

## 굶주린 흰쥐의 혈액량

### Blood Volume of the Fasted Rats

1

서울대학교 의과대학 생리학교실  
<지도 남기용 교수>

### 全炳烈·閔建植·成榮煥·李潤珩

음식물의 섭취가 완전히 정지된 완전 기아에 있어서 뼈와 신경 조직을 제외한 모든 신체 조직의 일반적인 소모가 있어서 조직 무게의 감소가 있다<sup>1,2)</sup>. 체액량 나아가서는 세포의 체액량 및 혈액량도 양적인 변화를 받을 것이다. 그러나 완전 기아 상태에서의 혈액량 및 혈장량 기타 계액에 관한 보고는 사람의 영양 실조의 경우에 측정한 것이 몇개 있을뿐이다<sup>3,4)</sup>. 영양 실조인 사람의 차이오싸이아네이트(SCN) 공간이 몸무게를 기준으로 고찰할 때에 예기되는 것보다 증가되었다 하고<sup>3)</sup>, 반면에 인도인 거지의 영양 실조에서는 세포의 체액의 절대량의 증가가 있다고<sup>4)</sup> 보고되어 있다. 일편 전쟁 포로의 영양 실조에서는 혈장량의 감소가 있었으며 몸무게의 30~35%에 달했다 한다<sup>5)</sup>. 이렇게 굶주림에서 오는 체액의 변화는 전쟁 기타 특수한 상태에서 보고된 것들이다. 여기서 채택한 방법은 일반적으로 지시 물질을 사용하는 회석법이었던 바, 동물에 있어서 굶주림에 따르는 체액량의 변동을 회석법으로 측정한 것은 더욱 희귀하다.

흰쥐를 사용한 실험에 있어서<sup>6)</sup> 세포외 체액을 보았는 바, 원전 기아에 있어서 이뉴린 공간의 절대량 감소가 있으나 기아로 감소한 몸무게를 기준으로 표시하면 변화가 없었고, 차이오싸이아네이트 공간의 절대량은 변화가 없었으나 기아로 감소한 몸무게를 기준으로 표시하면 유의한 증가가 있었다 한다. 세포외 체액의 한 구분인 혈액량 및 혈장량을 동물의 기아에서 측정한 것은 볼 수 없으며 이것이 본 논문의 목적이다. 또한 혈액량 및 혈장량에 변동이 기아로 해서 초래된다면 절대량의 변화인가를 보고, 흔히 사용되는 몸무게 기준 더 나아가서는 마른 몸무게 (lean body mass) 기준으로 표시하여 정상 대조군과 비교하였다.

### 실험 방법

34 마리의 흰쥐를 사용하여 16 마리는 정상 대조군으

로 삼았고, 18 마리는 실험군으로 삼았다. 동물은 성별에 관계없이 200 그램 이상의 것을 사용하였다. 실험군은 개별적 우리에 두고 먹이를 아니주기를 만 5일 계속하여, 급성 기아 때의 혈장량 및 혈액량을 측정 하였으며, 동물의 몸무게는 매일 측정하였다. 물은 아무 제한없이 주었다.

순환 혈장량 측정에는 T-1824로 혈장-색소법을 사용하였다. 흰쥐를 냄부탈(30 mg/kg)로 마취하고 고정맥 (Vena femoralis)을 노출하여 여기에 일정량의 T-1824를 주입하였다. 주사 후 4 분이면 색소의 혼합이 완전하므로<sup>7)</sup> T-1824 농도 검정용 혈액은 주사 후 4 분에 반대쪽 고정맥에서 채집하였다. 고정맥 노출수술에 따르는 혈액의 손실은 적은 것이어서 혈액량 계산에 있어서는 이를 무시하였다. T-1824의 농도는 Beckman Model B Spectrophotometer를 사용하여 파장 620 mμ에서 측정하였다.

채집한 혈액은 곧 원심침전하여 혈장을 분리하였으며 헤마토크릴 값은 Wintrobe의 원침관을 30 분 동안 매분 3000 회전 하였을 때의 값을 잡았다.

총 혈액량의 계산은 다음 식에 의하였으며,

$$BV = \frac{PV(T-1824)}{1-\text{hematocrit}},$$

trapped plasma, F cells<sup>8)</sup> 등을 고려하지 않았다.

마른 몸무게 (lean body mass, LBM)는 물속에서 동물의 몸무게를 측정하여 얻는 밀도로부터 계산하였다<sup>9)</sup>. 혈액량 측정용 혈액 표본의 채집이 끝난 흰쥐의 가슴을 손으로 압박하여 허파 속의 공기를 밖으로 내풀어서 허파의 잔기량을 무시 할 수 있으리 만큼 적게하고 곧 동물의 목을 튼튼한 실로 졸라 맴다. 동물의 털을 면도칼로 깎아버리고, 배를 열어서 밥통의 분문 팔약근 부분으로부터 직장까지의 소화관을 제거하였다. 이것은 소화관 내부에 들어있는 공기나 가스의 분량이 상당한 변동을 보이어서 비중 측정에 적지 않은 오차를 가져오기 때문이었다. 소화관을 제거한 동물의 몸무게를 공기 중과 물 속에서 각각 0.1 그램 대까지 정확하게 측정

하였다. 측정할 때의 물의 온도로부터 물의 밀도를 알아 비중 계산하였다. 동물의 밀도 ( $D$ )는,

$$D = M_a \times Q / (M_a - M_w)$$
로 계산하였다.

여기에서  $M_a$ : 공기 중의 무게,  $M_w$ : 물 속의 무게,  $Q$ : 측정한 온도의 물의 밀도이다.

마른 몸무게의 계산은 다음과 같이<sup>10)</sup>,

$$\text{지방질} (\%) \text{ 몸무게} = \left( \frac{5.362}{D} - 4.880 \right) \times 100.$$

지방질의 절대량을 알고,

$LBM = BM - FM$ 로 계산하였다. 여기에  $BM$ : 공기 중의 몸무게,  $FM$ : 지방질 무게이다.

## 실험 성적

동물이 완전 기아 상태로 5일을 경과할 때의 몸무게의 감소는 제 1 표에서 보는 바와 같았다. 기아 5일로 최

Table 1. Decrease in the body weight of rats after 5 days of starvation. (18 cases)

	Body weight (gm)		Decrement of body weight	
	initial	final	gm/day	per cent of initial body weight /100gm
Mean	205.5	157.6	4.78	23.3
S.D.	35.2	30.8	0.87	5.5
S.E.M.	8.30	7.27	0.20	1.2

초의 기아 이전의 몸무게에 비하여 평균 23.3% 가 감소하였으며, 그 속도는 4.78 gm/day/100 gm b. wt. 이었다.

혈장량 및 혈액량의 성적은 제 2 표에 제시하였다. 혈장량을 몸무게 기준으로 표시하면 5일간의 기아로 증가되었는 바, 대조군의 5.98% 몸무게에 비하여 유의하게 ( $P < .02$ ) 증가하여서 6.56% 몸무게로 되었다. 혈액량

Table 2. Changes of plasma and blood volume of rats after 5 days of fasting.

	Plasma volume			Blood volume			Hematocrit
	% b.wt.	% LBM	% initial b.wt.	% b.wt.	% LBM	% initial b.wt.	
Control group							
Mean	(N=16)	(N=16)	(N=16)	(N=16)	(N=16)	(N=16)	0.426
S.D.	0.54	0.80	0.96	0.87	0.036		
S.E.M.	0.14	0.20	0.24	0.22	0.0093		
Fasted group							
Mean	(N=18)	(N=17)	(N=17)	(N=18)	(N=17)	(N=17)	0.472
S.D.	0.64	1.22	0.65	1.32	1.30	1.01	0.067
S.E.M.	0.15	0.30	0.17	0.32	0.34	0.27	0.016
P	<.02	<.2	<.01	<.01	<.01	<.02	<.02

도 증가하였으며 대조군에서 10.3% 몸무게이며 기아군에서 12.3% 몸무게로 유의한 증가이었다( $P < .01$ ).

마른 몸무게를 기준으로 하여 표시하면 혈장량은 완전 기아 5일로는 거의 변화를 받지 않아서 대조군에서 7.53%  $LBM$ , 기아군에서 8.12%  $LBM$ 으로 약간 증가된 것 같으나 유의한 것은 아니었다( $P < .2$ ). 여기에 반하여 혈액량은 대조군에서 13.1%  $LBM$ , 기아군에서 14.9%  $LBM$ 으로 유의하게( $P < .01$ ) 증가를 보이었다. 이것은 헤마토크릴 값이 기아군에서 증가한 것이 할가지 원인이라 해석된다. 즉 헤마토크릴 값이 대조군에서 0.426이며, 기아군에서는 0.472로 유의한( $P < .02$ ) 증가를 보이었는 바, % $LBM$ 으로 표시한 혈장량이 기아 5일로는 거의 변화가 없었으나 여기에 증가된 적혈구 용량(여기서는 헤마토크릴 값으로 측정하였다)이 첨가되면서 혈액량은 증가를 나타내는 결과라 생각된다.

기아 계속 5일에 측정한 값을 기아 개시 전의 처음 몸무게 기준으로 표시하면 혈장량이 5.07% 처음 몸무게로 유의한 감소이며( $P < .01$ ), 대조군의 5.98%에 비하여 15.2%의 감소로서 몸무게가 23.3% 감소한 것 보다는 적다. 혈액량은 9.49% 처음 몸무게로 대조의 10.3%에 비하면 8.30%의 감소이고 유의한 것이었다( $P < .02$ ).

## 고찰

정상 흰쥐의 총 순환 혈액량으로  $10.3 \pm 0.24\%$  체중을 얻었는 바, T-1824를 사용하면서 상당히 상이한 값들의 보고가 있다. 쇠덕경<sup>11)</sup> 등은 7.41% 체중을 보고하였고, 일방 7.98% 체중<sup>12)</sup>을 보고한 것도 있다. 방사성 동위원소를 사용한 실험에서는 활선 적계 4.59% 체중이란 보고도 있다. 여기에 보는 바와 같이 비슷한 방법을 사용한 성적들이 크게 차이를 보이고 있는 원인으로는 실험의 계절적 차이, 색소 주사 부위의 차이, 주사후 색소 농도 검정용 혈액 표본 채집까지의 시간 차이, 채혈 부위의 차이, 실험 조작에 따른 실혈량의 차이 등을 들 수 있으나 어느 것이 결정적 요인이라 지적하기는 곤난하나. 본 논문에서 얻은 정상 흰쥐의 혈액량이 10.3% 체중이라 함은 이상 어느 값보다도 큰 것인데, 그 원인이 어디에 있다고 단적으로 지적하기 곤난하다.

본 실험의 결과를 요약하면 완전 기아가 5일 계속된 후의 혈장량을 몸무게를 기준으로 표시하면 대조군의 5.98% 보다 현저하게( $P < .02$ ) 증가한 6.56%를 보였고 혈액량도 대조군의 10.3%에 비하여 12.3%로 증가한 ( $P < .2$ ) 성적을 얻었다. 혈장량은 세포외 체액의 한 구분인 바, 흰쥐의 기아에 있어서 몸무게 기준으로 표시한 차이오싸이아네이트 (SCN) 공간이 유의하게 증가한 것<sup>6)</sup>과 일치하는 성적이라 하겠다. 그러나 굽주린 흰쥐의 이뉴린 (inulin) 공간을 기아로 감소한 마지막 몸무

게 기준으로 표시하면 변화가 없었다 하는 보고<sup>6)</sup>와는 맞지 않는 성격이라 하겠다. 본 실험에서 보듯이 기아 5일로 흰쥐의 몸무게가 기아전에 비하여 23.3%가 감소 되었든 바, 이 감소의 주요한 부분은 몸속의 지방질 이므로<sup>3)</sup> 단순히 기아로 감소된 몸무게 표준으로 표시하는 것보다는 본 논문에서 측정한 마른 몸무게(*LBM*) 기준으로 함이 합리적이라 하겠다.

혈장량을 마른 몸무게 기준으로 보면 기아 5일로 대조군의 7.53% *LBM* 보다 증가한 8.12% *LBM*이란 값 을 얻는데 유의한 차이는 아니다. 이상과 같이 단순한 몸무게와 마른 몸무게 둘로 고찰하면 혈장량이 증가한 것 같은 느낌이 보이나, 몸무게에 대한 백분율이 아닌 절대량을 고찰하면 혈장량은 도리어 감소 되었다. 즉 기아 5일 후에 측정된 혈장량을 기아전의 처음 몸무게에 대한 백분율로 표시하면 5.07%로서 대조군의 5.98% 보다 유의하게( $P<.01$ ) 감소 되었으며, 이것은 15.2%의 감소에 해당한다. 즉 완전 기아로 신체 조직의 소모 가 있어서 몸무게, 혈장량, 지방질 모두 감소하였으며, 각각의 감소 속도가 상이한고로 표시되는 값이 어느것은 증가를 또 다른것은 감소를 보인다 하겠다.

기아로 인하여 감소하는 속도가 제일 큰 것이 지방질 이므로<sup>3)</sup> 혈장량 감소 속도보다 큰것이 된다. 그러므로 마른 몸무게 기준으로 표시한 혈장량이 증가한 것 같아 보인다. 이렇게 보면 완전 기아 5일로 혈장량의 절대량 이 감소하나 그 표현 방식에 따라서 일반적으로 증가된 것 같이 나타남을 안다. 또한 표현 방식 중에는 마른 몸무게를 기준으로 함이 사실에 제일 가깝다고 하겠다.

혈액량에 관하여도 같은 고찰을 할 수 있다. 그러나 여기에는 헤마토크릴 값이 기아군에서 증가된 ( $P<.02$ ) 요소가 첨가 되어서 사태는 조금 복잡하다. 기아후에 측정한 혈액량을 기아전의 처음 몸무게 기준으로 표시하면 9.49%로서 대조군의 10.3% 보다 8.3%의 감소이며 유의한 ( $P<.02$ ) 차이가 있다함은 혈액량의 절대치가 감소된 것을 나타낸다. 그러나 지방질 나아가서는 몸무게의 감소가 동반 되었으므로 몸무게 기준, 마른 몸무게 기준으로 표시된 혈액량이 증가한 것 같이 보일 뿐이다.

이상 본 논문의 성적을 요약하면 완전 기아 5일 경과로 흰쥐의 몸무게 감소가 있었고 혈장량 및 혈액량의 절대량에 감소가 있었으나 이것을 보통 표시 방법인 몸무게 및 마른 몸무게 기준으로 하면 도리어 증가된 것 같아 보이는 것을 관찰한 것이었다.

## 결 론

흰쥐를 5일 동안 완전 기아 상태에 둔후 *T-1824*를 사용하여 혈장량 및 혈액량을 측정하였다. 흰쥐 16마리는 정상 대조군으로, 18마리는 기아군으로 하여 실

험하였다. 기아군을 대조군에 비교하여 다음의 성적을 얻었다.

1. 완전 기아로 동물의 혈장량 및 혈액량의 절대치는 감소했다.
2. 혈장량 및 혈액량의 표시 방법에 따라서 기아 후에는 증가한 성적으로 나타났다.
3. 몸무게 및 마른 몸무게 기준으로 표시하면 증가로 나타났다. 둘 중에서는 마른 몸무게 기준으로 표시함이 우수 하였다.
4. 몸무게의 감소 속도보다 혈장량의 감소 속도가 더 컸다.

(남기용 교수의 지도에 감사한다.)

## ABSTRACTS

### Blood Volume of the Fasted Rats.

Byong Ryul Chun, M.D., Kohn Sik Min, M.D., Yung Hwan Sung, and Yoon Hyung Lee, M.D.

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

(Director: Prof. Kee Yong Nam, M.D.)

Blood volume determinations by means of *T-1824* dilution were made on two groups of rats: the first group was the normal control group consisted of 16 rats, the second group was starved for 5 days with free access to water and consisted of 18 rats. After the measurement of blood volume animals were sacrificed and the determination of lean body mass was made by means of underwater weighing. Comparisons were made between the control and the fasted group.

The absolute value of plasma and blood volume was found to decrease relative to the initial body weight before the beginning of fasting in the fasted group. Plasma and blood volume, however, expressed on the basis of the final body weight or lean body mass was found to increase in the fasted group.

In fasting, body weight, plasma volume and lean body mass decreased with different rate. The rate of decrease was largest in body weight and smallest in lean body mass. Therefore, plasma or blood volume relative to the final body weight showed the greater increase than the value expressed on the basis of lean body mass. In expressing plasma or blood volume in the fasted rat lean body mass was the best reference.

## REFERENCES

- 1) Keys, A., J. Brozek, A. Henschel, O. Mickelsen, & H.L. Taylor.: *The biology of human starvation.* Minneapolis 1950.
- 2) Keys, A.: *Caloric undernutrition and starvation with notes on protein deficiency.* J.A.M.A. 138:500, 1948.
- 3) Henschel, A.O., Mickelsen, H.L. Taylor, & A. Keys.: *Plasma volume and thiocyanate space in famine edema and recovery.* Am. J. Physiol. 150:170, 1947.
- 4) Gopalan, C., P.S. Venkatachalam, & S.G. Srikantia: *Body composition in nutritional edema.* Metabolism 2:335, 1953.
- 5) Mollison, P.L.: *Observation on cases of starvation at Belsen.* Brit. J. 1:4, 1946.
- 6) Morrison, S.A.: *Inulin and thiocyanate spaces of rat in starvation and undernutrition.* Am. J. Physiol. 201:329, 1961.
- 7) Davis, J.E.: *Blood volume in dogs.* Proc. Soc. Exp. Biol. Med.: 45:671, 1940.
- 8) Reeve, E.B., M.I. Gregersen, T.H. Allen, & H. Sear.: *Distribution of cells and plasma in the normal and splenectomized dog and its influence on blood volume estimates with P<sup>32</sup> and T-1824.* Am. J. Physiol. 175:195, 1953.
- 9) Rathbun, E.N., & N. Pace.: *The determination of total body fat by means of the body specific gravity.* J. Biol. Chem.: 158:667, 1945.
- 10) 崔德瓊·南基鏞·李相敦·金昌旭: *염화코발트로 polycythaemia 를 일으킨 흰쥐의 혈액량.* 서울의대 잡지. 1:205, 1960.
- 11) Beckwith, J.R., & A. Chanutin.: *Blood volume in hypertensive partially nephrectomized rats.* Proc. Soc. Exp. Biol. Med. 46:66, 1941.
- 12) 全炳烈: 아직 발표 않음.