

## 흰쥐에 있어서 굶주린 때의 산소 소비량, 몸무게, 신체밀도, 조직 단백질 함유량의 변화

Total metabolic rate, body density and tissue protein changes in acute fasting of rats.

서울대학교 의과대학 생리학교실  
<지도 남기용 교수>

### 全炳烈

기아에서는 몸무게의 감소와 대사율의 감소가 나타나는 바, 몸무게의 감소에는 거의 모든 조직 무게의 감소가 동반되어 있다. 다만 예외로 뼈와 신경 조직에서는 무게의 실질적인 감소가 별반 나타나지 않는다. 기아의 초기가 지난 후에는 에너지 공급의 주요 근원이 지방질인 사실은 잘 알려져 있다.<sup>1,2)</sup> 몸무게의 감소로 보아서 조직의 단백질이 상당한 분량 소모되어서 감소될 것 같지만 소비 열량의 오분의 일 또는 그 이하가 단백질 분해에서 오는 것이고 나머지는 지방질에서 유래한다. 조직별로 볼 때에 근 단백질의 감소량은 다른 조직에 비하여 적은 것이지만 기아기간 중에 감소하는 단백질의 대부분을 차지한다<sup>4)</sup>. 신체 내의 당원질 저장도 급속하게 소모되어서<sup>3)</sup> 계속되는 기아에서는 열량 공급의 근원으로 작용하지 못한다.

기아의 동물 실험에서는 일반적으로 수분 공급은 정지되지 않으나 수분 대사의 양상도 달라지며 이눌린 공간 절대치의 감소<sup>5)</sup>와 차이오싸이아네이트 공간의 일정불변<sup>5)</sup> 및 총수분량의 증가<sup>6)</sup> 등이 보고 되었다. 전해질 성분도 마찬가지로 상당한 변화가 있다<sup>5).</sup>

신체 구성 성분의 네 요소인 지방질, 물, 전해질 및 단백질이 동물체의 거의 전부를 구성하며 이들 사이의 양조 크기의 변동은 동물의 생리 기능을 변화시킬 것이다<sup>7)</sup>. 동물의 에너지 대사가 변화한다<sup>8,9)</sup>. 에너지 대사의 변화는 전 동물을 사용하여 산소 소비량을 측정하므로써 쉽게 알 수 있는 것이다. 또한 몸무게 그중에서도 밀도 내지는 비중이 각기 상이한 지방질과 근 단백질이 다른 비율로 감소하면 전 동물의 밀도 내지는 비중도 변화가 나타날 것이다<sup>7).</sup>

급성 기아가 이상과 같이 동물의 구성 성분, 대사량, 조직의 단백질 함유량 등에 급격한 영향과 변화를 가져

오므로 본 논문은 최고 6일 동안 완전 기아 상태에 둔 흰쥐에 관한 실험을 한 것이다. 몸무게의 감소를 분석하여 마른 몸무게를 고찰하고 기아로 오는 산소 소비량 총량의 감소가 음식물의 특수력동작용, 몸무게의 감소, 마른 몸무게의 감소, 각 조직 대사량의 감소의 어떤 것에 유래하는지를 아울러 검토하였다.

### 실험 방법

천두 마리의 흰쥐를 사용하였다. 흰쥐는 몸무게가 200그램 내외의 것이었으며 대조군과 실험군으로 나누었다. 굶주림을 부하하는 실험군의 흰쥐는 각각 독립한 쥐장에 넣고 물 이외에는 아무것도 주지 않는 완전 기아를 6일 동안 계속하였다. 동물의 몸무게는 매일 같은 시간에 측정하였다.

대조군 또는 실험군 동물의 산소 소비량 측정이 끝나면 동물의 비중을 측정한 후 몇 조직의 밀도와 단백질 함유량을 측정하였다.

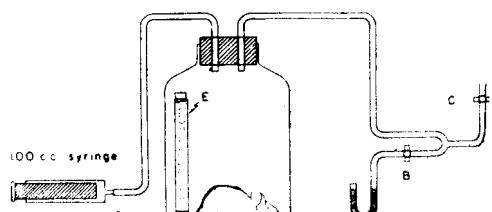


Fig. 1. Oxygen consumption apparatus for small animals.

산소 소비량은 그림 1과 같이 밀폐한 유리 그릇에 휘를 넣고 측정하였다. 휘가 움직이지 않고 가만히 있는 상태에서 산소 소비량이 측정되었던 바, 이것은 기초 대사량보다는 훨씬 큰 것이어서 휴식대사량이라 부르기로 했다. 산소 소비 측정 장치는 산소로 충분히 셋은 다음에 밀폐하고 30내지 40분에 걸쳐서 옆의 압력계의 물기둥의 높이를 같이 맞추면서 50밀리리터의 산소가 소모되는 시간을 측정하여서 이것을 체온, 일 기압, 수증기로 표시된(BTPS) 산소량으로 표시하였다. 동물은 대개 안정을 유지하였으나 때로는 움직이는 경우도 있었다. 3차례의 측정값의 평균을 산소 소비량으로 잡았다. 산소 소비량 비교에 있어서는 몸무게, 체표면적, 마른 몸무게(lean body mass, LBM)등을 기준으로 하였다.

동물의 신체 밀도 측정은 물속에서 동물의 몸무게를 평량하여 얻었다<sup>10)</sup>. 산소 소비량 측정이 끝난 동물의 가슴을 손으로 눌러서 혀파 속의 공기를 밖으로 내몰아서 혀파의 잔기량을 무시할 수 있으리만큼 적계하고, 곧 동물의 목을 튼튼한 실로 끌라맸다. 동물의 털을 면도칼로 깎아버리고, 배를 열어서 밥통의 분문 팔약근 부분으로부터 직장까지의 소화관을 제거하였다. 즉 내장 제거한 동물의 밀도를 측정하였다. 이것은 소화관 내부에 들어 있는 공기나 가스의 분량이 상당한 변동을 보이어서 비중 측정에 적지 않은 오차를 가져오기 때문이었다. 이렇게 내장 제거한 동물의 밀도는 그렇지 않은 것에 비하여 상당히 큰 것이다. 소화관을 제거한 동물의 몸무게를 공기 중과 물 속에서 각각 0.1 그램 대까지 정확하게 측정하였다. 측정할 때의 물의 온도를 알고 물의 밀도를 알아서 비중 계산하였다. 동물의 신체 밀도( $D$ )는  $D = M_a \times Q / (M_a - M_w)$ 로 계산하였다. 여기에  $M_a$ : 공기 중의 무게,  $M_w$ : 물 속의 무게,  $Q$ : 측정한 온도의 물의 밀도이다.

얻은 밀도 값을 이용하여 동물의 마른 몸무게(LBM)를 다음과 같은 계산으로<sup>11)</sup> 지방질(%몸무게) =  $(\frac{5.362}{D} - 4.880) \times 100$ . 지방질의 절대량을 알고

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

간장, 근(비장근) 및 피부의 밀도도 같은 방법으로 수중 중량 계측으로 얻었다. 전신 밀도 측정이 끝나면 곧 간장, 근, 피부의 적당한 크기를 도려내서 표면에 붙은 혈액과 지방질을 제거하고, 화학 철평으로 공기 중 및 물속의 무게를 일 밀리그램 대까지 무게를 졌다. 밀도의 계산은 먼저 전신에 응용한 공식을 그대로 사용하였다.

조직 단백질 함유량은 Microkjeldahl 법으로<sup>12)</sup> 측정된 질소 함유량에 6.25를 곱해서 얻었다.

## 실험 성적

동물이 완전 기아 상태를 계속할 때에 몸무게가 감소하였던 바, 그 성적은 제 1 표와 같았다. 기아 날짜가 1,

Table 1. Decrease in body weight of rat as fasting continued. (% of the initial control value).

Days of fasting	Initial control (gm)	1	2	3	4	5	6
Number	40	16	33	19	28	8	8
Mean	207	89.8	87.0	79.3	76.0	69.9	71.5

2, 3, 4, 5, 6 일로 진행함에 따라서 몸무게는 기아 개시 이전의 대조값에 비하여 89.8%, 87.0%, 79.3%, 76.0%, 69.9%, 71.5%로 감소가 진행하였다.

동물 전체의 산소 소비량(휴식 소비량)도 기아 날짜의 진행과 같이 감소하였으며 제 2 표에 보는 바와 같았다. 그 크기를 대조값에 비교하면 ml/hr로 표시하면

Table 2. Decrease in oxygen consumption of the fasted rats. Values were measured as ml/hr and expressed as % of initial control value.

Days of fasting	1	2	3	4	5	6
Number	7	23	9	17	2	6
Mean	85.3	84.2	78.3	71.7	61.8	67.6
S. D.	8.30	5.73	10.0	10.1		11.7
S. E. M.	3.39	1.22	3.55	2.53		5.24

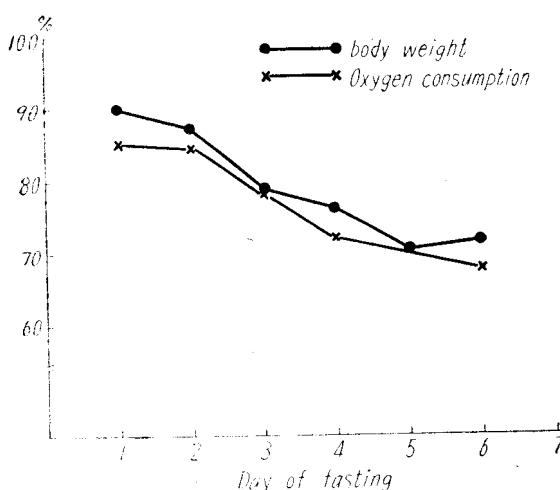


Fig. 2. Parallel decrease in body weight and total oxygen consumption in the fasted rats.

Table 3. Changes in oxygen consumption of rats as fasting continued, expressed as % of the initial to the control value

Days of fasting		Control value	1	2	3	4	5	6
<u>ml/hr kg. b.wt.</u>	Number of cases	31	9	27	9	19	2	6
	Mean	1976 (100%)	95.1	95.8	94.5	89.8	88.0	92.4
	S. D.	257	9.72	10.8	13.7	13.6		14.7
	BTPS	47.0	3.43	2.13	5.87	3.20		6.61
	P		insig	insig	insig	<.05		insig
<u>M<sup>2</sup> surface area</u>	Number of cases	30	9	27	9	19	2	6
	Mean	10,180 (100%)	93.7	90.9	88.9	81.7	75.6	82.8
	S.D.	1,133	9.31	12.0	11.3	13.7		14.2
	BTPS	210.3	3.29	2.35	4.00	3.24		6.38
	P		<.10	<.005	<.02	<.001		<.01
<u>ml/hr kg. LBM.</u>	Number	31				12		
	Mean	2534				2421		
	S.D.	336				232		
	BTPS	61.3				70.1		
	P					>.20		

기아 개시 제 1일에 85.3%로 감소했으며 제 2일에 84.2%로, 제 3일에 78.3%로, 제 4일에 71.7%로, 제 5일에 61.8%로, 제 6일에 67.6%로 감소하였다. 대략 보아서 몸무게의 감소와 ml/hr로 표시한 산소 소비량이 같은 방향으로 변화하였다(제 2 도 참조).

이렇게 산소 소비량 감소가 있었는데, 기아 제 1일에 대조값의 85.3%로 급격한 감소가 있었던 것은 소위 완전한 post-absorptive state로서 음식물의 특수력동작용(specific dynamic action)이 없어지는 것이 원인이라 생각된다. 기아 제 2일 이후로는 산소 소비량의 감소 속도는 제 1일보다 훨씬 적은 것이라졌다.

산소 소비량은 그 표현 방식에 따라서 양상이 상이하게 되었든 바 제 3표에 보이는 것과 같았다. 몸무게 기준으로 표시하면 기아 날짜가 1, 2, 3, 4, 5, 6으로 진행함에 따라서 대조값(1976 ml/hr/kg b.wt.를 100%로 잡았다)에 비하여 95.1%, 95.8%, 94.5%, 89.8%, 88.0%, 92.4%로 감소한 값을 보이기는 했으나 유의한 차이는 아니었다. 즉 완전 기아로 몸무게와 ml/hr로 표시되는 산소 소비량이 대략 같은 크기로 감소하는 것을(제 1 표 참조) 반영하여 주었다. 기아에 있어서 나타나는 에너지 소모량 감소의 한 원인으로 몸무게의 감소가 생각되는데 위의 성적은 이것을 뒷받침한다고 하겠다. 그러나 후에 기술하는 바와 같이 대사에 참여하는 몸무게인 마른 몸무개의 감소가 더욱 잘 설명하여 준다.

그러나 신체로부터의 열손실의 크기를 참작하고 있는 체표면적 기준으로 표시하면 대조값의 10,180 ml/hr/M<sup>2</sup> surface area에 비하여 기아에 있어서는 어느 날자에서

나 모두 유의한 감소를 보이었다. 즉 기아 제 1일에 대조값의 93.7%로 감소했고(P<.10), 제 2일에 90.9%로(P<.005), 제 3일에 88.9%로(P<.02), 제 4일에 81.7%로(P<.001), 제 6일에 82.8%로(P<.01) 감소하였다. 즉 기아 제 2일 이후로는 감소의 크기가 높은 유의성을 보이었다. 기아에 있어서도 열 손실은 체표면을 통하여 일어나는 것인지만 이 결과는 체표면적의 감소 속도보다 대사량 감소의 속도가 더 커음을 가리킨다고 하겠다.

이와 같이 한 동물의 산소 소비량이 널리 통용되는 표현 방법으로 표현되면 기아 날자의 진행에 따라서 감소가 나타났다. 여기서 동물에 있어서 실제로 신진대사에 관여하는 몸무게를 나타낸다고 생각되는 마른 몸무개(lean body mass, LBM)를 기준으로 표시하면 사태는 달라진다. 기아 개시 이전의 대조값이 2534 ml/hr/kg LBM인데 비하여 기아 제 4일에 2421 ml/hr/kg LBM으로서 둘 사이에 차이를 인정할 수가 없다(P>.20). 동물의 네 가지 신체 구성 성분 즉 지방질, 수분, 고형질 및 단백질 중에서 마른 몸무개에 포함되는 것은 지방질을 제외한 것인 바 기아에 있어서 수분의 증가<sup>30)</sup>, 고형질의 변동<sup>6)</sup> 및 단백질의 소모 감소 등이 나타나며 마른 몸무개가 점차로 감소하는 바 산소 소비량의 감소는 이것을 표현하는 것이라 보겠다.

마른 몸무개를 측정한 것이 기아 개시 제 4일로서 비교적 짧은 기간이었는데, 이 기간에 주로 감소된 것은 지방질이지만 마른 몸무개도 역시 처음에 비하면 절대치의 감소가 있었다.

제 4 표에 보는 바와 같이 정상 흰쥐의 마른 몸무개가



흰쥐를 실온 환경에서 완전 기아 상태에 두면 그 생존 기간은 8~15일이며 기아 이전 몸무게의 35% 내지 40%를 뺀다면 동물은 죽는다는 사실로 보아<sup>16)</sup>, 본 실험에서는 동물이 30%의 몸무게를 뺀 죽기 이전에 실험한 것이었다. 기아 개시 이전의 몸무게의 대소는 동물의 생존 기간과는 관계가 없는 것이며 대사율이 클수록 생존 기간이 단축되는 것이 보고 되었는데<sup>16)</sup> 이것은 신체내 에너지 저장량의 크기와 단백질 대사의 크기가 생존 기간을 결정하는 것이기 때문이다. 이와 같이 기아 도중에 감소하는 몸무게와 대략 방향을 같이하여 산소 소비량이 감소 했는 바 이것은 뇌하수체의 영양부족과 거기에 따라서 발생하는 갑상선 호르몬의 분비 감소가 원인이라 한다<sup>17, 18)</sup>. 기아로 일어나는 조직 기관의 무게 감소는 각각 다르며 간장, 비장, 소화관은 전신보다 빠른 속도로 무게를 뺀으며, 심장, 콩팥, 생식선은 전신과 같거나 또는 느린 속도로 무게를 뺀으며, 부신과 갑상선은 거의 변동 없거나 또는 전신과 같은 속도로 감소한다<sup>19)</sup>는 보고가 있다. 본 실험에서 마른 몸무게가 대조의 80.1% 몸무게에 비하여 기아군에서 79.3% 몸무게이며 기아이전의 대조 몸무게에 대하여는 55.4%로 절대치의 감소와 전체 몸무게와 거의 같은 속도로 감소했음을 표시한다. 이것은 위에 본 각 기관 조직의 감소가 그 기관을 만드는 지방질 없는(fatfree) 무게와 지방질의 둘의 감소의 합계인바 지방질 이외에도 상당한 분량의 조직실질 또는 단백질의 소모 감소가 있었음을 말한다. 흰쥐에 있어서는 생식선이 함유하는 지방질 무게는 전신 지방질 무게의 15%에 이른다는 보고도 있는바<sup>20)</sup>, 생식선의 지방질 감소가 몸무게와 같은 속도로<sup>20)</sup> 나타난다면 전신 비중에 대한 영향은 그만큼 작아진다고 하겠다. 기름기 없는 몸무게에서 뼈는 21%<sup>14)</sup>를 차지하며 그 밀도는 1.250이고 뼈의 광물질의 밀도는 3.000<sup>21)</sup>인 바, 뼈의 성분은 기아로 별반 변화를 받지 않는다<sup>22)</sup>는 보고로 보아 이것이 기아로 신체 밀도에 별반 영향을 주지 않을 것이다. 즉 기아에 있어서 저장 형태로 있던 지방질의 소모도 상당하나 단백질의 소모도 상당한 크기임을 말 한다.

조조 단백질 함유량을 간장, 근, 피부에서 보았던 바 간장에 서는 기아로 별반 변화가 나타나지 않았다. 즉 간장에서는 무게 감소 속도가 전신보다 빠르나<sup>19)</sup> 단백질 함유량에 변화가 없었다는 것은 간장에서는 기름기 없는 조직의 무게는 그냥 유지되었으나 지방질이 많이 감소되었음을 말한다. 이것은 간장의 비중이 대조값의 1.0749인데 비하여 기아군에서 1.0722( $P < .20$ )로 약간 감소를 보인데 반영되었다고 하겠다. 순수한 지방질의 비중은 37°C에서 0.9000 kg/l로서 1보다 적은 것으로 이것이 상대적으로 많이 없어지면 간장의 비중은 증

가하여야 하기 때문이다. 흰쥐를 6일동안 기아 상태에 둘째에 간장 단백질 손실의 크기가 심장, 콩팥, 소화관 등 다른 기관 보다 커졌으나 간장의 무게 감소는 전신 몸무게 감소의 16%에 불과했으며 62%가 근, 피부, 뼈의 무게 감소이며 이 가운데서 근의 무게 감소가 대부분을 차지한다고 하였다.<sup>23)</sup> 간장의 무게 감소 속도가 전신보다 빠르면서 본 실험에서 보는 것 같이 그 비중이 기아 후에 별반 변화 없다는 것은 비중이 0.900 인<sup>24)</sup> 지방질이 빨리 다량으로 소모되고, 비중이 일보다 큰 근의 단백질<sup>25)</sup>의 소모와 서로 상쇄하기 때문이라고 하겠다

근(비장근)의 단백질 함유량이 기아로 대조값의 21.66 gm/100 gm 보다 감소한( $P < .001$ ) 19.48 gm/100 gm 이란 값을 보이었는데 단백질이 기아에 있어서 열량 공급의 상당한 크기를 차지함을 말한다. 흰쥐의 넓적다리근의 실험에 의하면<sup>23)</sup> 열량의 오분의 일이 단백질에서 유래하였으며 그 값은 27%를 넘지 못하였고 나머지는 지방질에서 유래한다고 하였다. 본 실험에서 단백질 함유량의 감소는 이와 일치하는 성적이며, 지방질 없는 몸무게의 48.3%<sup>14)</sup>를 차지하는 전신 근 조직이 상당량의 카로리를 공급한다고 하겠다. 이러한 근의 성분 변화는 밀도를 달리하는 성분의 변화이므로 밀도가 감소되었다. 즉 근의 밀도가 기아로 1.133으로서 정상 대조보다 감소하였다는데에 반영되어 있었던 것이다.

피부 조직의 단백질 함유량이 기아 후에 도리어 증가되어서 정상 대조값의 25.34 gm/100 gm 보다 큰( $P < .01$ ) 28.07 gm/100 gm 이란 값을 보이었는데, 이와 같은 태도는 간장과 근에 비하여 아주 다른 것이다. 피부도 다른 조직과 같이 기아로는 단백질 함유량의 감소가 예기되는 것인데 불구하고<sup>4)</sup> 본 실험에서 반대로 증가되었음을 무언라 해석하기 곤난하다. 밀도 측정에 있어서도 단백질 증가를 지지하는 결과로써 기아 후에 증가한 값을 얻었다.

밀도 측정의 결과는 기아로 나타나는 지방질과 단백질의 감소를 반영해주는 결과를 얻었다. 흰쥐의 전신 밀도에 관한 보고는 1.056~1.082<sup>26)</sup> 등의 값이 있으며 본 논문에서 얻은 정상 대조값 1.048은 이것보다 조금 적은 것이다. 기아 후에는 이것이 1.054로 증가하였든바, 앞서 조직 단백질 함유량 변화에서 논급한 것 같이 지방질과 단백질의 감소 속도와 분량의 크기의 둘 사이의 관계로 전신 밀도가 결정된다고 하겠다. 비중이 0.9인 지방질과 1.2가량인 단백질의 양적 균형이 깨지면서 전신 밀도가 증가하였다 함은 지방질이 더 많이 소모된 것을 입증한다고 하겠다. 다만 본 논문의 대조값과 기아군 사이의 비중의 차이는 큰 유의성을 가지는 것은 아니었다( $P < .20$ ). 지방질의 감소는 마른 몸무게의 상대적 증가를 가져오는 것이며 마른 몸무게의 밀도로는 사

람에서 1.077 내지 1.093 사이에 있는 것인바<sup>14)</sup> 기아가 기니피그서 동물 전체가 솟는 1.057, 암놈 1.043<sup>15)</sup> 솟는 1.068 암놈 1.062<sup>10)</sup>이며, 내장을 제거한 기니피그 마른 른몸에서 솟는 1.091, 암놈 1.085<sup>15)</sup>, 솟는 1.092 암놈 1.090<sup>10)</sup>이며, 소에서 내장을 제거한 마른몸에서 솟는 1.093 암놈 1.089의 값이 보고되었다. 이같이 내장을 제거한 마른몸의 밀도가 성별차가 없이 1.090 전후인바, 본 논문의 내장을 제거한 흰쥐의 마른몸의 밀도를 1.090으로 잡아서 좋다고 본다. 기아가 진행할수록 신체밀도의 값은 여기에 접근할 것이다. 더구나 마른 몸무게의 21%를 차지하는 뼈가 기아로 별반 성분 변화를 받지 않으므로 1.25 전후의 밀도값을 가지는 뼈대가<sup>14)</sup> 전신 밀도값에 미치는 크기는 기아가 진행할수록 더욱 커질 것이다. 그러나 본실험은 최고 6일의 기아 진행 기간을 관찰한 것으로서 뼈대의 영향이 그리 크지는 않았다고 보겠다.

간장 조직의 밀도가 기아군에서 조금 감소한 것은 ( $P < .20$ ), 기아에 있어서 간장의 무게 감소 속도가 전신의 몸무게 감소 속도보다 크다는 보고<sup>16)</sup>와는 일치하지 않는 성적이라 하겠다. 더구나 기아에 있어서 간장내 단백질 소모 속도가 다른 조직에 비하여 크다는 사실<sup>14)</sup>과도 일치하지 않는다. 밀도가 작은 지방질이 많이 없어지면 간장 밀도는 증가하겠고 밀도가 큰 단백질이 다량 소모되었다면 밀도가 상당한 크기로 감소되었어야만 하겠는데实은 성적은 약간의 감소 경향을 보일뿐이다. 아마 기아 계속 기간이 6일로 걸지 않기 때문에 조직 성분 소모가 극심하지 않았던 것이 원인인가 생각된다.

근 조직 밀도는 대조값의 1.198에 비하여 감소된( $P < .001$ ) 1.133을 얻었는데 기아로 소모된 단백질 함유량을 나타낸다고 보겠다. 토끼, 개 등의 비장근 밀도값으로 1.0597(37°C에서)이란 값의 보고가 있는데<sup>27)</sup> 본실험 성적은 이것보다 큰 것이었다. 기아에 있어서 감소하는 단백질 성분은 마이오진(myosin)과 수용성 단백질 성분인데<sup>23)</sup> 이것의 감소가 전체 근 밀도의 감소를 나타났던 것이었다. 기아 도중의 카로리 공급원으로서는 전량의 오분의 일을 부담할뿐으로 나머지 전부는 지방질이 부담하고 있는 것이다.

피부 조직의 밀도는 대조값의 1.103에 비하여 기아군에서 1.139로 증가되었든바, 앞서 논급한 간장과 근 조직에서와 같이 밀도가 큰 단백질의 함량 증가 때문에 오는 현상이라 생각된다. 흰쥐의 기아에 있어서 심실근과 대뇌 조직의 수분량에는 변화가 없으나 피부, 근, 간장에서는 수분량의 증가가 있다는바<sup>28)</sup>, 이러한 수분량의 변화가 밀도에 영향할 수도 있다. 피부에 있어서 밀도가 일인 수분량이 증가하면 대조값이 1.103인 피부 밀도는 감소하여야 하겠으나 본 실험과 같이 밀도가 1.2 전후인 단백질 함유량이 피부에서는 기아 후에 도리어

증가하므로 피부 전체로서의 밀도는 증가를 가져왔다고 보아야 하겠다.

완전 기아는 동물의 총 에너지 소비를 감소하는 사실은 잘 알려져있는 것으로<sup>16, 29)</sup> 이것의 만족할만한 설명은 아직 없다. 이같이 에너지 소모가 감소함은 조직의 대사 감소에서 오는 것인지 또는 몸무게 감소와 나아가서는 뼈이 섭취 중단으로 특수력동작용(specific dynamic action)이 없어진 것인지 확실한 것이 없다. 어떤 사람은<sup>29)</sup> 몸무게 감소와 특수력동작용의 정지가 원인이라 지적한 것도 있다. 동물의 산소 소비량 측정에서는 기초 대사량 측정은 불가능한 일이며<sup>9)</sup> 실제로 측정되는 것은 휴식 대사량이며 그것도 보통은 10~15 분의 짧은 기간의 것이며 한시간을 넘기기 힘들다. 그러므로 이같이 단시간의 성적으로 24시간의 값을 말하는 것은 상당한 크기의 오차가 들어오게 된다. 더구나 하루 동안의 시간적 변동 등도 커다란 오차의 원인이 될 수 있다. 본 실험에 있어서 흰쥐가 움직이지 않고 소리 같은 자극이 없으며, 일중의 같은 시간에 측정하여 오차를 감소하는데 노력하였다. 기초(휴식) 대사량은 흰쥐의 대사량의 최대 부분을 차지하는 것으로 일반적으로 몸무게의 2/3 내지 3/4 제곱에 비례하며, 좁은 범위에서는 몸무게에 직접 비례하여 변화한다.<sup>9)</sup> 본 실험에 있어서 기아로 산소 소비량의 절대량이 감소하였으나 이것이 대략 몸무게의 감소와 평행하였는데, 몸무게(kg) 기준으로 표시하면 산소 소비량에는 유의한 감소가 나타나지 않았던 것은 산소 소비량의 절대량 감소의 원인의 하나가 적어도 몸무게의 감소였다고 할 수 있다.

대사량의 총량은 각 조직의 대사량의 총합계라는 상당한 지지 실험이<sup>30)</sup> 있는바 실제로 대사에 적극 참여하는 조직의 많고적음이 산소 소비량과 직접 관계있는 것이라 하겠다. 그러면 단순히 몸무게로 기준할 것이 아니고 마른 몸무게를 기준으로 표시함이 더욱 합리적이다. 본 실험에서 기아 개시전의 산소 소비량이 2534 ml/hr/kg LBM인데 비하여 기아 제 4일에 2421 ml/hr/kg LBM으로 조금 감소된 것( $P > .20$ ) 같으나 별반 차이를 인정할 수가 없다. 즉 기아로 산소 소비량 총량의 감소가 있으며 대략 몸무게 감소와 평행하는 경과를 가졌으며 이것은 대사에 참여하는 마른 몸무게 감소가 원인이라 할 수 있다. 마른 몸무게가 기아 진행에 따라서 감소하는 사실은 조직의 단백질 함유량 감소와 조직의 밀도 증가로 증명되었으며, 마른 몸무게 감소 속도에 평행하여 산소 소비량 총량의 감소가 진행되는 것이라 하겠다.

체표면적 기준으로 산소 소비량을 표현하면 기아 진행에 따라서 유의한 감소가 있어서 기아 제 6일에는 기아 전 대조값의 82.8%로 감소를 보였든바, 이것은 체표

면적의 계산에 있어서 몸무게의 2/3 내지 3/4 제곱의 요소가 가미되면서 몸무게 감소가 충실히 표현되지 않았기 때문에 대사에 참여하는 조직의 크기를 잘못 표현하는 것이라 볼 수 있다. 이리하여 음식물의 특수력동작용이 없어진 기아 제2일 이후의 산소소비량 감소는 마른 몸무게 감소를 반영하는 것이라 지적할 수 있다.

## 결 론

흰쥐를 두 무리로 나누어서, 하나는 정상 대조군으로 다른 하나는 기아군으로 실험하였다. 흰쥐에 먹이를 아니주고 물은 주면서 완전 기아 상태를 6일동안 계속하면서, 몸무게와 산소 소비량은 매일 측정하였고, 동물을 회생하여 밀도와 조직 단백질 함유량을 측정하였다. 밀도로 부터 동물의 마른 몸무게를 셈하고 산소 소비량이 기아에서 감소하는 기준으로 표시하는데 사용하였다. 다음과 같은 성적을 얻었다.

1. 흰쥐의 산소 소비량 총량이 기아 진행에 따라서 감소하였는데 마른 몸무게 감소가 그 원인이었다.

2. 산소 소비량 감소와 몸무게 감소가 대략 평행하였지만 마른 몸무게에 비교하면 충실하지 못하였다.

3. 그러므로 산소 소비량을 몸무게, 마른 몸무게 기준으로 표시하면 기아가 진행하여도 감소함이 없이 대조값과 같은 크기이었다. 체표면적 기준으로 표시하면 기아 진행에 따라서 감소를 보이었다. 체표면적은 기아에 있어서의 산소 소비량 표현의 기준으로는 좋지 않았다.

4. 전신의 밀도는 기아로 감소하는 지방질을 반영하여서 기아군에서는 증가했다.

5. 기아 후에 간장과 근의 밀도는 감소했으며, 피부의 밀도는 증가했다.

6. 기아후에 간장의 단백질 함유량은 변화 없었고, 근에서 감소, 피부에서 증가했다.

7. 마른 몸무게의 하나의 요소인 조직 단백질 분량의 변화가 조직의 밀도 변화에 충실히 반영되었다.

8. 전신 밀도의 변화는 각 조직 밀도의 변화의 충실히 표현이었다.

(본실험을 지도한 남기용 교수께 감사한다)

## ABSTRACT

### Total Metabolic Rate, Body Density and Tissue Protein Changes in Acute Fasting of Rats.

Byong Ryul Chun, M.D.

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

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

Measurements of oxygen consumption, total body density, tissue density and tissue protein content were made on two groups of rats: the first group was the normal control group and the second group was starved for 6 days with free access to water. After the measurement of oxygen consumption animals were sacrificed and the determination of lean body mass (LBM) was made by means of underwater weighing. Comparisons were made between the control and fasted group. The following results were obtained.

1. Total energy expenditure of rat decreased as the fasting progressed. This decrease was parallel to decrease in lean body mass.

2. Although the decrease in oxygen consumption was parallel to the decrease in gross body weight, the change of lean body mass correlated more closely with the oxygen consumption.

3. Subsequently, oxygen consumption expressed on the basis of both gross body weight or lean body mass did not decrease as compared to the control value. Oxygen consumption expressed on the basis of body surface area decreased as the fasting progressed. Body surface area was not a good reference expressing oxygen consumption in fasting of the rats.

4. Total body density increased in the fasted group. This reflected the decrease in fat when fasting continued.

5. Tissue density of liver and muscle (gastrocnemius) decreased and that of skin increased in the fasted rats.

6. Protein contents of tissues showed variable changes in acute fasting: liver showed no change, muscle showed a decrease and skin showed an increase.

7. Tissue protein content, which is one component of lean body mass, influenced the changes of tissue density.

8. Total body density was the sum of tissue density.

## REFERENCES

- 1) Lusk, G.: *The Elements of the Science of Nutrition*, Philadelphia: Saunders, 1928, p. 90.
- 2) Keys, A., & A. Brozek, A. Henschel, O. Mickelsen, & H.L. Taylor.: *The Biology of Human Starvation*. Minneapolis: Univ. Minnesota Press, 1950, Vol. 1.
- 3) Depocas, F.: *Body glucose as fuel in white rats*

- exposed to cold; results with fasted rats. *Am. J. Physiol.* 202 : 1045, 1962.
- 4) Addis, T., L.J. Poo, & W. Lew.: *J. Biol. Chem.* 115 : 111, 1936.
- 5) Morrison, A.B.: *Inulin and thiocyanate spaces of rat in starvation and undernutrition*. *Am. J. Physiol.* 201 : 329, 1961.
- 6) Huth, E.J. & J.R. Elkinton.: *Effect of acute fasting in the rat on water and electrolyte content of serum and muscle and on total body composition*. *Am. J. Physiol.* 196 : 299, 1959.
- 7) Behnke, A.R., E.F. Osserman, & W.C. Welham.: *Lean body mass: its clinical significance and estimation from excess fat and total body water determinations*. *A.M.A. Arch. Int. Med.* 91 : 585, 1953.
- 8) Dewar, A.D., & W.H. Newton.: *The determination of total metabolism in the mouse*. *Brit. J. Nutrition* 2 : 123, 1948.
- 9) Morrison, S.D.: *Total energy metabolism of non-pregnant rats*. *J. Physiol.* 127 : 479, 1955.
- 10) Rathbun, E.N., & N. Pace.: *The determination of total body fat by means of the body specific gravity*. *J. Biol. Chem.* 158 : 667, 1945.
- 11) Keys, A., & J. Brozek.: *Body fat in adult man*. *Physiol. Rev.* 33 : 245, 1953.
- 12) Hawk, P. B., B.L. Oser, & W. H. Summerson.: *Practical Physiological Chemistry*. New York: Blakiston Co., 13th ed. p. 881, 1954.
- 13) Montemurro, D.G., & J.A.F. Stevenson.: *Survival and body composition of normal and hypothalamic obese rats in acute starvation*. *Am. J. Physiol.* 198 : 757, 1960.
- 14) 南基鏞: 인체의 총자방량. *대한군진의학* 2 : 27. 1962
- 15) Pitts, G.C.: *Density and composition of the lean body compartment and its relationship to fatness*. *Am. J. Physiol.* 202 : 445, 1962.
- 16) Rixon, R.H., & J.A.F. Stevenson.: *Factors influencing survival of rats in fasting. Metabolic rates and body weight loss*. *Am. J. Physiol.* 188 : 332, 1957.
- 17) Mulinos, M.G., & L. Pomerantz.: *J. Nutrition* 19 : 493, 1940.
- 18) D'Angelo, S.S.: *Endocrinology* 48 : 341, 1951.
- 19) Jackson, C.M.: *J. Anat.* 18 : 75, 1915.
- 20) Smith, T.C., L. Will, J. Oleson, K.F. Benitz, J. Perrine, & I. Ringler.: *Effect of hormones and hypoglycemic agents on testicular fat in the rat*. *Am. J. Physiol.* 200 : 1277, 1961.
- 21) Mendez, J., A. Keys, J.T. Anderson, & F. Grande.: *Density of fat and bone mineral of the mammalian body*. *Metabolism* 9 : 472, 1960.
- 22) Lobeck, C.C., & E.E. Steinkraus.: *Effects of fasting, adrenalectomy and cortisol on bone composition and density*. *Am. J. Physiol.* 199 : 1077, 1960.
- 23) Hagan, S.N., & R.O. Scow.: *Effect of fasting on muscle proteins and fat in young rats of different ages*. *Am. J. Physiol.* 188 : 91, 1957.
- 24) Fidanza, F., A. Keys, & J.T. Anderson.: *Density of body fat in man and other mammals*. *J. Appl. Physiol.* 6 : 252, 1953.
- 25) Spector, W.S.: *Handbook of Biological Data*, Philadelphia: Saunders Co., 1956.
- 26) Montemurro, D.G., & J.A.F. Stevenson.: *Body composition in hypothalamic obesity derived from estimations of body specific gravity and extracellular fluid volume*. *Metabolism* 6 : 161, 1957.
- 27) Mendez, J., & A. Keys.: *Density and composition of mammalian muscle*. *Metabolism* 9 : 184, 1960.
- 28) Aach, R.D., D. Rolf, & H.L. White.: *Water loss and gains in fasting and nephrectomized rats*. *Am. J. Physiol.* 188 : 156, 1957.
- 29) Cumming, M.C., & S.D. Morrison.: *Total energy expenditure during fasting and re-feeding of rats*. *J. Physiol.* 127 : 10 p, 1955.
- 30) Ruhrman, G.J., D. A. Parr, & J.H. Fail.: *Relationship between tissue respiration and total metabolic rate in hypo- and normothermic rats*. *Am. J. Physiol.* 201 : 231, 1961