

# Rheogram 으로 본 실험시 신장혈액유통 변화

서울대학교 의과대학 생리학교실

장 세 구 · 신 동 훈

=Abstract=

## Rheographic View of the Change in the Renal Blood Flow in Acute Hemorrhage

Chang, Se Gu and Shin, Dong Hoon

*Department of Physiology, College of Medicine, Seoul National University*

Studies were undertaken on the changes in the renal blood flow by relating them with the alterations in the amplitudes in the rheogram of rabbits. The changing pattern of the electrical conductivity was recorded by means of the needle electrodes inserted into the kidney and the surrounding aluminium foil which was grounded. The Impedance Rheograph manufactured by the Narco Company was used. The small artifact which persisted after ligation of the renal vessels was subtracted from the value obtained in each pulsatile wave in the rheogram.

The animals were nembutalized intravenously, 30 mg/kg. A plastic canule was inserted into the carotid artery and the arterial blood pressure was monitored continuously with the pressure transducer connected to the physiograph.

Stepwise bleedings were performed on the animal. The first bleeding was between 13 to 18 ml in the amount, and it was followed by consecutive hemorrhages, 5 or 10 ml each time. The total amount of bleeding was summed as much as 1.5-2% of the body weight.

Two minutes after each bleeding the arterial blood pressure, ECG and the rheogram were taken. That was the necessary time to obtain the stabilized picture of each parameter.

After closing the bleeding process, the shed blood was retransfused into the animal and the response in the renal blood flow was observed as well as the arterial blood pressure. Particularly the presence or absence of the autoregulatory mechanism in the situation of the hemorrhage was also studied.

The results obtained were as follows:

1. In 7 cases out of 22, that was about one third of the total number of experiments, the autoregulatory mechanism of the renal blood flow persisted even in acute hemorrhage, and the decreases in the renal blood flow were less than 10% of the control values even when the arterial blood pressure dropped to 56-87% of the original value obtained before the bleeding.
2. Because of the stepwise bleeding the exact blood pressure at which the renal blood flow reduced as much as one third of the control value could not be obtained. However, the results revealed that the approximate pressure, expressed as percentage of the control value, was 50-60% in 3 cases, 61-70% in 4 cases and 71-80% in 8 cases. In one case the decrease in the renal blood flow exceeded one third of the control value before the pressure dropped to 80% of the control.
3. In 19 cases the decreases in the renal blood flow exceeded one half of the control values by

hemorrhage. Then the arterial blood pressure revealed less than 40% of the control value in 6 cases. In 2 cases the pressure was 51—60% of the control pressure. In 5 cases the range of blood pressure was 61—70%, and in the remaining 6 cases the pressure ranged from 71 to 80% of the control value.

4. Out of 15 cases of retransfusion after definite decreases in the renal blood flow following the hemorrhage, 9 cases restored their renal blood flow. On the contrary 6 cases showed low values even when the shed blood was retransfused.
5. Theories concerning the mechanism of the autoregulation of the renal blood flow were reviewed for the purpose of explanation of the results obtained. However, there are much to be done before greater satisfaction

### 머릿말

신장에 대한 혈액유통을 다른 기관과 비교하면 특이한 점이 많다. 그중 두드러지게 다르다고 할 수 있는 것은 심장박출량의 20%내외를 차지하는 다량의 혈액공급을 받고 있는 사실이다(남등, 1970). 신장을 관류하는 혈액은 조직과의 사이에 신체 타부에서와 같이 가스교환과 영양분 공급 및 조직대사물 제거에 이바지할 뿐 아니라 수분과 용질을 배설하는 역할을 하는 까닭으로 단순히 가스교환의 견지에서 보는 바와는 다른 모습을 나타내어 신동맥혈과 신정맥혈 사이의 산소함량차를 보더라도 1.3 용량 %라는 낮은 값을 나타내고 있다(남 등, 1970, Van Slyke, 1934).

혈액으로 운반되어 온 물질을 여과에 의하여 제거하는 까닭으로 해부학적으로 보더라도 수입소동맥(afferent arteriole)과 수출소동맥(efferent arteriol) 사이에 있는 모세혈관망이라고 볼 수 있는 사구체도 높은 혈압의 권내에 있으며 혈액유통량과 혈압은 직접적으로 신장기능에 큰 영향을 미친다.

그러나 혈관속을 유체가 흐를 때에는 그 추진력이 혈압으로부터 오는 고로 혈압이 낮을 때에는 일반적으로 혈액유통이 줄어들기 마련인데 상술한 바와 같이 신장은 대사물질의 배설을 통하여 체액의 항상성(homeostasis) 유지에 중요한 역할을 하는 기관이다. 이 기관에 혈액유통량이 과다하고 여과압이 높으면 신체구성물질의 손실이 많아질 것이고 반대로 유통량이 과소할 경우에는 항상성유지에 파탄이 올 것이어서 혈압의 변동에 구애됨이 없이 혈액유통량이 일정하게 조절되는 것이 효율적일 것이다. 이러한 조절기구의 존재는 일찌기 Rein(1931)의 관찰 이래 Selkurt(1946)등 많은 학자에 의하여 움직일 수 없는 사실로 입증되었다.

그러나 그 자동조절(auto-regulation) 기구의 본태에 관하여는 이론이 많으며 Selkurt(1955) 등은 대사물질

작용설을 제창하였다. 즉 저혈압시에는 조직에 혈관확장물질이 축적되어 그의 작용으로 말초혈관저항이 감소하는 까닭으로 혈액유통량을 보상한다는 견해이며 Kinter와 Pappenheimer(1950)는 혈액점성을 증시하였다. 혈압이 높을수록 혈구와 혈장이 분리되어 혈구는 바로 전진하는데에 반하여 혈장은 분지로 흘러간다는 생각이다. 혈구가 많은 주된 혈관에는 점성이 높아져 혈압이 높을수록 혈관저항이 커지는 까닭으로 자동적으로 혈액유통은 조절된다고 하였다.

한편 Hinshaw(1959)등은 조직압에 착목하여 혈압이 높을 경우에 체액이 혈관밖으로 여출되어 조직액이 증량되나 신장은 비교적 견고한 피막으로 둘러싸인 관계로 조직압이 높아져 혈액유통을 그만큼 견제할 것이라는 설을 발표하였다.

그 이외에도 신경을 통하여서거나 혹은 직접 혈관평활근에 작용하여 혈관구경을 가감함으로써 혈액유통량을 조절한다는 설들이 있다(Semple & Wardener, 1959). 그러나 그 어느 학설도 확고한 실험성적의 뒷받침을 받지 못하고 있는 실정인지는 하나 자동조절기구의 존재만은 확실하다.

혈압이 80 mmHg 이상이기만 하면 혈압변동이 있을지라도 신장혈류량은 자동조절능에 의하여 항정하게 유지되는 것이나 (Shipley & Study, 1951)기타의 생리학적 변수나 환경에 변화가 있을 때에는 조절이 제대로 되지 않는다는 보고가 많다.

즉 마취때에나 실험시(Corday & Williams, Jr, 1960)에도 조절기능저하의 위험성이 있으나 마취약의 종류나 지속기간에 따라 차이가 많다. 실험의 방법과 실험량에 따라 나타나는 반응에 현격한 차이가 있으며 만성실험에서는 조절기구가 잔존하는 것이나 급성실험시에는 그의 정도에 따라서 자동조절능을 상실한다(Phillips et al, 1946). 다량에 이르는 실험일지라도 그것은 반드시 속(shock) 특히 비가역성 속(irreversible

shock)을 뜻하는 것은 아니며 단순한 실험시에는 내장에 부종이나 출혈을 보지 않고 네발동물에서와 원숭이에서는 병리학적 소견이 속배와 다른 것이 지적되었다 (Einheber & Cerilli, 1962).

저자는 토끼에서 실험시의 신장혈류력학에 오는 변화를 관찰하기 위하여 단계적으로 출혈을 일으켰으며 혈류에 인위적인 장애를 주지 않기 위하여 간접적인 관찰방법을 택하였다. 혈관에 카늘을 삽입하는 등의 조작은 피하였고 또 para-aminohippuric acid (PAH)등 색소 크레어런스(clearance)법을 쓰지 않았다. 그 까닭은 PAH 법은 신장세뇨관의 분비기능에 의존하기 때문이다. 급성출혈을 일으켰을 때에 세뇨관 상피기능이 건전하리라는 보장이 없어 그때에 혈류량 측정방법으로 채택하는 것은 곤란한 것으로 본다.

신장에 침전극을 삽입하고 신장혈류변동에 따르는 전기전도도의 변화를 기록한 rheogram은 그것을 응용함에 있어 세심한 주의를 하면 신장혈액유통을 방해함이 없이 간편하게 기록할 수 있는 장점을 지닌다.

그 방법을 써서 출혈에 따르는 신장혈액유통량의 변화를 간접적으로 관찰하고 아울러 실험시에도 자동조절기구가 견재하는가의 여부를 검색하였다.

**실험 방법**

성을 가리지 않고 체중 2kg 내외의 성숙한 토끼 22마리를 사용하였다. 실험당일에는 모이를 주지 않았고 nembatal을 30 mg/kg의 비율로 종류수에 녹인 것을 정맥주사하였다. 좌측 총경동맥과 좌측 신장을 노출시켜 경동맥에는 헤파린 첨가 식염수(heparinized saline solution)로 충만시킨 plastic canule을 삽입하여 이를

Narco(E & M)회사제, pressure transducer를 통하여 동 회사제 physiograph에 연결하였다. 호흡운동에 따르는 기록상의 변동이 rheogram 판독을 어렵게 하는 까닭으로 호흡곤란의 증세가 보이기만 하면 즉시로 기관 절개를 하여 심호흡을 회피하였다.

혈압과 rheogram의 주기적 변화의 시간적 관계를 확실히 보기 위하여 동시에 심전도(ECG)를 묘기하였는데 22 gauge 주사침으로 된 전극을 두개의 앞다리에 꽂고 cardiac preamplifier(Narco)를 통하여 physiograph에 연결하였다.

Rheogram 묘기에는 특히 세심한 조작이 필요하다. 장기가 체액으로 구성된 커다란 주머니 즉 용적도체(volume conductor)속에 위치하고 있으므로 장기자체의 전기전도도가 충실하게 기록되기 어려울 뿐더러 신체타부의 변화가 기록전극에 큰 영향을 미칠 것이 분명하다. 이 관계를 제 1도 A의 모형도에 나타내었다. 즉 전기적으로 볼 때에 신장을 통한 회로보다 더 전도도가 큰 도선이 병렬로 있다고 보아야 한다. 따라서 신장내에 일어나는 0.1 ohm 정도의 저항변화는 신장의 회로의 영향으로 음폐되어 판독이 극히 어려워질 것이다.

따라서 이 실험에서는 제 1도 B와 같은 방법을 고안하였다. 즉 신장을 노출하여 타부분과 유리시킨 다음에 얇은 금속지 즉 aluminium foil로 장기를 둘러쌌다. 이때에 혈관과 신경이 진입하는 작은 부분은 그에 부착한 지방조직과 더불어 작은 구멍으로 남게 된다. 금속지에 다소 눌리우는 한이 있더라도 지방조직에 둘러싸여있으므로 혈류장애를 가져오는 일은 없을 것이다. 이 금속지는 접지(ground)되어 신체의 타부분의 영향은 이 방법에 의하여 제거되었으며 동시에 금속지는 신

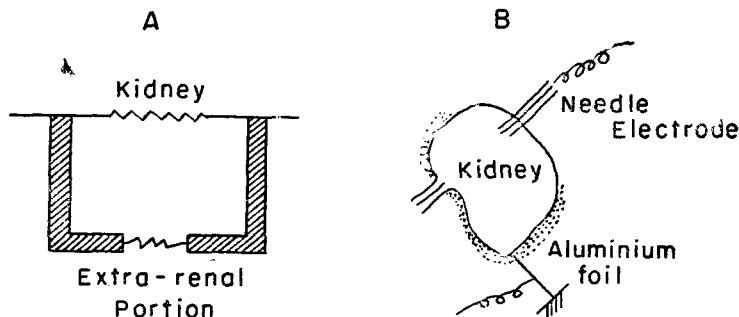


Fig. 1. A. Schematic Representation of Electrical Resistance in and around the Kidney. B. Electrodes for the Rheography.

장피낭의부에 접하여 있다. 금속저의 봉투는 정상에서 빈 공간을 나타내고 있으므로 이 공간을 통하여 삽입한 침전극은 금속저와 더불어 장기내의를 직결하는 회로의 전기전도도를 기록할 수 있게 하였다. 이때 침전극의 끝부분만을 남겨놓고 에나멜칠을 하여 주위와 전기적으로 절연시켰다.

전극은 Narco 회사제 rheograph를 경유하여 Hi-gain preamplifier을 통한 다음에 physiograph에 연결되었다. 이때의 감도는 대부분의 실험예에서 0.05 ohm 당 5 mm의 편위가 있게 맞추었고 소수의 예에서는 기록에 편리한 감도로하고 기록이 끝난 후에 감도계측을 하는 것도 있었다.

상기한 바와 같은 조작으로도 타부분의 영향을 완전히 제거할 수 있는 예는 드물었고 신장혈관 즉 동맥과 정맥을 다 같이 일시적으로 크램프(clamp)로 정지시켰을 때에 나타나는 사소한 변동치(제 2 도)를 감한 것을 실험치로 채택하였다.



Fig. 2. Artifact in Rheogram.

채혈은 경동맥에 삽입한 카눌(canule)과 pressure transducer 사이에 있는 3방향 cock를 열어 고부관 끝에 있는 50 ml plastic 주사기에 서서히 혈액이 올라오도록 하였다. 주사기의 위치를 올리고 또는 내리고 하는 방법으로 출혈속도를 가감할 수 있었다. 다시 수혈할 때에는 같은 주사기를 그대로 사용하였다.

때때로 헤파린첨가 식염수를 주입하여 혈압측정계가 막히는 것을 방지하였다.

채혈량은 상기한 주사기에 5 ml 혹은 10 ml 까지 들어오도록 하였으므로 주사기까지의 연결부분 공간 8 ml를 합하면 13 ml 혹은 18 ml로 되는 것이 초회 채혈량이었다. 채혈직후에 혈압과 rheogram을 표기하였으나 출혈후 초기 변동기를 지나 안정된 값을 보이는 시기는 2분이면 족하였다. 따라서 채혈이나 수혈을 하고 적어도 2분이 지난 후의 값을 채택하였던 것이다.

초회 채혈후 5분 내지 10분 간격으로 5~10 ml씩 추가 채혈하는 방식을 취하였고 그때마다 상기한 방식으로 혈압과 rheogram을 표기하였다. 일부의 실험에서는 서서히 출혈시키면서 rheogram을 연속적으로 관찰한 것도 있었으나 이때에는 3방향 cock를 채혈쪽으로 돌렸으므로 연속적인 혈압표기를 표기하고 간간히

혈압을 점검하는 수밖에 없었다.

Rheogram과 혈류의 관계를 양적으로 관련시키는 문제는 매우 복잡한 일이다. 그림의 형상과 높이가 문제된다. 정상도 반드시 단상성(monophasic)은 아니고 개복이 심한 예도 있다. 이는 기관에 대한 순간적 유입량과 유출량의 차이가 일정하지 않은데에 기인하는 것이다. 변동의 크기 즉 파고를 기선으로부터 측정하는 것이 가장 간편한 방법이어서 이를 채택하였다.

실험을 시킨 후의 변화를 관찰하고 난 다음에 다시 수혈하고 경과를 측정할 때에는 혈압과 신장유통량이 회복되었으나 1시간이 넘도록 회복상이 지속되는 것과 다시 하락하여 비가역적 상태를 나타내는 것을 구분하였다.

실험이 있을 때에 신장혈류 자동조절능의 유무를 관찰하는 것이 이 실험의 또 하나의 목적이었다. 실험량이 증가함에 따라 혈압이 떨어져 갔는데 어느 정도 하락할 때까지 신장혈류량이 유지되어 혈압-유통곡선(pressure-flow curve)이 볼록형(convex)이던 자동능이 있는 것이고 곡선이 반대로 오목형(concave)이거나 직선형이면 자동능이 소실된 것으로 간주하였다.

## 실험 성적

출혈량의 누계와 평균혈압 및 rheogram 상의 파고를 제 1 표에 나타내었다. 출혈전의 혈압과 신장전도도에 개체가 적지 않아 상호비교하는 데에 곤란한 점이 있어 출혈후의 측정치를 출혈전 측정치에 대한 분율(fraction)로 나타내었다. 즉 출혈전의 정상치를 1.00으로 본 것이다.

출혈회수는 9 차례까지 걸친 것도 있으나 많은 예에서 3~5 차이였다. 출혈량도 22~50 ml로 이의 체중에 대한 비율은 1~2.5%이었다. 그러나 대부분은 30~40 ml의 출혈로서 이는 체중의 1.5~2.0%이라 하겠다.

출혈과 병행하여 평균혈압이 내려갔었는데 이 때에 나타났던 rheogram 상의 변화는 일정한 양상은 아니었다. 즉 신장혈류에 일어난 반응이 동일하지는 않았던 것이다. 감소하는 경향은 뚜렷했으나 급속한 감소를 보이는 것과 서서한 하락을 나타낸 것들이 있었다. 또 제 7 동물에서와 같이 출혈에 따르는 혈압강하가 있었음에도 불구하고 신장혈액 유통량은 감소하지 않는 인상을 주나 이 실험예에서는 초회 출혈후 무슨 이유로인지 신장혈류량이 급증하여 이때를 1.00으로 보았을 때에 후속하는 분율은 타동물에서와 흡사한 경향을 보였다. 따라서 이 때에는 기준치의 변동이 왔을 가능성이 많다.

Table 1. Mean Arterial Blood Pressure and Rheographic Deflection in Acute Hemorrhage

Exp. No.	Sex.	Body Wt (kg)	Cumulative Bleeding (ml)	Mean Arterial Pressure		Amplitude in Rheogram		Recovery in RBF	Autoregulation in RBF	
				(mmHg)	Fraction	(mm)	Fraction			
1	♂	1.7	0	95	1.00	12	1.00	○		
			13	84	0.88	3	0.25			
			26	60	0.63	6	0.50			
			31	33	0.35	5	0.42			
2	♂	1.7	0	112	1.00	7	1.00			
			16	84	0.75	4	0.57			
			31	76	0.68	1	0.14			
3	♂	1.9	0	107	1.00	27	1.00			
			13	82	0.77	15	0.56			
			18	77	0.72	14	0.02			
			23	66	0.62	9	0.33			
4	♂	1.8	0	122	1.00	12	1.00		○	
			18	87	0.71	12	1.00			
			23	72	0.59	3	0.25			
5	♂	1.8	0	98	1.00	16	1.00	×		
			13	100	1.02	22	1.37			
			18	79	0.81	27	1.69			
			23	65	0.66	20	1.25			
			28	59	0.60	13	0.81			
			33	36	0.37	12	0.75			
38	25	0.25	4	0.25						
6	♂	1.8	0	100	1.00	7	1.00	○		
			18	84	0.84	9	1.29			
			23	72	0.72	7	1.00			
			28	72	0.72	4	0.57			
7	♀	2.0	0	112	1.00	12	1.00	○		
			13	76	0.68	23	1.92			1.00
			18	70	0.63	21	1.75			0.91
			23	62	0.55	22	1.83			0.96
			28	55	0.49	20	1.67			0.87
			33	50	0.45	20	1.67			0.87
			37	44	0.39	16	1.33			0.70
			41	44	0.39	12	1.00			0.72
			45	43	0.38	18	1.50			0.78
50	30	0.27	13	1.08	0.56					
8	♂	2.2	0	90	1.00	20	1.00			
			17	68	0.76	4	0.20			
			22	63	0.70	2	0.10			
9	♀	2.0	0	96	1.00	4	1.00	○	○	
			18	54	0.56	4	1.00			
			28	36	0.38	3	0.75			
			31	34	0.35	1	0.25			
10	♀	1.9	0	97	1.00	14	1.00	○		
			10	75	0.77	10	0.71			
			20	38	0.39	8	0.57			
			25	36	0.37	6	0.43			
			30	34	0.35	1	0.07			

11	ㄱ	2.2	0	106	1.00	18	1.00	○
			18	73	0.69	17	0.94	
			23	69	0.65	14	0.78	
			28	64	0.60	11	0.61	
			33	42	0.40	12	0.67	
			38	42	0.40	14	0.78	
			43	36	0.34	13	0.72	
12	ㄱ	2.2	0	106	1.00	8	1.00	
			10	96	0.91	5	0.63	
			20	78	0.74	4	0.50	
			30	42	0.40	6	0.75	
			35	39	0.37	3	0.38	
13	우	2.3	0	98	1.00	7	1.00	○
			22	87	0.89	6	0.86	
			32	77	0.79	1	0.14	
			42	45	0.46	2	0.29	
14	송	1.7	0	126	1.00	21	10.0	
			20	84	0.67	10	0.48	
15	송	1.9	0	104	1.00	13	1.00	○
			20	73	0.70	8	0.62	
			30	39	0.37	1	0.08	
16	송	2.1	0	116	1.00	15	1.00	○ ○
			18	119	1.03	13	0.87	
			28	110	0.95	14	0.93	
			38	75	0.65	12	0.80	
			45	35	0.30	3	0.20	
17	송	1.9	0	101	1.00	4	1.00	○
			18	80	0.79	2	0.50	
			28	47	0.47	0	0.00	
18	송	1.9	0	131	1.00	7	1.00	×
			18	105	0.80	1	0.14	
			28	84	0.64	0	0.00	
19	우	2.0	0	128	1.00	31	1.00	×
			18	92	0.72	6	0.19	
			28	64	0.50	5	0.16	
			33	57	0.45	1	0.03	
			38	43	0.34	1	0.03	
20	송	1.8	0	131	1.00	16	1.00	×
			18	92	0.70	6	0.37	
			25	102	0.78	5	0.31	
			33	50	0.38	0	0.00	
21	우	2.1	0	115	1.00	14	1.00	○ ○
			13	30	0.78	17	1.21	
			18	83	0.72	14	1.00	
			23	56	0.48	9	0.64	
			28	42	0.37	14	1.00	
			33	32	0.28	1	0.07	
22	송	1.9	0	90	1.00	15	1.00	× ○
			13	78	0.87	14	0.93	
			19	62	0.69	3	0.20	
			24	53	0.59	7	0.47	
			29	60	0.67	5	0.33	

\* Fraction: Ratio vs. the control value obtained before bleeding.

\*\* If the control value was changed another pattern was revealed.

혈압이 어느 정도 내려갔을 때에는 신장혈액 유통량이 줄어드는데 제 2 표에 유통량이 3분의 1 이상이 감소되었을 때의 각 동물 평균혈압을 나타내었다. 혈압강하를 연속적으로 시킨 것이 아니고 단계적으로 채혈하고 혈압을 기록한 까닭으로 이 표에 나타난 수치의 혈압 때에 정확히 3분의 1 이 줄은 것을 뜻하는 것은 아니고, 단지 관찰한 범위내에서 그 이상 하락하였을 때의 수치이다. 따라서 표에는 신장혈류분율도 병기하였다. 3분의 1 이상의 혈류감소를 보이었던 21 예 중에서 혈압분율 즉 채혈전 혈압에 대한 비율이 0.50 까지 내려가야 이 정도의 혈류감소를 보인 것이 5 예, 혈압분율이 0.51~0.60 사이인 것이 3 예, 0.61~0.70 사이인 것이 4 예, 또 0.71~0.80 사이에서 일어난 예가 8 예를 차지하였고 혈압분율이 0.80 이상에서 혈류감소가 뚜렷한 것이 1 예 있었다.

다시 혈류감소의 정도를 더욱 크게 잡아 채혈전의 신

**Table 2. Renal Blood Flow and Mean Arterial Blood Pressure at more than one Third Reduction in RBF**

Exp. No.	RBF(fraction)*	BP(fraction)*
1	0.50	0.63
2	0.57	0.75
3	0.56	0.77
4	0.25	0.59
5	0.25	0.37
6	0.57	0.72
7	0.20	0.76
8	0.25	0.35
9	0.57	0.39
10	0.61	0.60
11	0.63	0.91
12	0.14	0.79
13	0.14	0.76
14	0.48	0.67
15	0.62	0.70
16	0.20	0.30
17	0.50	0.79
18	0.14	0.80
19	0.19	0.72
20	0.37	0.70
21	0.64	0.49
22	0.47	0.59

\*Ratio vs. the control value obtained before bleeding.

장혈류량의 반이상을 기준으로 하였을 때에는 제 3 표와 같은 결과를 보이였다.

즉 혈류가 2분의 1 이하로 격감한 것이 관찰중에 나타난 19 예를 분석하면 6 예에서 혈압분율이 0.40 이하일 때에 비로서 나타났고 2 예에서는 0.51~0.60의 혈압분율에서 또 5 예에서는 혈압분율 0.61~0.70 사이에서 혈류가 2분의 1 이하로 줄었고 나머지 6 예에서는 혈압분율 0.71~0.80 사이에서 이미 신장혈액 유통량이 반 이하로 줄어든 것이다.

제 3 표에서 보는바 19 예 중에서 7 예 즉 전체 실험예수의 3분의 1 이상에서 혈류분율은 채혈전의 20% 이하로 하락하였다.

실험시에 신장혈액유통의 자동조절능이 전제한가의 여부는 다음 제 3 도와 제 4 도에 보이였다. 전자는 동물번호 제 4 번이며 혈압분율 0.71 까지 신장혈류가 채혈전치를 유지하여 자동조절능이 건전함을 보이고 또 후자는 동물번호가 제 10 번이며 혈압강하와 더불어 점차로 신장혈류도 감소하여 이때에는 자동조절능이 없

**Table 3. Renal Blood Flow and Mean Arterial Blood Pressure at more than One Half Reduction in RBF**

Exp. No.	RBF(fraction)*	BP(fraction)*
1	0.50	0.63
2	<u>0.14</u>	0.68
3	0.33	0.62
4	0.25	0.59
5	0.25	0.37
8	<u>0.20</u>	0.76
9	0.25	0.35
10	0.43	0.37
12	0.50	0.74
13	<u>0.14</u>	0.79
14	0.48	0.67
15	<u>0.08</u>	0.37
16	<u>0.20</u>	0.30
17	0.50	0.79
18	<u>0.14</u>	0.80
19	<u>0.19</u>	0.72
20	0.37	0.70
21	<u>0.07</u>	0.28
22	0.47	0.59

\*Ratio vs. the control value obtained before bleeding. Underline: more than 80% decrease.

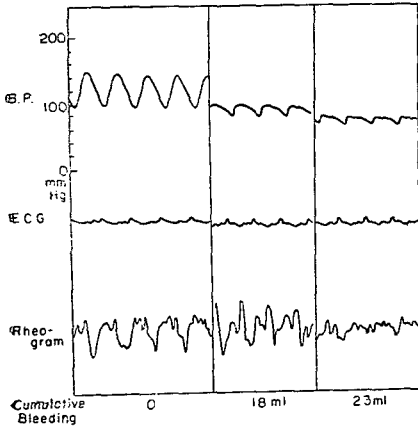


Fig. 3. Autoregulation persists.  
Artifact in RG: 2 mm

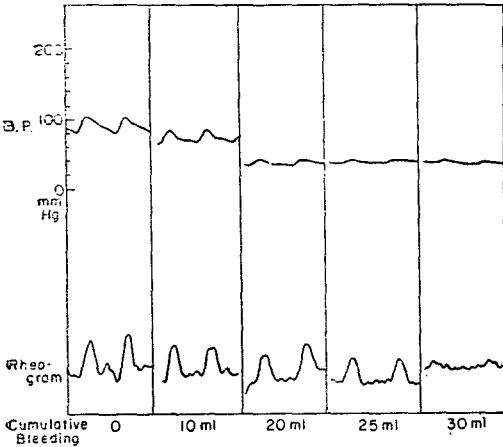


Fig. 4. Autoregulation was abolished.  
Artifact in R.G: 2 mm

음을 보여주고 있다. 자동조절능의 유무는 제 5도에서도 대조적으로 나타나고 있다.

전체실험에 22예중에서 자동조절능이 있다고 보여지는 것은 제 1표에서와 같이 7예이었다. 즉 전실험예의 삼분의 일에서는 실험시에도 신장혈류자동조절능이 있다고 보겠다. 제 9번 동물은 혈압분율이 0.56일 때에는 신장혈류는 정상규모로 있음을 보여 주고 있다.

여기서 자동조절능이 있다고 본 것은 혈압강하에도 불구하고 신장혈류는 90%이상 유지된것 만을 지칭하였다.

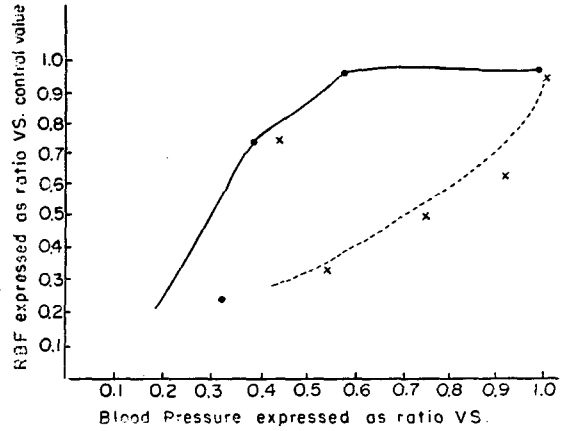


Fig. 5. Autoregulation of RBF in Acute Hemorrhage  
Solid line: Regulatory mechanism persists (Exp. No. 9)  
Broken line: Regulatory mechanism was abolished (Exp. No. 10)

### 고 찰

신장혈액유통량의 변화를 교류에 대한 전기전도도의 변화 즉 rheogram으로 간접적으로 관찰하였다. 심장 박동의 주기와 관련하여 주기적으로 증감하는 저항변화의 규모가 너무나 작기 때문에 이것을 기록하는데에는 전자기구의 발달로 비로서 가능하게된 것이다. 심지어 체표면으로 부터도 전극의 위치를 적당히 하기만 하면 간장이나 사지의 혈액유통상황 혹은 혈관의 성상을 아는데에 참고로 할 정도이다(Brown, 1956, Polzer et al. 1960). 그러나 이 방법은 어디까지나 간접적이라는 데에 이점도 있고 단점도 있다. 이점으로 들수 있는 것은 측정과정에서 혈액유통에 인위적인 장애를 주지않고 또 몇번이고 다시 측정할 수 있는 점이고 이 실험에서와 같이 용적전도도내에 있으면서도 주위의 영향을 최소한으로 막을 수 있어서 신장등 특정기관의 혈류변화를 엿볼 수 있는 점이라 하겠다. 비록 진폭을 전기저항의 변화로 환산할 수 있는 표준화방법이 있더라도 혈액유통량의 사이에 절대량의 관계를 운위할 수는 없고 단지 비교적인 증감만을 알 수 있는 단점을 지닌다. 또 곡선의 분석에 있어 파고만을 계속한데 그치고 그의 형상에 관하여는 검토되어 있지 않으며 앞으로도 rheogram과 혈액유통의 양적관계와 파형에 대한 분석이 연구되어야 한다.

실험시에는 그것이 급성이고 다량일 경우에 신장혈



류량이 감소되는 일은 널리 알려져 있다(Corday & Williams, Jr. 1960, Waugh & Shanks. 1960). 그러나 그 감소하는 모습에 관하여는 여러 보고들이 반드시 일치하는 것은 아니다. Heinemann(1953) 등은 개에서 체중의 1.3% 내지 3.9%까지 실험을 일으켰을 때에도 일단 격감하였던 신장혈류량이 23분 내지 70분까지는 실험전 값으로 회복하였다고 보고하였으며 동맥혈압 변동의 어느 범위내에서는 신장혈액유통량은 일정하게 유지되는 현상 즉 자동조절능이 둔화되거나 소실되는 혈압치에 관하여도 여러 주장이 있다. 즉 Shipley와 Study(1951)는 혈압 80 mmHg까지는 유통량에 변화가 없다고 하였으며 Thompson(1957) 등의 실험에서도 60 mmHg까지는 하락모습이 보이지 않았다. 그러나 Selkurt(1946) 등은 개실험에서 동맥압 14~117 mmHg 사이로 변동시키고 신장혈류량을 측정하였던바 동맥압이 대체로 80 mmHg로 떨어졌을 때에 혈류량이 감소하는 것을 보았다.

이 실험에서는 개체차가 크기는 하나 평균혈압이 체혈전의 80%로 내려갔을 때에 신혈류량이 삼분의 일이 감소한 것이 8예있는 반면에 혈압이 50%내외로 떨어져야 그 정도의 감소를 가져오는 것이 5예나 있었다. 전술한 바와 같이 연속적인 관찰은 아니고 단계적으로 실험시킨 관계로 정확히 어느 혈압에서 신혈류가 그토록 하락하였는가를 명확히 단언할 수 없으나 혈압이 정상치의 80%이하로 내려가면 신혈류감소가 뚜렷한 경향으로 나타나 있다. 개체차가 심한 것은 실험에 대한 혈압의 반응에 개체차가 있고 또 혈압하강에 대한 신혈류반응에 개체차가 있어 이러한 결과를 보인 것으로 짐작된다.

또 신장혈액유통량이 반이하로 줄려면 혈압은 정상치의 80%이하로 떨어져야 하는 것을 보여주고 있으나 소수이나마 낮은 혈압에서도 혈류량이 반감되지 않는 것도 있었다.

이토록 실험으로 인한 저혈압에서 신장혈류량이 줄어드는 것은 Corday & Williams, Jr.(1960)가 주장하는 바와 같이 급성빈혈시에 복부장기에 가는 혈관을 축소시켜 뇌와 심장의 관류를 지원하는 신체반응이라 보겠다. 그들은 이때에 혈중 catecholamine 양이 현저하게 증가함을 보았다. 그러나 저혈압이 지속되면 신혈류가 두절되어 기능저하는 물론이고 손상을 입게 된다(Strawitz et al. 1961, Visscher. 1958).

만성빈혈인 사람에서도 신장기능과 혈류량이 감소함을 Levin(1947) 등이 보고하였다.

다음에 문제되는 것은 실험시 신장혈류의 자동조

절기능이 어느 범위내에서 존속하는가라는 점이다. 상기한 바와 같이 실험과 더불어 혈압이 하강함에 따라 신혈류량이 줄어 가는 것은 사실이나 그 과정에 있어 어느 범위내에서 자동조절작용이 있는가는 신장기능의 생리를 구명하는데에 필요할 뿐더러 자동조절능자체의 구명에도 일조가 될 것이다.

자동조절기능이라 함은 혈압의 일정한 수준까지는 신장혈류량이 줄지 않고 그 이하에서는 급격하게 주는 관계로 혈압—신장혈류 곡선이 볼록형(convex)인데 이는 사지의 혈관등 비교적 저항이 큰 부위에서 얻는 혈압혈류곡선이 오목형(concave)과는 대조적이다(Kinter & Pappenheimer. 1956). 혈액유통의 추진력원천이라 볼 수 있는 혈압의 변동에도 불구하고 신장에서는 이와 같이 혈액유통량을 조절하는 것은 구심소동맥(afferent arterioles)의 구경이 감소 혹은 확대하는 까닭으로 믿는 이가 많다(Shipley & Study. 1951). 소동맥벽을 구성하고 있는 평활근에 작용하는 인자에 관하여는 이론이 많다. 즉 혈압이 떨어지면 조직관류량이 줄어 이는 곧 조직의 화학변화에 영향을 미쳐 국소에 혈관확장물질을 유리하리라는 설이 있다. 그러나 신장혈액유통량은 기관의 크기에 비하여 막대한 것이므로 산소추출율은 근소하여 신정맥혈이라 할지라도 85% 산소포화도(Van Slyke et al. 1934)를 나타낸다. 그러므로 혈압강하로 혈액유통량이 약간 줄었다 하더라도 조직매사에 곧 영향을 미칠 정도의 저산소증을 나타내겠는가는 의문이라 하지 않을 수 없다. 빈혈일때의 신혈류량에 관하여 Thompson 등(1957)은 정상인과 다를바 없다고 하였고 Levin 등은 그와는 달리 감소한다고 보고하였다.

White 등(1967)은 속때에 renin-aldosterone 계통의 관여를 주시하였으며 신장이 건전하여야 aldosterone의 혈중농도가 높게 유지된다고 하였으나 이 설은 실험시에 신장혈류량이 감소하는 현상을 설명할지라도 자동조절능설명에 관하여는 아무 도움도 주지 못한다.

자율신경의 관여에 대하여는 Chalmer 등(1967)은 토끼실험결과로 신장혈액유통량조절에도 동맥계통의 압력감수체(baroreceptor)를 통하여 일어나는 반사기구가 절대로 필요하다고 강조하고 있는 반면에 Forster와 Maes(1947)는 역시 토끼실험에서 신장으로 가는 신경이나 부신수질을 제거한 후에도 인위적으로 혈압을 43% 올렸을 때에 신장혈류량은 겨우 5%만 증가하는 것을 보고 자동조절능에 이들이 별로 기여하지 않음을 보고한 바 있다.

Pappenheimer 등(1956)이 주장한 압력에 의한 혈구

분리설(cell-separation theory)도 이 실험의 결과를 설명할 수 없다. 그들에 의하면 혈압이 낮을수록 혈액점성이 떨어져 실험시의 혈압강하로 인한 추진력의 약화에도 불구하고 혈액유통량은 변하지 않는다는 것이나 이 설대로 하면 실험후 조직액의 혈관내이동으로 혈구분율이 떨어질때에는 신장혈류량이 회복되어가야 하나 이 실험결과는 그것을 보여 주지 않고 있다.

Semple 등(1959)은 자동조절능 발현에는 정맥압과 조직압을 중시하고 동맥과 정맥의 압차만이 신장혈액유통량을 결정하는 인자라고 주장하였다. 또 Hinshaw (1959)도 조직압으로 설명하려고 시도하였다. 즉 혈압이 낮을 때에는 조직압저하로 혈액유통에 대한 저항을 완화하는 것이 자동조절능의 본태라고 보았으나 이는 조절기구가 있을 때 보는 혈압—혈류곡선의 볼록형(convex)경과를 설명하기 곤란하다.

이상 적기한 여러가지 학설은 그 어느것 하나만 가지고 이 실험결과를 설명할 수는 없고 실험후 신장혈류량이 감소하였을 때에 다시 수혈하면 회복되는 것이 허다하였으나 2시간여의 관찰시간내에 회복하지 못한 것도 있었다. Goodyer와 Jaeger(1955)는 수혈로 말미암아 회복되는 예를 보고하였고 Strawitz 등(1961)의 연구에서 대량 실험로 비가역적축에 빠진 실험결과를 볼 수 있다. 비가역적인 실험동물에서는 소화관에 부종과 출혈을 입증하였다(Strawitz et al. 1961, Werles et al. 1942). 그러나 비가역적인 현상이 나타나기 이전에 미리 그것을 예견할 수 있는 증세는 Werle 등이 지적한 바와 같이 아무것도 없었다.

### 총괄 및 결론

신장혈류에 인위적인 장애를 주지않고 또 신장의 배설기능에 의존하지 않는 간접적 방법으로 실험시의 신장혈액유통량변화를 관찰하기 위하여 조직의 전기전도도를 측정된 rheogram 법을 채택하였다. Nembutal 30 mg/kg 을 정맥주사 한 토끼를 개복한후 얇은 금속박지(aluminium foil)로 신장을 둘러싸고 이를 접지하여 무관전극으로 사용하였고 한편 침전극을 신장에 삽입하여 두 전극사이의 rheogram 을 묘기하였다. 심장박동주기에 부합되는 전기전도도의 변화는 신장혈류를 대표하는 것이나 신장에 출혈하는 모든 혈관을 결찰할때에도 소형의 기복이 있어 그값을 모든 측정치에서 감하였다. 혈류량 변화는 rheogram상에서 파형을 고려함이 없이 파고로 측정하였다. 성숙한 체중 2kg 내외의 토끼 22마리를 사용하여 단계적으로 출혈시켰다. 총출혈량은 13~18 ml 이었고 다음 회복되는 매회 5

~10 ml 씩 채혈하였다. 9회까지 채혈한 예도 있었으나 대체로 3~5차의 채혈에 그쳤으며 이때의 총실험량은 대체로 토끼체중의 1.5~2%이었다.

매회마다 혈압, ECG 및 rheogram 을 묘기하였으나 채혈직후보다 2분이 경과한 후에 안정치를 보였으므로 그때의 값을 채택하였다.

15마리에서는 실험후에 여러 값을 관찰하고 난후에 동일동물체에서 채혈하였던 혈액을 다시 수혈하여 저하였던 신장혈액유통량이 회복하는가의 여부를 보았다.

모든 실험에서 실험에 따르는 신혈류량감소모습과 그때에도 신혈류의 자동조절능이 있는가의 여부를 관찰하였고 자동조절능에 관한 여러 학설이 이 실험결과를 설명할 수 있는가를 검토하였다.

얻은 결론은 다음과 같다.

1. 총 22예중에서 7예 즉 약 삼분의 일의 예에서 급성 실험시에도 신장혈류의 자동조절능이 존속하였으며 실험로 인하여 혈압이 정상치의 56~87%에 이를때까지 혈류량은 10%미만의 감소만을 보였다.

2. 지속적인 실험이 아니어서 혈압강하를 연속적으로 묘기할 수는 없었으나 신장혈류가 정상치의 삼분의 일 이상 떨어지는 혈압을 정상혈압에 대한 분율로 보면 5예에서 혈압분율이 0.5 이하일때, 3예에서 혈압분율이 0.51~0.60 사이일때, 4예에서는 분율 0.61~0.70 사이, 8예에서는 분율이 0.71~0.80 일때이었고 1예는 혈압분율이 0.80 이상에서 이미 큰 혈류량의 감소를 보였다.

3. 더욱 심한 혈류량의 감소 즉 정상신장혈류량의 50% 이하로 떨어지는 영역을 찾으면 총 19예중에서 6예에서는 혈압분율이 0.40 이하로 떨어져야 하였고 2예에서는 분율이 0.51~0.60 사이, 5예에서 분율이 0.61~0.70 사이이었다. 나머지 6예에서는 혈압분율이 0.71~0.80 사이에서, 이미 신장혈류량은 반이하로 감소되었다.

4. 실험한 토끼에서 신장혈류량이 감소하였던 것을 보고 15마리에서는 다시 수혈하였던바 9예에서 회복되었으나 6예에서는 감소된 채로 있어 비가역적변화의 모습을 나타내었다.

5. 신혈류자동조절능에 관한 여러 학설로서 실험결과를 해석하려고 시도하였으나 어느 하나로 만족하게 설명되지는 않았다.

### REFERENCES

- 1) Brown, C. E.: *Digital Rheoplethysmography. Circulation 13:641, 1956.*

- 2) Chalmers, J.P., Korner, P.I. and S.W. White: *Effect of hemorrhage on the distribution of the peripheral blood flow in the rabbit. J. Physiol.* 192:561, 1967.
- 3) Corday, E. and J.H. Williams, Jr.: *Effect of shock and of vasopressor drugs on the regional circulation of the brain, heart, kidney and liver. Am. J. Med.* 29:228, 1960.
- 4) Einheber, A. and G.J. Cerilli: *Hemorrhagic shock in the monkey. Am. J. Physiol.* 202:1183, 1962.
- 5) Forster, R.P. and J.P. Maes: *Effect of experimental neurogenic hypertension on renal blood flow and glomerular filtration rates in intact denervated kidneys of unanesthetized rabbits with adrenal glands demedullated. Am. J. Physiol.* 150:534, 1947.
- 6) Goodyer, A.V.N. and C.A. Jaeger: *Renal response to nonshocking hemorrhage. Am. J. Physiol.* 180:69, 1955.
- 7) Hamilton, W.F. ed.: *Handbook of Physiology. Circulation II. Amer. Physiolog. Soc. Washington D.C., U.S.A.* 1963.
- 8) Heinemann, H.O., Sonythe, C.M. and P.A. Marks: *Effect of hemorrhage on estimated hepatic blood flow and renal blood flow in dogs. Am. J. Physiol.* 174:352, 1953.
- 9) Hinshaw, L.B., Day, S.B. and C.H. Carlson: *Tissue pressure and causal factor in the autoregulation of blood flow in the isolated perfused kidney. Am. J. Physiol.* 197:309, 1959.
- 10) Kaihara, S., Rutherford, R.B., Schwentker, E.P. and H.N. Wagner, Jr.: *Distribution of cardiac output in experimental hemorrhagic shock in dogs. J. Appl. Physiol.* 27:218, 1969.
- 11) Kinter, W.B. and J.R. Pappenheimer: *Role of red blood corpuscles in regulation of renal blood flow and glomerular filtration rate. Am. J. Physiol.* 185:399, 1956.
- 12) Levin, W.C., Gregors, R. and A. Bennet: *The effect of chronic anemia on renal function as measured by inulin and diodrast clearances. J. Clin. Lab. & Med.* 32:1433, 1947.
- 13) 남기용, 김철, 신동훈: 생리학. 서울대출판부, 1970.
- 14) Phillips, R.A., Dole, V.P., Hamilton, P.B., Emerson, K.Jr. Archibald, R. and D.D. Van Slyke: *Effects of acute hemorrhage and traumatic shock on renal function of dogs. Am. J. Physiol.* 145:314, 1946.
- 15) Polzer, K., Schuhfried, F. and H.Heeger: *Rheography. Brit. Heart J.* 22:140, 1960.
- 16) Selkurt, E.E.: *The relationship of renal blood flow to effective arterial pressure in the intact kidney of the dog. Am. J. Physiol.* 147:537, 1946.
- 17) Selkurt, E.E.: *Der Nierenkreislauf. Klin. Wochschr.* 33: Jahr. 15/16, No. 15, 359, 1955.
- 18) Semple, S.G.J. and H.E. Wardener: *Effect of increased renal venous pressure on circulatory "Autoregulation" of isolated dog kidneys. Circul Res.* 7:643, 1959.
- 19) Shipley, R.E. and R.S. Study: *Chance in renal blood flow, excretion of inulin, glomerular filtration rate, tissue pressure and urine flow with acute alterations of renal artery blood pressure. Am. J. Physiol.* 167:676, 1951.
- 20) Strawitz, J.G., Hift, H. and R.L. Temple: *Irreversible hemorrhagic shock in rats; Method and critical bleeding volume. Am. J. Physiol.* 200:257, 1961.
- 21) Thompson, D.D., Kavalier, F., Lozano, R. and R.F. Pitts: *Evaluation of autoregulation of renal blood flow and filtration rate. Blood flow, filtration rate and PAH excretion as function of arterial pressure in normal and anemic dogs. Am. J. Physiol.* 191:493, 1957.
- 22) Van Slyke, D.D., Rhoads, C.P., Hiller, A. and A.S. Alving: *Relationship between urea excretion, renal blood flow, renal oxygen consumption, and diuresis. The mechanism of urea excretion. Am. J. Physiol.* 109:336, 1934.
- 23) Visscher, M.B.: *Shock-with particular reference to endotoxin shock. Postgraduate Med.* 23:545, 1958.
- 24) Waugh, W.H. and R.G. Shanks: *Causes genuine autoregulation of the renal circulation. Circul. Res.* 8:871, 1960.
- 25) Werles, J.M., Crosby, R.S. and C.J. Wiggers: *Observations on hemorrhagic hypotension and hemorrhagic shock. Am. J. Physiol.* 136:401, 1942.
- 26) White, F.N., Gold, E.M. and D.L. Vaughn: *Renin-aldosterone system in endotoxin shock in the dog. Am. J. Physiol.* 212:1165, 1967.