있는 크로뮴 이온이 순환혈액내에서 적혈구 속에 투과하는 것을 방지하였다<sup>13</sup>.

**혈구량 측정:**  $\text{Cr}^{51}$  표지 적혈구를 얻으면 이중에서 일부를 표준 혈액으로 남겨 두고 나머지를 동물의 정맥에 주사했다. 주사 전후의 주사기의 무게를 화학천평(Sartorius제)으로 정확하게 측정하여 주사한 표지 적혈구의 방사성크로뮴의 방사능 계수를 계산하였다. 표지 적혈구가 동물의 순환계 내에서 균등하게 퍼지면(주사 10~15분후) 동물의 정맥에서 혈액이 자유로이 흐르는 상태에서 채혈하여 표준 혈액 및 희석 혈액의 단위 용적 방사능 계수의 비로써 동위원소 희석법으로 혈구량(red cell volume)을 계산하였고, 해마토크릴 값으로부터 간접으로 혈액량을 다음과 같이 산출하였다. 해마토크릴 값은 Wintrobe 판을 매번 3.000회전 30분 동안 원심침전하여 얻었다.

$$\text{혈구량} = \frac{\text{주사한 표지적혈구 방사능계수}}{\text{희석된 표지 적혈구 } 1\text{ml 의 방사능 계수}}$$

$$\text{혈액량} = \frac{\text{혈구량(RCV)}}{\text{해마토크릴 값}}$$

**장기 조직 혈액량 측정:** 총혈구량을 얻은 다음 곧 동물의 복벽 및 흉벽 정중선을 열고 대동맥, 대정맥, 폐동맥 및 폐정맥을 지혈감자로 결찰하여 혈류를 정지하였다. 다음 문맥 등 각 장기에 연결된 혈관을 지혈감자로 결찰하여 각 장기로부터의 혈액의 이동 소실을 방지하면서 심장, 폐장, 간장, 비장, 콩팥, 골격근(사두박근), 비골, 대뇌, 소장, 위, 담낭, 난소 자궁을 각각 적출하였다. 각 장기 조직의 무게를 재고 장기 조직의 일부를 염산으로 분해하여 조직용해액을 만들었다. 조직용해액과 혈액의 방사능 계수의 비로부터 조직 혈액량을 다음과 같이 산출하였다.

$$\text{조직 혈액량} (\mu\text{l/gm}) = \frac{\text{매 그램당 조직의 방사능 계수}}{\text{매 ml 당 혈액의 방사능 계수}}$$

조직 혈액량의 표현은 이상에서 얻은 매 그램당 조직에 간직되는 것을  $\mu\text{l}$  단위로 하는 것과 동물의 총 순환 혈액량(total circulating blood volume)에 대한 백분율로 표현하였다. 장기 조직은 뼈와 골격근 이외는 모두 전부를 적출한 것으로부터 조직 혈액량을 산출하였으므로 총 순환혈액량에 대한 백분율을 표시는 직접 가능하였다. 뼈는 비골, 골격근으로는 사두박근 하나씩만을 측정하였으므로 간접적인 산출을 하였다. 조직 혈액량은 조직의 무게와 비례한다는 가정 아래에서 총 몸무게에 대한 뼈와 골격근의 각각의 무게의 비율을 매 그램당 조

직 혈액량에 곱하여서 뼈와 골격근의 전체 조직 혈액량을 얻었다. 사람에 있어서는 골격근이 체중의 39.7%를 뼈가 17.6%를 차지하여<sup>16)</sup> 흰쥐에 있어서는 골격근이 45.4%, 뼈가 10.9%를 차지한다는 바<sup>17)</sup> 본 논문에 있어서는 흰쥐의 값을 그냥 토끼에 적용하였다.

방사능 계측은 1 밀리리터 표본을 사용하여 Tracerlab의 well scintillation counter로 계수하였다.

### 실 험 성 적

정상대조군, 급성실혈군 및 과잉수혈군 토끼의 체중, 혈마토크릴, 총혈구량 및 총혈액량을 제 1 표에 표시하였다.

정상대조군 토끼의 혈마토크릴 값은  $36.3 \pm 1.71\%$  이었고, 총혈구량과 총혈액량의 평균치는 체중 100gm당 각각  $1.87 \pm 0.12\text{ml}$ ,  $5.11 \pm 0.32\text{ml}$  이었다. 이러한 정상대조군의 혈구량과 혈액량은 보고된 다른 값들과 비교하여 차이가 없는 것이었다.

급성실혈군 토끼의 혈마토크릴 값은  $28.8 \pm 0.69\%$ 로서 대조군에 비하여 막대한 감소를 보이었다. 총혈구량은  $1.32 \pm 0.08\text{ml}/100\text{gm}$ 로서 대조군보다 감소하였으며, 총 혈액량은 4.63%체중으로 대조군보다 감소를 보이었으며, 실혈 후 30분에는 아직 혈관밖으로부터의 액체 이

**Table 2.** Hematocrit, blood volume and red cell volume of rabbits before and after administration of epinephrine.

B.wt., gm	Hemat. X (Trapping Factor 0.96)	Blood Vol- ume (ml/ 100 gm B. wt.)		Total Red Cell Vol. (Cr <sup>51</sup> )ml/ 100gm B. wt.		
	before	after	before	after	before	after
1970	38.3	37.9	4.38	4.46	1.68	1.69
1600	38.4	37.4	5.49	5.96	2.11	2.23
1830	34.4	32.6	5.20	5.27	1.79	1.79
1750	38.3	37.4	6.19	7.15	2.37	2.69
1630	39.4	38.4	5.39	5.86	2.12	2.25
1850	39.4	39.4	5.47	5.61	2.16	2.21
2100	37.4	35.9	6.14	6.69	2.30	2.40
2050	33.9	33.0	7.22	8.91	2.45	2.94
1500	47.5	44.1	5.28	5.87	2.50	2.59
1850	39.8	38.4	5.30	5.75	2.11	2.21
1800	39.4	39.8	5.65	5.79	2.23	2.30
1800	38.4	37.4	6.01	6.96	2.31	2.60
Mean 1811	38.7	37.6	5.64	6.19	2.18	2.32
S.D.	3.2	2.9	.61	1.08	.24	.41
S.E.M.	.97	.87	.18	.32	.07	.12

**Table 1.** Hematocrit, blood volume and red cell volume of normal, hemorrhaged and over-transfused rabbits.

Body wt., gm			Hemat. X (Trapping Factor 0.96)			Blood Volume (% Body wt.)			Total Red Cell Volume (Cr <sup>51</sup> )% B. wt.		
Normal	Hemorr-haged	Over-tran-fused	Normal	Hemorr-haged	Over-tran-fused	Normal	Hemorr-haged	Over-tran-fused	Normal	Hemorr-haged	Over-tran-fused
2220	2013	1730	39.0	39.8	50.8	5.19	6.99	6.50	2.02	2.08	3.30
2100	1910	2028	38.6	27.6	32.6	7.04	4.71	7.09	2.72	1.30	2.31
2180	1730	1630	35.6	26.4	42.8	4.83	4.60	6.34	1.72	1.21	2.29
1950	1830	1655	27.3	24.9	39.1	3.97	4.24	5.10	1.08	1.06	1.99
1900	2190	1650	36.3	28.8	45.6	4.90	3.71	6.54	1.78	1.07	2.98
1670	1830	2050	41.2	31.6	46.6	4.14	3.97	9.02	1.71	1.25	2.34
1850	1890	1720	34.3	27.2	45.1	6.43	3.01	5.04	2.21	0.82	2.27
2170	1800	1800	38.4	32.2	45.6	4.48	3.25	4.19	1.73	1.05	1.91
1930	1850	1620	31.0	28.8	40.8	5.52	6.19	5.43	1.71	1.78	2.22
1580	1550	1670	29.8	33.1	45.1	3.70	5.50	6.13	1.10	1.82	2.76
1675	1650	1550	47.5	28.3	49.0	5.98	5.45	5.64	2.84	1.54	2.76
	1720	1600		27.6	44.2		4.62	5.42		1.28	2.40
	1820	1635		24.9	39.0		3.91	5.25		0.97	2.05
	1710	1650		27.6	45.6		4.65	5.73		1.28	2.61
		1670			40.4			5.14			2.08
Mean 1930	1795	1711	36.3	28.8	43.5	5.11	4.63	5.57	1.87	1.32	2.42
S.D.			5.4	2.6	4.4	1.01	1.03	0.71	0.37	0.30	0.31
S.E.M			1.71	0.69	1.18	0.32	0.28	0.19	0.12	0.08	0.08
P				<.05	<.05		<.10	<.10		<.05	<.05

동이 충분하지 못함을 나타냈다. 이리하여 실혈군에서는 혈액량 감소와 혈액의 회색을 볼 수 있었다.

과잉수혈군 토끼의 혈마토크릴 값은  $43.5 \pm 1.18\%$ 로서 대조군보다 현저히 증가했고, 총혈구량은  $2.42 \pm 0.08\text{ml}/100\text{gm b.wt}$ .이며, 총혈액량은  $5.57 \pm 0.19\%$  체중으로서 모두 대조군보다 증가를 보이었다. 과잉수혈군에서는 수혈 후 30분에는 혈관계 밖으로의 액체 이동은 적어서 혈액량 조절기구가 완전히 그 작용을 나타내지 못하였으며 혈액은 농축되면서도 혈액량이 증가한 상태에 있었다.

에피네프린 투여군 토끼에서 에피네프린 주사 전후의 혈마토크릴, 혈구량 및 혈액량의 변동을 제 2 표에 표시하였다. 에피네프린 주사 전의 혈마토크릴 값은  $38.7 \pm 0.97\%$ , 혈구량  $2.18 \pm 0.07\%$ 체중, 혈액량  $5.64 \pm 0.18\%$

**Table 3.** Tissue blood volume of normal and hemorrhaged rabbits expressed as  $\mu\text{l/gm}$  and % of total body blood volume.

**A.  $\mu\text{l}$  Blood volume/gm tissue**

	Heart		Lung		Liver		Spleen		Kidney		Muscle		Bone	
	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after
Mean	67	64	476	246	133	72	218	183	117	127	15	15	36	37
S.D.	12	34	114	139	43	20	94	222	43	48	15	5	28	16
S.E.M.	4	10	36	40	15	6	31	64	14	14	6	2	10	5
P	<.15		<.01		<.01				<.15					
% diff.	-4.5		-48.3		-45.9		-16.1		+7.9		0		+0.3	
		Brain		Intestine		Stomach		Gall bladder		Ovary		Uterus		
		before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	
Mean	25	27	33	33	30	24	92	100	52	49	45	93		
S.D.	13	12	13	19	9	16	82	63	12	26	11	32		
S.E.M.	4	3	5	6	3	5	31	18	5	9	4	11		
P			+8.0		0		-20.0		+8.7		-5.8		+17.8	

**B. Blood volume/whole organ (% of total blood volume.)**

	Heart		Lung		Liver		Spleen		Kidney		Muscle		Bone	
	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after
Mean	.369	.381	4.61	2.26	6.1	4.55	0.15	0.11	1.67	1.61	13.14	2.22	7.57	7.23
S.D.	.013	.167	2.23	.65	1.21	4.39	0.08	0.08	0.48	.84				
% diff.	+3.1		-51.0		-25.4		-30.0		-3.8		-7.0		--4.5	
		Brain		Intestine		Stomach		Gall bladder		Ovary		Uterus		
		before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	
Mean	.158	.190	396	396	.884	.836	.023	.018	.026	.024	.266	.319		
S.D.	.105	.039			.302	.609	.016	.012	.015	.015	.133	.305		
% diff.	+16.8		0		-5.4		-21.7		-7.7		+16.6			

체중 이었고, 주사 후의 혈마토크릴 값은  $37.6 \pm 0.87\%$ 로서 주사전에 비하여 별반 차이가 없으나, 혈구량의 증가와 혈액량의 증가가 있었으나 모두 유의한 차이는 아니었다.

정상 대조군과 급성실혈군 토끼각장기의 조직 혈액량을 제 3 표에 표시하였다. 정상 토끼의 조직 혈액량을 조직 매 그램당  $\mu\text{l}$ 로 표시하면 심장에서  $67 \mu\text{l/gm}$ 이며 허파 476, 간장 133, 비장 218, 콩팥 117, 근육 15, 뼈 36, 대뇌 25, 작은창자 33, 위 30, 담낭 92, 난소 52, 자궁  $45 \mu\text{l/gm}$ 의 성적을 얻었다. 즉 장기별로 본 혈액량은 허파에서 가장 풍부하여  $476 \mu\text{l/gm}$ 이었고, 다음이 비장으로  $218 \mu\text{l/gm}$ 이었고, 간장이  $133 \mu\text{l/gm}$ , 콩팥이  $117 \mu\text{l/gm}$ 의 순으로 혈액량이 많았다. 그밖의 조직에서는  $100 \mu\text{l/gm}$  이상의 혈액 함유량을 가지는 것은

없었다. 장기의 혈액 함유량을 총혈액량에 대한 백분율로 보면 신체내 모든 골격근에 분포되어 있는 혈액량이 가장 많은 13.14%였고 뼈에서 7.57%, 간장이 6.10%, 허파에 4.61%, 콩팥에 1.67%의 순서로 많은 혈액을 함유하고 있었고 그밖의 장기에서 총혈액량의 1% 이상의 혈액을 함유하는 장기는 볼 수 없었다. 이들 실험성적을 Rieke 및 Everett<sup>19)</sup> (심폐계통 248 $\mu\text{l}/\text{gm}$ , 간 136  $\mu\text{l}/\text{gm}$  RBC)와 Dellenback<sup>6)</sup> (심폐계통 212 $\mu\text{l}/\text{gm}$ , 간 83 $\mu\text{l}/\text{gm}$  RBC) 등에 의한 흰쥐의 실험성적과 비교하여 다소 차이를 볼 수 있었다. 이것은 주로 장기를 관류하는 큰 동맥과 정맥이 장기조직의 혈액에 얼마나 포함되느냐의 조건에 따라 비교적 큰 변동을 초래할 것이라 예상되며, 본 실험에 있어서는 심장의 방 및 실에 있는 혈액은 제거하였으므로 이들 혈액도 포함된 Dellenback<sup>6)</sup> 등의 값보다 심폐계통의 혈액 함유량이 적은 값을 얻었고 액체질소로 조직을 냉동한 Rieke 및 Everett<sup>19)</sup>의 값과 비교하여 비슷하나 일반적으로 약간 낮은 값들이었다. 이것은 동물의 종류, 크기, 마취의 깊이 혹은 순환두절등의 조건에 따라 실험성적에 차이를 가져 오는 듯하다.

급성실혈군 토끼 14마리에서 본 조직 혈액량은 제 3 표에 표시하였거니와 정상대조군과 비교하여 10% 이상의 혈액 함유량의 변동이 있는 조직으로는 허파에서 246  $\mu\text{l}/\text{gm}$ 로 46%( $p < .05$ )가 감소하였고 간장이 72 $\mu\text{l}/\text{gm}$ 로 46%( $p < .05$ ), 위가 24 $\mu\text{l}/\text{gm}$ 로 20%, 비장이 183 $\mu\text{l}/\text{gm}$ 로 16%가 각각 감소되었으며, 그밖의 조직에서는 큰 감소는 없었다. 각 장기에서 감소한 혈액량의 총혈액량에 대한 백분율을 보면 허파에서 2.36%, 간장에서 1.55%, 골격근에서 0.92%, 뼈에서 0.34%를 각각 차지하였다. 이리하여 급성실혈에 있어서 혈액 동원의 주되는 기관은 허파, 간장 및 비장이라 하겠다. 급성실혈군 토끼에서의 조직 혈액량의 변동을 그림 1에 도시하였다. 종축에는 조직 혈액량을 대수눈금으로 표시하고 횡축에 각 장기별로 조직을 배열한 것이다. 화살의 바탕이 되는 굵은 줄은 정상 대조군 토끼의 값을 나타내며 화살풀로 뻗친 끝이 변동한 값을 표시하는 것이다. 허파, 간장, 심장 및 비장에서 감소가 큰 것이 표시되어 있다.

과잉수혈군 토끼 15마리에서 본 조직 혈액량은 허파를 제외한 모든 기관조직에서 증가를 보였으며 그 성적을 제 4 표에 표시하였다. 심장에서 76 $\mu\text{l}/\text{gm}$ (대조군에 비하여 13%증가, 이하 같다), 간장 150(13%), 비장 299(37%), 콩팥 141(21%), 근육 17(13%), 뼈 39(8%), 대뇌 33(32%), 작은 창자 37(12%), 위 38(26%), 담낭 108(17%), 난소 74(42%), 자궁 64 $\mu\text{l}/\text{gm}$ (40%)와 같은 성적으로서 과잉으로 수혈된 혈액이 정도의 차는

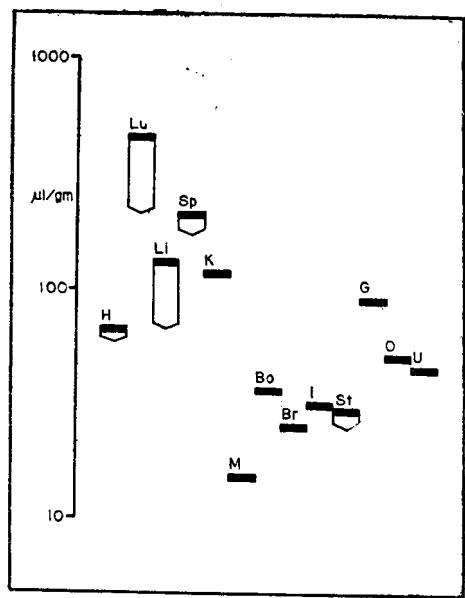


Fig. 1. Changes in tissue blood volume of various organs after hemorrhage in rabbits. Middle of thick bar indicates the normal control value and tip of arrow indicates the value after hemorrhage. Changes are manifested in lung, liver and spleen. H: heart, Lu: lung, Li: liver, Sp: spleen, K: kidney, M: muscle, Bo: bone, Br: brain, I: intestine, St: stomach, G: gall bladder, O: ovary and U: uterus.

있으나 모든 기관에 분포되었다. 다만 허파에서 정상 대조군에 비하여 도리어 혈액 함유량이 적어졌는데 그 이유로는 과잉수혈로 혈액량이 증가하고 심장으로의 정맥 환류량이 증가한 때문이라고 생각된다. 정맥환류량의 증가는 심장박출량 증가라는 심장촉진을 나타내는 바, 심장촉진에 따라서 폐정맥압이 하강하면<sup>20)</sup> 이것에 비례하여 폐내에 간직되는 혈액량이 감소하게 된다.

대조군에 비하여 뼈가 8% 증가한 것 이외에는 조직 혈액량이 모든 조직에서 10% 이상의 증가를 보이었다. 수혈후 30분 이내에는 액체의 혈관계 밖으로의 이동이 많지 않고 수혈된 혈구도 아직은 순환에 참여하고 있었다. 과잉수혈로 증가한 조직 혈액량을 총혈액량에 대한 백분율로 표시한 성적은 모두 증가만이 아니고 감소를 표시하는 것이 있었다. 이러한 기관에서는 조직 혈액량 증가의 크기가 수혈로 총혈액량이 증가하는 정도보다 적은 것이라 믿어지며 콩팥, 뼈, 담낭, 난소, 자궁 등이 여기에 속하였다.

**Tabel 4.** Tissue blood volume of normal and over-transfused rabbits expressed as  $\mu\text{l/gm}$  and % of total body blood volume.

**A.  $\mu\text{l}$  Blood volume/gm tissue**

	Heart		Lung		Liver		Spleen		Kidney		Muscle		Bone	
	before	after												
Mean	67	76	476	434	133	150	218	299	117	141	15	17	36	39
S.D.	12	37	114	181	43	133	94	169	43	41	15	17	28	21
S.E.M.	4	11	36	52	15	38	31	56	14	13	6	5	10	7
P		<.05									<.05			
% diff.		+13		-8.8		+37		+37		+21		+13		+8

	Brain		Intestine		Stomach		Gall bladder		Ovary		Uterus		
	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	
Mean	25	33	33	37	30	38	92	108	52	74	45	64	
S.D.	13	15	13	31	9	19	82	131	12	62	11	41	
S.E.M.	4	4	5	9	3	6	31	38	5	21	4	13	
P			<.15			<.05			<.20		<.20		<.20
% diff.		+32		+12		+26		+17		+42		+40	

**B. Blood volume/whole organ (% of total blood volume)**

	Heart		Lung		Liver		Spleen		Kidney		Muscle		Bone	
	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after
Mean	.369	.374	4.61	3.26	6.10	8.05	.150	.188	1.67	1.62	13.14	13.84	7.57	7.23
S.D.	.013	.234	2.23	1.25	1.21	9.92	.079	.067	.48	.19				
% diff.		+1.3		-29.4		+24.2		+20.2		-3.1		+6.1		-4.5
	Brain		Intestine		Stomach		Gall bladder		Ovary		Uterus			
	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after		
Mean	.158	.236	396	444	.884	.916	.023	.020	.026	.025	.266	.198		
S.D.	.105	.126			.302	.735	.016	.025	.015	.021	.133	.110		
% diff.		+33.1		+12		+3.5		-13.0		-3.8		-25.6		

파이수혈군 토끼에서의 조직 혈액량의 변동을 그림 2에 보인다. 종축에  $\mu\text{l/gm}$ 으로 표시한 조직 혈액량을 대수눈금으로 잡았고 횡축에 장기별로 배열하였다. 짙은 바탕은 정상 대조군의 값을 나타내며 화살꼴 끝은 증가한 조직 혈액량을 표시한다. 그림에서 보듯이 혈액량 증가가 널리 여러 기관에 퍼져 있으며, 급성실혈군(그림 1)에서는 변동이 허파, 간장 및 비장에 국한된 것과는 대조적이다. 장기별로는 혈액 용량이 큰 간장(8.04% 총혈액량), 근육(13.84% 총혈액량) 등으로 들어간 량이 많았다.

에피네프린 투여군 토끼 12마리에서 본 조직 혈액량의 변동은 제 5 표에 보는 바와 같았다. 즉 비장에서 주사후에 1390  $\mu\text{l/gm}$ 로서 주사 전의 218  $\mu\text{l/gm}$ 에 비하

면 550%의 증가를 보여서 제일 커다. 다음으로는 콩팥 41%, 간장 38%, 풀격근 33%, 심장 32%, 난소 75%, 자궁 33% 등의 증가를 보여서 모든 장기에서 증가하였다. 다만 허파에 있어서는 11%의 감소를 보인 것은 특이하였다. 이들 조직 혈액량의 증가분을 전신 총혈액량에 대한 백분율로 보면 간장이 3.0% 총혈액량에 해당한 크기의 증가이어서 에피네프린 주사 전에 총혈액량의 6.1%를 간직하던 것이 주사 후에는 9.1%의 혈액량을 간직하였다. 다음으로는 풀격근 전체가 주사 후에 총혈액량의 16.0%를 간직하여 2.9%의 증가를 보이었다. 비장도 0.8% 총혈액량의 증가를 보이었다. 총혈액량에 대한 백분율로는 허파, 뼈, 위에서는 감소를 보이었다.

**Table 5.** Tissue blood volume of rabbits before and after the administration of epinephrine expressed as  $\mu\text{l}/\text{gm}$  and % of total blood volume.

**A.  $\mu\text{l}$  Blood Volume /gm tissue.**

	Heart		Lung		Liver		Spleen		Kidney		Muscle		Bone	
	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after
Mean	67	99	476	422	133	184	218	1390	117	165	15	20	36	37
S.D.	12	16	114	299	43	68	94	1020	43	80	15	8	28	14
S.E.M.	4	5	36	90	15	21	31	323	14	24	6	3	10	5
P		<.20				<.20			<.01		<0.15			
%Diff.		+32.3		-11.3		+38.3			+550		+41.0		+33.3	
	Brain		Intestine		Stomach		Gall bladder		Ovary		Uterus			
	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after
Mean	25	28	33	31	30	34	92	93	52	91	45	60		
S.D.	13	12	13	11	9	13	82	43						
S.E.M.	4	4	5	4	3	4	31	13						
P			<.25			<1.5								
%diff.		+12.0		-6.0		+13.3			+1.1		+75.0		+33.3	

**B. Blood volume / whole organ (% of total blood volume)**

	Heart		Lung		Liver		Spleen		Kidney		Muscle	
	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after
Mean	369	500	4.61	3.06	6.10	9.15	.150	1.020	1.67	2.03	13.14	16.03
S.D.	013	110	2.23	1.73	1.21	2.58	.079	.686	.47	1.28		
%diff.		+35.8		--33.6		+50.0		+580		+21.6		+22.0
	Bone		Brain		Intestine		Stomach		Gall bladder			
	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after	before	after
Mean	7.57	* 7.12	.158	.173	.396	.372	.884	.854	.023	.020		
S.D.			.105	.075			.302	.298	.016	.020		
%diff.		-6.0		+9.5			-6.0		-3.4			-13.0

**고      찰**

혈관계 안의 혈액량을 변화시킨 이상 실험성적을 개관하면 급성실혈에 있어서는 예상할 수 있는 것과 같이 혈마토크릴의 저하, 총혈구량의 감소, 및 총혈액량의 감소가 있었으며 각 장기 조직 혈액량도 몇몇 예외는 있으나 감소를 보이었다. 반대로 정상 토끼에 과잉수혈한 성적은 혈마토크릴의 증가, 총혈구량의 증가 및 총 혈액량의 증가를 보이고 조직 혈액량은 혈관 이외의 모든 장기에서 증가를 나타내었다. 에피네프린 주사 후에는 총혈구량과 총혈액량이 다같이 증가하고 각 장기 조직 혈액량도 혈관 등을 제외하고는 모두 증가를 보였다.

정상 토끼의  $\text{Cr}^{51}$  표지법에 의한 총혈구량으로 1.87% 체중을 얻었는 바 Muelheim, Dellenback 및 Rawson

등에 의한 값(6.20)과 별차가 없었다. 혈액량이 5.11% 체중이 있는데 T-1824로 측정한 권기택<sup>18)</sup>의 값은 이보다 큰것이었다. 이것은 아마 혈액량 측정에 있어서 본 논문에서 채택한 혈구법이 일반적으로 혈장법보다 적은 값을 나타내는 것을 반영하였다고 생각된다.

급성실혈에 있어서 총혈액량의 33%에 해당하는 실혈이 있었고 동맥혈압의 하강이 30 mmHg의 크기에 이르는 다양이었던 바, 이러한 실혈에 대응하여 혈관, 간장 및 비장의 조직 혈액량이 크게 감소하였다. 혈관에서는 Dunn<sup>21)</sup> 및 Wiggers<sup>22)</sup> 등이 지적한 바와 같이 혈관운동성이 발달되어 있고, 여러 가지 실험조건에서 폐순환계 혈압을 비교적 일정하게 조절하는 능력이 있으므로 급성실혈에 의하여 혈압이 하강하면 이것을 보상하기 위하여 혈관 혈관계가 수축하므로써 혈관 조직 혈액량이 감소하는 한편으로는 순환혈액량의 부족을 메꾸

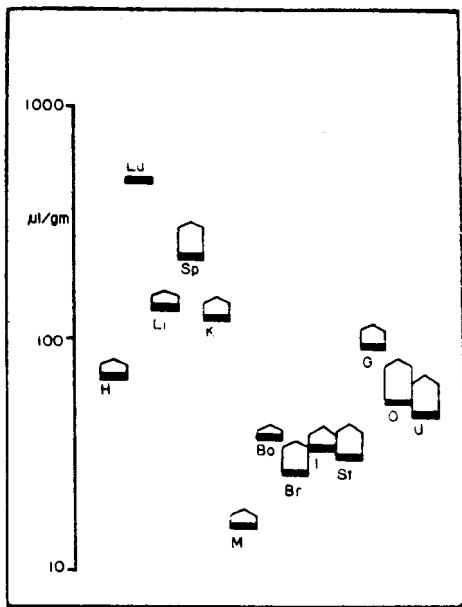


Fig. 2. Increases in tissue blood volume after over

고 폐순환 및 체순환계의 혈압 유지에 이바지 하리라 생각된다.

문맥과 그 가지들은 이미 잘 알려져 있는 바 풍부한 혈액저장고이며<sup>23)</sup> 비장과 간동맥과의 연관아래에서 동맥혈압이 개에서 80 mmHg 까지 내려도 혈액류통량은 그리 변화가 없다고도 하나<sup>24)</sup> 급성실혈에 있어서는 저정하였든 혈액을 동원하며<sup>25)</sup> 간장의 혈액류통량은 감소한다<sup>26)</sup>. 다만 실혈량이 적을 때는 혈액류통량의 감소는 유의한 것은 못되나 실혈량이 큰 경우에는 동맥혈압의 하강도 크고 혈액류통량의 감소도 현저히 나타난다고 한다. 장기 단위에서 관찰할 때 총혈액량의 2.35%가 혈관에서, 1.46%가 간장에서, 0.92%가 근육에서 동원되었는데 본 실험에서 30밀리리터의 급성실혈로 말미암아 잃어버린 30밀리리터의 약 15%를 혈관에서, 10%를 간장에서 동원한 셈이 된다. 나머지 75%는 근육을 비롯한 기타 장기와 혈관밖으로 부터의 조직액 이동이 있든가 혈관운동으로 보상한 듯 하다.

Dellenback<sup>6)</sup> (실혈량 68.5% 총혈액량) 등의 성적과 비교하여 저자의 실험성적에서는 많은 장기에서의 혈액의 동원이 없었고 혈관과 간장 및 근육에 국한하여 혈액을 동원하는 것과 동원되는 혈액량이 적은 점은 이들에 비하여 실혈량 자체가 적은 탓이라 생각된다. 비장에서도 혈액동원의 비율은 큰것이었으나 기관자체가 작으므로 총혈액량에 대하여 차지하는 크기는 0.1%에 지나지 않아서 혈액량 동원의 절대치는 작다. 콩팥은 웬만한 범위의 혈압 변동에서는 혈액류통량이 변화없

는 것으로 본 실험에 있어서도 조직 혈액량의 변동은 크지 않았다. 뼈 기타 장기로부터 동원되는 혈액량의 절대치는 작은 것이었다.

과잉수혈 실험에서 수혈량은 총혈액량의 30%이상에 도달하였는데, 이때에 조직 혈액량의 증가가 여러 장기에 균등하게 퍼지는 것은 특이하다. 혈액저장고로서의 역할을 가지는 간장이외에도 모든 장기에 혈액량의 증가가 있었다. 다만 혈관은 급성실혈 실험에서는 혈액저장고로서의 역할을 나타내는듯 하여서 다량의 혈액을 동원하였는데 반하여 도리어 감소되었음은 특이하다. 대조군에서 476  $\mu\text{l}/\text{gm}$ 의 값을 가지는 혈관의 조직 혈액량이 과잉수혈군에서는 434  $\mu\text{l}/\text{gm}$ 으로 감소되었다는 것이다. 과잉수혈로 순환혈액량이 증가하면 곧 정맥환류량의 증가를 초래 할 것인 바 이것은 곧 심장박출량 증가를 나타낸다. 이러한 심장축진에 부수하여서 일어나는 폐정맥압의 하강 나아가서는 폐내에 간직되는 혈액량의 감소는 에피네프린 작용에서 보는 것인 바 마찬가지 기전으로 과잉수혈에 있어서 폐조직 혈액량의 감소가 있었다고 본다.

각 조직에서 비교적 균등하게 혈액량이 증가된다는 것은 각 장기의 혈액용량이 대소 부등한고로 불어난 혈액을 처리하는 각 장기의 혈액용량에 차가 있고 또 혈관주위의 탄력성도 조직에 따라서 차이가 있을 것이므로 과잉수혈후에 오는 혈액량증가에 차이가 있을것이 예상되었음에도 불구하고, 본실험의 결과와 같이 비교적 균등한 증가분을 보이고 있는 것은 조직내 혈액량과 이것을 좌우하는 여러가지 조건 사이에 아직 평형이 이루어지지 못하였기 때문이라고도 상상되나 수혈후 30분의 단시간 관찰로서는 단정하게 어렵다.

에피네프린 투여군 토끼에서 조직 혈액량은 비장에서 가장 큰 변동을 보였다. 비장 혈관평활근과 비주(trabecula)가 교감신경 지배하에 있으므로 에피네프린 투여에 의해서 수축하는 것은 Barcroft<sup>27)</sup>에 의해서 이미 잘 아는 사실이나 비장이 수축하여 혈액함유량이 줄어들어야 할 것인데 저자의 실험성적에 의하면 비장 혈구량이 70  $\mu\text{l}/\text{gm}$ 에서 522  $\mu\text{l}/\text{gm}$ 로 6배 이상이 증가했다. 이것은 비장수축에 의해서 혈액 자체가 비장에서 구출된다기 보다 주로 혈장성분만이 짜여져 나가고 혈구성분은 오히려 늘어나는 때문이 아닌가 생각된다. 비장의 혈액 토크릴 값은 본실험에서 알 수 없으나 에피네프린 투여 군에서는 특히 비장의 혈액 토크릴 값이 순환혈액의 혈마토크릴 값과 비교하여 큰 차이가 있을 것으로 추측됨으로 제5표 비장의 조직혈액량의 값은 척지 않은 오차를 내포한 것 같다. 에피네프린 투여의 일반작용으로는 혈액의 농축<sup>12)</sup>이 보고되어 있거니와 개에서 내장신경지배 혈관영역의 혈류저항 증가가 있어서 간장 혈액류통

량 자체에는 변화가 없다고 한다<sup>28</sup>.

허파에 간직되는 혈액량은 폐정맥암에 따라서 변동한다<sup>29</sup>. 심장이 축진되면 폐정맥암이 하강하여 심실부전에서는 상승한다. 이러한 변화의 결과로 폐내 혈액량에는 괴동적 변화가 나타난다. 본 실험과 같이 에피네프린을 투여하면 심장축진이 오는바 상기와 같은 고찰의 결과로 폐조직 혈액량이 11%의 감소를 보였다고 하겠다.

문정맥에 에피네프린을 주사하면 간장의 혈액량이 크게 감소한다<sup>30</sup>. 국부적으로 에피네프린을 주는 경우와 순환계 전체에서 부하하는 경우와는 사정이 약간 다르기는 하나 저자의 실험성적에서 간장 혈액량이 38% 증가하였는데 이것은 전체 혈관계 긴장도가 높아지는 경우 간장 혈관계통이 정맥계 혈액저장고로서의 작용이 앞서기 때문이 아닌가 생각된다. 심장(48%), 콩팥(41%) 및 근육조직(33%)에서는 혈액량이 증가하였고 기타 몇몇 조직에서 혈액량의 증가가 있었지만 유의한 것은 아니었다.

## 결 론

급성실혈, 과잉수혈 및 에피네프린 투여가 각 장기 및 조직에서의 적혈구의 분포상태에 대한 영향을 냉류탈마취한 52마리의 성숙한 토끼에서 실험하였다. 정상대조군 11마리, 급성실험군(실혈 1.67% 체중, 33% 혈액량) 14마리, 과잉수혈군(수혈 1.75% 체중, 34% 혈액량) 15마리, 에피네프린 투여군 12마리에서 실험하였다.

$\text{Cr}^{51}$  표지 혈구를 동물에 주사하여 동위원소 희석법으로 혈구량을 산출하고 해마토크릴 값으로 간접적으로 혈액량을 얻었다. 조직혈액량은 혈액 1ml의 방사능계수와 조직 1gm의 방사능 계수와의 비율로 구하고, 장기의 무게로부터 장기의 혈액량을 산출하였든 바 얻은 성적은 다음과 같았다.

1. 정상대조군 토끼에서 혈구량은  $1.87 \pm 0.12\%$  체중 총혈액량은  $5.11 \pm 0.32\%$  체중이었다.

혈액 함유량은 허파 476  $\mu\text{l}/\text{gm}$ , 비장 218, 간장 133, 콩팥 117,  $\mu\text{l}/\text{gm}$ 의 순으로 많았고 그외 조직에서는 모두 100  $\mu\text{l}/\text{gm}$  이하의 혈액량을 간직하였다.

2. 급성실혈군 토끼에서는 해마토크릴, 총혈구량 및 총혈액량의 감소가 있었으며 허파와 간장 조직의 혈액량이 현저히 감소되었다. 즉 정상대조군의 혈액 함유량과 비교하여 허파 48%, 간장 46%의 감소를 보였고 비장, 위 등에서 감소를 보였으나 유의한 변화는 아니었다. 변동을 장기별로 보면 허파(2.36% 총혈액량), 간장(1.55% 총혈액량), 근육(0.92% 총혈액량)의 순서로 많은 혈액이 감소되었다.

3. 과잉수혈군 토끼에서는 해마토크릴, 총혈구량 및 총혈액량이 증가하였으며 급성실혈군 토끼와 비교하여 조직 혈액량이 각 조직에 비교적 균등하게 증가되었다. 혈액량이 가장 현저히 증가된 장기는 간장(1.95% 총혈액량)과 근육(0.70%)이었다.

4. 에피네프린 투여군 토끼에서는 특히 비장조직에서 혈구량이 투여전에 비하여 투여후 70  $\mu\text{l}/\text{gm}$ 에서 522  $\mu\text{l}/\text{gm}$ 로 550%가 증가되었다. 조직 혈액량은 간장(3.04% 총혈액량), 근육(2.89% 총혈액량), 비장(0.87% 혈액량)에서 증가되었고 허파(1.55% 총혈액량), 뼈(0.45%)에서 감소되었다.

(본 실험을 지도하신 남기용 교수께 감사한다).

## ABSTRACT

### Variations of Tissue Blood Volume Distribution Induced by Hemorrhage, Over-transfusion and Epinephrine in Rabbits.

Zong Sun Park, M.D.

Department of Physiology, College of Medicine,  
Seoul National University, Seoul, Korea.  
(Director: Prof. Kee Yong Nam, M.D.)

Variations of red cell volume and tissue blood volume were measured in 52 nembutalized rabbits by means of  $\text{Cr}^{51}$ -labeled red blood cell technique. Animals were divided into 4 groups: the first was control group consisted of 11 rabbits, the second group (14 rabbits) was hemorrhaged 33% of total blood volume within 5 minutes, the third group (15 rabbits) was over-transfused amounting 34% of normal pretransfusion volume, and in the fourth group epinephrine was injected intravenously. The following results were obtained.

1. The normal red blood cell volume in rabbits was  $1.87 \pm 0.12\text{ ml}/100\text{ gm}$  body weight. Total blood volume was  $5.11 \pm 0.32\%$  body weight. Tissue blood volume was highest in lung (476  $\mu\text{l}/\text{gm}$ ). Tissue blood volume values in other tissues were: spleen 218, liver 133, and kidney 117  $\mu\text{l}/\text{gm}$ . The other tissues examined contained less than 100  $\mu\text{l}/\text{gm}$  tissue blood volume.

2. In acute hemorrhage there appeared the decrease in hematocrit, red cell volume, total volume and tissue blood volume. Tissue blood volume decrement in lung showed the highest value ranging 48% as compa-

red to the control group. Liver showed a 46% decrement. Skeletal muscle showed little decrement. Blood was mobilized chiefly from lung and liver in acute hemorrhage.

3. In over-transfusion there was a diffuse and even increment of tissue blood volume in various organs. Liver and skeletal muscle, however, showed high value of increase in tissue blood volume.

4. In the epinephrine administered rabbits, there were increases in red cell volume, total blood volume and tissue blood volume. The increase in tissue blood volume was highest in spleen, e.g., 550% as compared to the preinjection values. Tissue blood volume increased also in liver and skeletal muscle and decreased in lung and bone.

## REFERENCES

- 1) Kaufmann, W., F.W. Klussmann, J. Koch, and A. Lütcke.: *Volumenersatz nach Haemorrhagien vor und nach Ausschaltung der Milz.* Pflueger's Arch. 263:253, 1956.
- 2) Dunn, J. R.Jr. S. Deavers, R. A. Huggins, and E. I. Smith.: *Effect of hemorrhage on red cell and plasma volume of various organs of the dog.* Am J. Physiol. 195:69, 1958.
- 3) Sjostrand, T.: *Determination of total amount of hemoglobin in anemia and polycythemia.* Scandinavian. J. Clin. Lab. Invest. 1:215, 1949.
- 4) Gordon, S.A.: *Hemopoietine.* Physiol. Rev. 39:1, 1959.
- 5) Huggins, R.A., E.L., Smith, S. Deavers, and R.C. Overton.: *Changes in cell and plasma volumes in the dog produced by hemorrhage and reinfusion.* Am. J. Physiol. 189:249, 1957.
- 6) Dellenback, R.J., and G.H. Muelheims.: *Red blood cell volume and distribution before and after bleed-out in the rat.* Am. J. Physiol. 198:1177, 1960.
- 7) Crosby, W.H. and J.H. Akerozd.: *Some immunohematologic results of large transfusion of group blood in recipients of other blood groups; results of battle casualties in Korea.* Blood 9:103, 1954.
- 8) O'Brien, W.A., D.L. Howie, and W.H. Crosby.: *Blood volume studies in wounded animals.* J. Appl. Physiol. 11:110, 1957.
- 9) Guyton, A.C., J.E. Lindley, R.N. Touchstone, C.M. Smith, and H.M. Smith, and H.M. Baston, Jr.: *Effect of massive transfusion and hemorrhage on blood pressure and fluid shifts.* Am. J. Physiol. 163:520, 1950.
- 10) Huggins, R.A., E.L. Smith, and R.A. Seibert.: *Adjustments of the circulatory system in normal dogs to massive transfusions.* Am. J. Physiol. 186:92, 1956.
- 11) Smith, E. L., S. Deavers, R.A. Huggins, and G. Stolzoff.; *Effect of time and volume of blood overtransfused on the loss of plasma and protein in the dog.* Am. J. Physiol. 196:1039, 1959.
- 12) Tapper, D.N., and M.R. Kare.: *Epinephrine-induced hemoconcentration in the domestic hen.* Am. J. Physiol. 196:1322, 1959.
- 13) Gray, S. J., and K. Sterling.: *The tagging of red cells and plasma protein with radioactive chromium.* J. Clin. Invest. 29:1604, 1950.
- 14) Sterling, K., and S. J. Gray.: *Determination of circulating red cell volume in man by radioactive chromium.* J. Clin. Invest. 29:1614, 1950.
- 15) Read, R.C.: *Studies of red-cell volume and turnover using radiochromium; description of new "closed" method of red-cell volume measurement.* New England J. Med. 250:1021, 1954.
- 16) Forbes, R.M., A.R. Cooper, and H.H. Mitchell.: *The composition of the adult human body as determined by chemical analysis.* J. Biol. Chem. 203:359, 1953.
- 17) Skelton, H.: *Arch. Int. Med.* 40:140, 1927.
- 18) 권기택 : 허파속 및 뱃속 양성 압력이 조직 수분량 및 혈장량에 미치는 영향, 最新醫學 6:713, 1963.
- 19) Rieke, W.C., and N.B. Everett.: *Effect of pentobarbital anesthesia on the blood values of rat organs and tissues.* Am. J. Physiol. 188:403, 1957.
- 20) Muelheims, C.M., R.J. Dellenback, and R.Rawson.: *Red blood cell volume and distribution after bleed-out in the rat as determined by Cr<sup>51</sup>-labeled red blood cell.* Am. J. Physiol. 196:169, 1959.
- 21) Dunn, J. S.: *Pressure in right ventricle, work performed by heart.* J. Physiol. 53:111, 1919.
- 22) Wiggers, C.: *The regulation of pulmonary circulation.* Physiol. Rev. 1:239, 1921.
- 23) Krogh, A.: *The regulation of the supply of blood to right heart.* Scandinavian. Arch. Physiol. 27:227, 1912.
- 24) Grayson, J., and D. Mendel.: *The role of the spleen and the hepatic artery in the regulation of*

- liver blood flow.* *J. Physiol.* 136:60, 1957.
- 25) Bauer, W., H. H. Dale, L.T. Pousson, and D.W. Richards.: *The control of circulation through the liver.* *J. Physiol.* 74:343, 1932.
- 26) Smythe, C.M.: *Effect of hemorrhage on hepatic blood flow determined by radioactive colloidal chronic phosphate removal.* *Circulation Res.* 7:268 1959.
- 27) Barcroft, J., and J. G. Stephens.: *Observation upon the size of the spleen.* *J. Physiol.* 64:1, 1927.
- 28) Smythe, C. M., J. P. Gilmore, and S.W. Handford.: *The effect of levarterenol (1-norepinephrine) on hepatic blood flow in the normal anesthetized dog.* *J. Pharmacol. Exper. Therap.* 110:398, 1954.
- 29) Fuhrer, H., and E.H. Starling.: *Experiments on the pulmonary circulation.* *J. physiol.* 47:286, 1913.
- 30) McMichael, J.: *The portal circulation. I. The action of adrenaline and pituitary pressor extract.* *J. Physiol.* 75:241, 1932.