

실혈 후 및 혈압상승 후의 소화기 조직 혈액량 및 산소 섭취량

제 2 편 동맥 혈압하강과 산소 섭취량 감소

서울대학교 의과대학 생리학교실

尹 秉 鶴 · 南 基 鏞

=Abstract=

Alterations in O₂ Uptake Following Hemorrhage and Transfusion in Rats

Yoon, Byong Hak and Nam, Kee Yong

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

Total body oxygen uptake was measured in rats following hemorrhage (16 rats) and blood transfusion (7 rats) under light Nembutal anesthesia. Arterial blood pressure measured on the tail artery decreased or increased following hemorrhage or transfusion. No direct relationship was observed between arterial blood pressure alteration and oxygen intake variation. Hematocrit ratio which changed after hemorrhage or transfusion showed a direct relationship with oxygen intake. Decrease in hematocrit ratio resulted in a decrease in oxygen intake of rats. The correlation coefficient between decrement of hematocrit ratio and decrement of oxygen intake was $r=0.56$. The correlation coefficient between increment of hematocrit ratio and increment of oxygen intake was $r=0.86$. Thus it was concluded that alteration in oxygen intake was limited by the systemic oxygen transport capacity of blood.

서 론

동물 조직의 산소 추출률은 정상적으로 20~25%로서 대체로 30% 이하의 값을 가진다고 하였다. 이러한 산소 추출이 반영된 것이 동물 전체의 산소 섭취량이며 어떤 조직이나 전신의 산소 섭취량이 변화하려면 조직의 산소 추출률이 변화하거나 또는 어떤 조직이나 전신을 관류하는 혈액 유통량이 변화하여야 한다. 산소추출에 제공되는 산소의 총량은 단위 용적에 포함되는 산소 함량과 단위 시간에 관류하는 혈액 유통량을 곱한 것과 같다.

상당히 다량의 실혈이 있을 후에 동물의 산소 섭취량이 정상 동물보다 적다는 보고가 있는데 (Smith and Crowell, 1964, Nahas et al., 1966), 실혈로 인한 동맥 혈압의 감소가 어느 수준에 이르기까지는 반드시 산소 섭취량 감소를 보이는 것은 아니라 한다 (Crowell and Smith, 1964). 그러나 실혈로 나타나는 순환혈액량의

감소는 심장 박출량을 감소시키고 나아가서는 혈액의 산소 운반 능력의 저하로 인하여 조직이 추출할 수 있는 산소 총량의 감소가 나타나게 된다. 반대로 수혈로 순환 혈액량을 증가시키면 조직의 추출에 제공되는 산소 총량은 증가할 것이다.

혈압이 하강할 때 나타나는 산소 섭취량의 저하의 원인으로 조직의 신진대사물의 감소를 지적한 일도 있으나 (Guyton, 1963), 이것은 사실과 다르며 조직의 산소 이용 내지는 추출의 감소가 원인이 아니며 (Gesell et al., 1922), 혈액이 조직에 공급하는 산소 총량에 의존한다고 한다.

혈액에 의하여 조직에 공급되는 산소량에 영향을 미치는 요소로는 혈액 유통량과 단위 용적 혈액내의 산소량이 있는바 혈액 유통량은 혈압과 혈관의 혈류저항의 영향 아래에 있으며, 혈액내 산소량은 적혈구수와 혈색소 함량에 의존한다.

이 논문은 원취에 있어서 실혈로 동맥 혈압의 하강과

헤마토크릴 비율의 감소를 일으키고 그때의 산소 섭취량의 감소를 관찰하고 한편으로는 수혈로 동맥혈압과 헤마토크릴 비율의 증가를 일으킬 때의 산소 섭취량 증가를 보고하는 것이다.

실험 방법

흰쥐 16마리에서는 실험로 동맥 혈압 하강을, 7마리에서는 수혈로 동맥 혈압 상승을 일으키게 하고 산소섭취량을 측정하였다. 동물을 냄부탈로 약마취하고(25 mg/kg) 꼬리에서의 동맥 혈압 측정, 산소 섭취량 및 헤마토크릴 비율 등의 대조 측정을 하였다. 다음에 고정맥(femoral vein)을 통하여 실험 또는 수혈을 한 후에 다시 여러 측정을 하였다.

산소 섭취량 측정은 제 1도와 같이 밀폐한 유리 그릇에 흰쥐를 넣고 50 밀리리터의 산소를 섭취하는데 필요한 시간을 측정하여 이것을 일기압, 영도, 건조한(STPD) 산소량으로 표시하였다. 흰쥐가 마취되어 있어서 산소 섭취량 측정 도중에 움직이지 않았으며 안정시 섭취량을 측정한 것이다.

동맥 혈압측정은 소위 꼬리법(tail method)을(金潤聖, 南基鏞, 1967) 사용하였다. 꼬리에 감은 공기 주머니에 압력을 가하였다가 다시 낮출 경우에 모세관 수면이 갑자기 올라가는 점을 수축기 동맥 혈압으로 잡았다. 흰쥐에서는 마취로 동맥 혈압이 10~20 mmHg 가량 저하하는 영향을 가지나(Barlow and Knott, 1964), 이 실험에서는 마취의 영향을 고려하지 않았다.

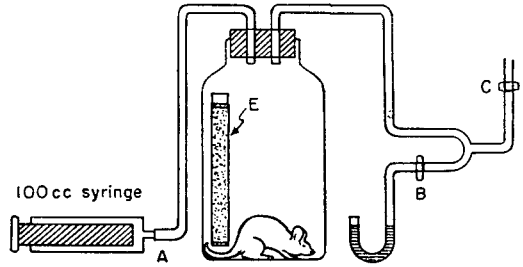


Fig. 1. Oxygen consumption apparatus for small animals.

헤마토크릴 비율은 Wintrobe 법에 따랐으며 붙잡힌 혈장(trapped plasma) (Reeve et al., 1953)에 대한 교정은 하지 않았다.

실험 성적

흰쥐에서 고정맥으로부터 혈액을 뽑아내고 특별히 혈액량 보충을 아니한 저혈량성 저혈압(hypovolemic hypotension)이 발생한 경우의 성적을 제 1 표에 보인다.

동맥 혈압이 실험 이전에 94 내지 124 mmHg 이었는데 어떤 분량의 혈액을 제거하여 20 내지 80 mmHg 에 이르게 하고 이때의 헤마토크릴 비율과 산소 섭취량 감소를 보이는 것이 제 1 표이다. 동맥 혈압의 사혈 전후의 절대치나 백분률 변동치나 산소 섭취량감소의 절대치 또는 백분률 변동치와의 사이에는 어떤 규칙성은 찾을 수

Table 1. Decreases in blood pressure, hematocrit ratio and oxygen intake after hemorrhage in rats

No.	Sex	Body wt (gm)	BP, mmHg		BP change		Hct ratio		Hct change		$\dot{V}O_2$, ml/hr/kg		$\dot{V}O_2$ change	
			control	After bleeding	mmHg	%	Control	After bleed	Value	%	Control	After bleed	ml	%
1	M	202	110	40	70	63.6	.479	.323	.156	32.6	1218	744	474	38.9
2	F	164	100	26	74	74.0	.373	.264	.110	29.5	1.534	1229	305	19.9
3	M	198	98	35	63	64.3	.450	.236	.124	27.6	1776	1426	350	19.7
4	F	155	122	20	102	83.6	.474	.346	.128	27.0	1066	617	449	42.2
5	F	151	130	38	92	70.8	.350	.330	.020	5.7	1101	956	145	13.2
6	M	183	124	30	94	75.7	.460	.340	.120	26.1	1273	781	492	38.6
7	M	233	116	34	82	70.7	.366	.284	.082	22.4	969	647	322	33.2
8	M	164	116	30	86	74.2	.380	.280	.100	26.4	1115	664	451	40.4
9	F	163	110	43	67	60.8	.352	.281	.071	20.2	1226	1021	205	16.7
10	F	182	114	30	84	73.7	.370	.240	.130	35.2	967	751	252	26.1
11	M	165	118	80	38	32.2	.441	.304	.137	31.1	1032	810	222	21.5
12	F	220	98	53	45	45.9	.510	.347	.154	30.8	964	643	321	33.3
13	M	227	122	70	52	42.6	.484	.317	.167	34.5	871	556	315	36.2
14	M	266	124	69	55	44.4	.500	.379	.121	24.2	999	731	168	16.8
15	F	167	94	45	49	52.2	.510	.419	.091	17.9	990	703	287	40.8
16	F	174	114	53	61	53.5	.525	.422	.103	19.6	1119	800	319	28.5

없었다. 다만 사혈 이전에 비하면 사혈 후에 동맥 혈압이 하강하며 이때에 산소 섭취량이 감소하는 사실이 뚜렷히 보일 뿐이다.

사혈하면 동맥 혈압의 하강에 동반하여 헤마토크릴 비율의 감소가 발생하였는데 둘 사이에는 어떤 유의한 관계가 있지 않았다. 즉 혈압의 감소가 심한데도 헤마토크릴 비율 감소는 그리 심하지 않았던가 반대로 혈압 감소가 적으면서도 헤마토크릴 비율 감소가 큰 경우도 있었다.

헤마토크릴 비율 감소와 산소 섭취량 감소 사이에는 상당히 밀접한 관계가 있었는데 제 2 및 제 3도에 이 관계를 보인다. 마취하 안정 상태에서 어떤 크기의 안정 시 산소 섭취량을 보이던 것이 제 2도의 화살 표시와 같이 실험후 감소된 헤마토크릴 비율에 해당하는 값으로 감소하였다.

헤마토크릴 비율 감소의 절대치와 산소섭취량 감소의 절대치 사이에는 상당히 고도의 상관 관계가 있어서 $r=0.56, P<.02$ 이었으며 $\Delta \dot{V}O_2(\text{ml})=1455 \Delta \text{Hct}-145$ 의 관계가 있었다(제 3도).

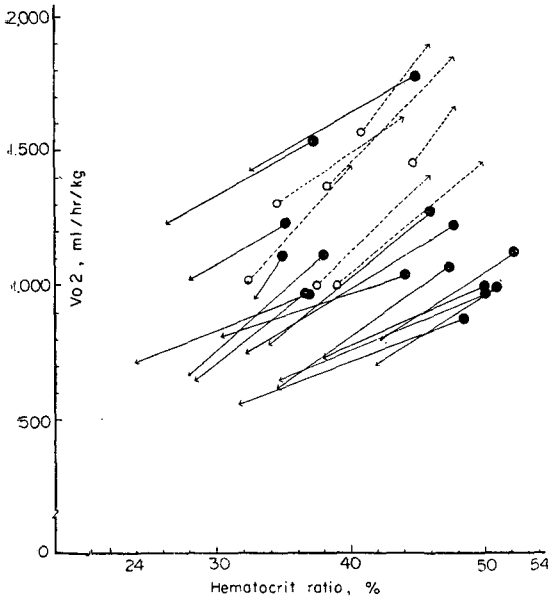


Fig. 2. Change in hematocrit ratio and oxygen uptake. Solid lines indicate hemorrhage and dotted lines indicate blood transfusion.

수혈 후에 나타나는 고혈량성 고혈압(hypervolemic hypertension)의 경우에 헤마토크릴 비율과 산소 섭취량 증가를 제 2표, 제 2도 및 제 3도에 보인다. 동맥 혈압 절대치와 산소 섭취량 절대치 사이에 유의한 관계는 볼 수 없었고 다만 수혈 후에 산소 섭취량 증가가 있음은 뚜렷하였다. 수혈 후에 헤마토크릴 비율이 증가하는

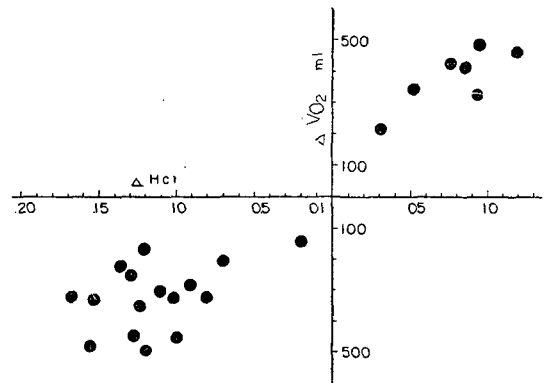


Fig. 3. Relationship between decrement of hematocrit ratio and decrement of oxygen uptake.

데 이 증가는 반드시 산소 섭취량 증가를 동반하였고(제 2도), 헤마토크릴 증가의 절대치와 산소 섭취량 증가의 절대치 사이에는 고도의 상관 관계가 있었다(상관계수 $r=0.86, P<.02$).

원래에 실험 또는 수혈로 산소 섭취량의 변동이 나타나는데 동맥 혈압의 변동은 별한 설명의 근거를 제공 못한다고 하겠으며 헤마토크릴 비율의 변동이 설명의 근거를 제공한다고 할 것이다.

고 찰

이 실험에서 얻은 성적을 개관하면 동물의 산소 섭취량이 사혈 또는 수혈 후에 감소 또는 증가하는 일은 헤마토크릴 비율의 변동과 밀접한 관계가 있다는 것을 알 수 있다. 사혈 또는 수혈로 동물의 순환 혈액량이 감소 또는 증가하며 동맥 혈압이 하강 또는 상승을 보이지만 산소 섭취량 변동과 동맥 혈압 사이에는 밀접한 관계는 볼 수 없었다. 이와 비슷한 성적은 이미 보고한 사람이 있다(Stacy et al., 1955). 헤마토크릴 비율과 원위의 산소 섭취량 사이의 관계를 살펴보면 첫째로 혈구수가 감소하면 혈액의 산소 함량이 감소되며, 혈액 점성의 감소가 동반된다. 혈액 점성의 감소는 혈액 유통량을 증가시키므로 조직에 운반 공급하는 산소량으로 볼 때는 혈구수 감소와 유통량 증가는 그 효과가 서로 상쇄된다. 그러나 이 실험에서 관찰된 것 같이 실험 후에 산소 섭취량이 감소된 일로 미루어 생각하면 조직에 제공된 산소량이 감소되었다고 해석함이 옳다. 왜냐하면 저혈압 때에 조직의 신진대사가 저하하지 않으며(Guyton, 1963), 조직의 산소 추출률이 감소하는 것도 아니므로(Gesell et al., 1922)이와 같이 결론할 수 밖에 없다. 즉 저혈압으로 조직이 산소 결핍 상태에 들어가나 그 정도는 직접 측정을 거쳐서 비로소 알 수 있다. 하나하나의

Table 2. Increases in blood pressure, hematocrit ratio and oxygen intake after blood transfusion in rats
N=7.

No.	Sex	Body wt (gm)	BP, mmHg		BP change		Hct ratio		Hct change		$\dot{V}O_2$, m/l hr/kg		$\dot{V}O_2$ change	
			Control	After bleed.	mm-Hg	%	Control	After bleed.	Value	%	Control	After bleed.	ml	%
23	F	185	110	130	20	18.2	.346	.440	.094	27.1	1302	1621	319	24.5
24	F	198	120	127	7	5.8	.390	.509	.119	30.5	1000	1457	457	45.7
25	F	160	114	126	12	10.5	.375	.469	.085	22.6	1000	1406	406	40.6
26	F	230	123	130	7	5.7	.384	.479	.095	24.9	1369	1846	477	34.8
27	F	230	90	90	00	00	.409	.461	.052	12.7	1567	1900	333	21.2
28	F	204	120	144	24	20.0	.448	.479	.031	6.7	1451	1660	209	14.4
29	F	220	101	115	5	4.5	.324	.400	.076	23.4	1019	1442	423	41.5

조직의 산소 결핍을 따로 측정하는 일은 곤란하나 이 실험에서 측정된 전신 산소 섭취량 감소는 조직의 산소 결핍을 종합적으로 나타내는 것이라 하겠다.

헤마토크릴 비율 감소가 혈액 점성을 감소시키는 것은 사실이나 40% 이하로 감소한 범위에서는 혈액 유통량에 대한 영향은 거의 없다고 하며(Levy and Share, 1953), 조직에 대한 산소 공급이 감소하면 여기에 반응하여 혈관확장이 나타나고(Grawford et al., 1959), 골격근 등에서는 혈액 유통의 자동조절이 발생하는(Ross et al., 1962) 등의 실험적 사실이 있음에 불구하고 실험으로 인하여 동맥혈압의 감소와 헤마토크릴비율 감소가 있으면 조직에는 산소결핍이 발생하고 전신적으로 측정된 산소 섭취량 감소가 발생한다. 이리하여 사혈 후에 발생한 흰쥐의 산소 섭취량 감소의 원인은 혈액에 의한 산소 운반 능력의 감소가 그 기전이라고 말할 수 있다.

수혈로 동물의 동맥 혈압을 올리고 헤마토크릴 비율이 증가되면 산소 섭취량이 증가하였는데 이것도 혈액의 산소 운반 능력 증가가 그 기전이라고 해석된다. 수혈하면 적혈구수가 증가하여 소위 다혈구증(polycythemia)을 발생하는데 헤마토크릴 비율이 50%를 넘으면 혈액의 점성이 갑자기 증가하며 혈류저항도 갑자기 증가하는데(Levy and Share, 1953) 이것은 혈액 유통량을 감소시킨다. 이 실험에서는 수혈하여서 헤마토크릴 비율이 최고로 50%에 이르렀는데 그렇다 하더라도 그 이하의 헤마토크릴 비율 범위에서 혈액 점성의 증가가 혈액 유통량을 감소시키는 일은 일어난다.

혈액 유통량 감소는 조직에 공급하는 산소량을 감소시키게 작용할 것이나 단위 용적 혈액내 산소 함량은 헤마토크릴 증가에 따라서 같이 증가할 것이니 즉 조직에 운반 공급하는 산소량을 결정함에 있어서는 두 요소는 서로 반대로 상쇄하여 작용한다. 그러나 수혈 후 다혈구증에서 전신을 전체적으로 볼 때 산소 섭취량이 증가하여 있음은 앞서 혈구감소의 경우와 같이 조직의 신진대

사의 촉진이나 조직에 의한 산소 추출의 증가도 아니며, 다만 혈액에 의하여 조직에 운반 공급되는 산소량이 증가한 것이 그 기전이라 해석할 수 밖에 없다.

어떤 연구자에 의하면 산소 섭취량을 목표로 관찰할 경우에 최대의 산소 섭취량이 나타나는 때는 가장 알맞은 헤마토크릴 비율이 있으며 개에서는 42%가 최적 헤마토크릴 비율이라 한다(Crowell et al., 1959). 즉 헤마토크릴 비율이 42%에 이르기까지는 동물의 산소 섭취량이 증가하나 일단 42%를 넘으면 산소 섭취량은 다시 감소한다고 한다. 이렇게 산소 섭취량의 결정 인자가 혈액의 산소 운반 능력이라면 심장 박출량도 고려하여야 한다. 즉 일본 동안의 혈액의 산소 운반능력은 심장 박출량(ml/min.) 곱하기 혈액의 산소 함량(ml O₂/ml)으로 표시되는바, 42%의 헤마토크릴 비율이 산소운반에 최적이라 함은 이 경우에 혈압, 혈액 점성 등의 종합적인 표시라 할 수 있는 심장 박출량이 42%를 경계로 하여 변동한 것임을 가리킨다. 즉 헤마토크릴 비율 42%까지는 심장 박출량도 함께 증가할 수 있으나 42%이상에서는 심장 박출량은 오히려 감소하여 산소운반 능력의 감소가 나타난다고 하겠다. 그러나 저자의 실험에서는 헤마토크릴 비율에 어떤 경계는 볼 수 없었다. 사람에서의 실험(鄭永銖, 1959)에 의하면 실험 후 혈구수가 감소되어 있는 상태에서는 헤마토크릴 비율 20~50%의 범위에서 헤마토크릴 비율 증가에 따라서 심장 지수(cardiac index)가 감소됨이 보고되어 있으며 42% 전후에서 심장 지수 변동의 태도가 다른 것은 없었다. 이렇다면 헤마토크릴 비율이 50%에 이르기까지는 심장 지수는 감소하나 혈액의 산소 함량 증가가 더욱 우세하게 작용하여 여기에 보고하는 것 같이 혈액의 산소운반능력을 증가시켜서 동물의 산소 섭취량이 증가한다고 하겠다.

결 론

흰쥐에서 범부탈 마취하에 사혈(16 마리)로 동맥 혈

압 하강을, 수혈(7마리)로 혈압상승을 일으킨 경우에 전신 산소 섭취량을 측정하였다.

혈압 하강의 경우에는 산소 섭취량 감소, 혈압상승의 경우에는 산소 섭취량 증가가 있었다. 산소 섭취량 변동과 동맥혈압 변동과는 직접적인 상관 관계를 볼 수 없었다. 사혈 또는 수혈로 헤마토크릴 비율이 감소 또는 증가하였는데 이 변동은 산소 섭취량과 관계가 있었다. 실험 후 저혈압의 경우에 헤마토크릴 비율 변동의 절대치와 산소 섭취량 변동의 절대치 사이에 상관계수는 $r=0.56$ 이었으며, 수혈후 고혈압의 경우에는 $r=0.86$ 이었다. 이리하여 사혈이나 수혈 후 동맥 혈압 변동의 경우에 발생하는 전신 산소 섭취량의 변동은 혈액의 산소 운반 능력 변동으로 나타남을 관찰하였다.

REFERENCES

- Barlow, G., and D.H. Knott: *Hemodynamic alterations after minutes of pentobarbital sodium anesthesia in dogs. Am. J. Physiol.* 207: 764, 1964.
- 鄭永銖: *Cardiac output in chronic post-hemorrhagic anemic men. 綜合醫學* 4:1171, 1959.
- Crowell, J.W., R.G. Ford, and V.M. Lewis: *Oxygen transport in hemorrhagic shock as a function of hematocrit ratio. Am. J. Physiol.* 196: 1033, 1959.
- Crowell, J.W., and E.E. Smithe: *Oxygen deficit and irreversible hemorrhagic shock. Am. J. Physiol.* 206: 313, 1964.
- Gesell, R., F. Foote, and E.S. Capp: *On the relation of blood volume to tissue nutrition. Am. J. Physiol.* 63:32, 1922.
- Grawford, D.G., H.M. Fairchild, and A.C. Guyton: *Oxygen lack as a possible cause of reactive hyperemia. Am. J. Physiol.* 197:613, 1959.
- Guyton, A.C.: *Cardiac output and its regulation. Philadelphia: Saunders, 1963, p. 468.*
- 金潤聖, 南基鏞: 실험적 콩팥성 고혈압에 있어서 기관의 무게, 밀도 및 콜레스테롤 함유량의 변화. 서울 의대잡지 8:1, 1967.
- Levy, M.N., and L. Share: *Influence of erythrocyte concentration upon pressure-flow relationships in dog's hind limb. Circulation Res.* 1:247, 1953.
- Nahas, G.G., L. Triner, and H.S. Small: *Alterations in O_2 uptake following hemorrhage in dogs. Am. J. Physiol.* 210: 1009, 1966.
- Reeve, E.B., M.I. Gregersen, T.H. Allen, and H. Sear: *Distribution of cells and plasma in the normal and splenectomized dog and its influence on blood volume estimates with P^{32} and $T-1824$. Am. J. Physiol.* 175:195, 1953.
- Ross, J.M., H.M. Fairchild, J. Weldy, and A.C. Guyton: *Autoregulation of blood flow by oxygen lack. Am. J. Physiol.* 202:21, 1962.
- Smith, E.E., and J.W. Crowell: *Effect of hemorrhagic hypotension on oxygen consumption of dogs. Am. J. Physiol.* 207:647, 1964.
- Stacy, R.W., D.T. Williams, R.G. Worden, and R.O. McMoyyis: *Biological and Medical Physics, New York: McGraw, 1955.*