

小腸의 病態生理에 關한 知見

3. 물과 전해질

梁 日 錫 · 林 昌 亨

鄭 雲 翼

서울대학교 獸醫科大學

家畜衛生研究所

물은 생명의 바탕이다

“돈을 물쓰듯 한다”는 말이 있다. 이말은 돈을 아무 거리낌 없이 쓴다는 말도 되지만 바꾸어 말하면 물이 매우 풍부하다는 말도 된다. 이처럼 물은 풍부하다. 즉 지구표면은 71%가 물로 덮여 있다.²⁵⁾

몸 속의 수분 함유량은 동물의 종류에 따라 다르다. 이를테면 아주 마른 고양이도 체중의 약 2/3 정도이지만 몸을 가누기 힘들만큼 뚱뚱한 돼지는 체중의 약 1/3 정도에 불과하다. 또한 성별에 의한 차이도 있어서 성인 남자는 체중의 63%가 수분이고 여자는 체중의 52%가 수분이다.²⁵⁾ 이러한 차는 지방 함량이 다르기 때문이다. 그리하여 지방을 제외한 체중을 기준으로 말하기도 하는데 포유류는 무지방체중(lean body mass)의 73.2% (약 70%)가 물이다. 이 값 역시 동물의 종류에 따른 약간의 차이는 있다.

매저 어느 물질이든 많거나 적으면 문제가 생기기 마련인데 물 역시 예외는 아니다. 지난 여름 어느 일간지의 사회면 머리 기사는 태풍 쥬다가 물고온 500mm의 호우로 하룻밤 사이에 부모를 잃고 고아가 된 세 자매가 다음날 아침 등교하여 1,000명이 넘는 꼬마 친구들을 울먹이게 하였다는 것을 보도하였으며 같은 날자의 그 신문 독자란에는 서울 변두리 어느 동네는 급수차가 일주일이나 오지 않아 불편이 이만저만이 아니라면서 일주일이나 물이 없는 수세식 변소를 상상해 보라는 식의 호소문(?)이 실려 있었다. 그러면 우리 몸에는 이런 현상이 없겠는가? 우리는 지금도 5-6년전에 영국의 베일리 부부가 망망대해에서 70여일 동안이나 표류하고 있을때 우리나라 배가 구조하여 화제가 된 일을 기억하고 있다. 이때 관선의 초점은 도대체 70여일이나 무엇을 먹고 살았나보다는 그 긴 기간동안 물을 먹지 않

고 어떻게 살 수 있었는가였다. 구조된 후에 밝혀진 사실이지만 그들은 소나기가 자주 내리는 적도물, 표류하였기에 물은 해결 할수 있었다. 포유류가 3.5%^{10,15)} NaCl에 해당 할 정도의 높은 삼투압을 가진 바닷물을 먹고는 살수 없는 이유는 수분과 전해질을 조절하는 가장 중요한 기관인 콩팥이 오줌을 농축하는 능력의 한계 때문이다. 즉 사막에 살고 있는 캥가루쥐와 같은 몇몇 종류의 동물은 제외하고는 오줌의 삼투압은 혈장의 5-10배(사람 1.5, 토끼 1.9, 개 2.3, 양 3.2 osmol/liter) 정도 밖에는 농축할 수 없다.²¹⁾ 따라서 사람의 경우 바닷물 100ml를 마시면 157ml의 오줌을 배설하게 되므로 75ml의 수분 손실을 가져올 뿐만 아니라 바닷물에는 Mg^{2+} , SO_4^{2-} 이 다량 함유되어 있으므로 설사를 유발하기 쉽다.¹⁰⁾ 그러면 망망대해를 날아다니는 갈매기는 어떻게 바닷물을 먹고도 살 수 있는가? 갈매기는 식염선(salt gland)이 있어 아주 농축된 소금물을 분비할 수 있으므로 바닷물을 먹어도 체액의 삼투압을 조절할 수 있다.²⁵⁾ 이와 같이 물은 삼투압을 조절하는데 꼭 필요한 요소일 뿐 아니라 세포 안에서는 신진대사의 매체가 되며 세포 밖에서도 세포환경의 매체를 이룬다. 따라서 모든 세포 하나하나를 둘러싸고 있는 세포외액(간질액과 혈장)은 세포의 환경이라 볼 수 있다. 그리하여 프랑스의 베르나르(bernard)는 세포외액을 내환경(milieu intérieur)이라 불렀다. 이것은 생물이 생존하는 외부환경에 대하여 대칭되는 것으로 체내와 체외환경의 급격한 변화로부터 세포를 보호하는 완충지대이다.

이와 같이 물은 생명의 바탕이라고 할 수 있는데 지렁이를 보면 더욱 실감나게 한다. 우리말 속담에 “지렁이도 밟으면 꿈틀한다”는 말이 있지만 이도 성한 지렁이를 건드릴 때의 일이다. 즉 비 온 후에 땅 위에 올라와 있는 지렁이는 밟으면 꿈틀한다. 이들 지렁이는 체중의 거의 반에 해당하는 수분을 잃을 때까지 이러한

현상을 볼수 있으며 물을 공급해 주면 다시 되살아날수 있다. 그러나 체중의 60%¹⁰⁾이상의 수분을 잃으면 꿈을 거덜수도 없다. 이런 탓으로 지렁이는 수분을 잃지 않기 위하여 땅속에서 사는 것이다.

맛대는 어느 것을 사용하나?

비교할 다른 사람이 없다면 아무개는 '키가 크다' 라는 말은 논리상 틀린 말이다. 이러한 경우는 아무개가 키가 몇 cm 이다라고 하여야 된다. 이처럼 우리는 일상 생활에 항상 단위를 사용하게 되는데 그 단위는 동일하여야 한다. 이를테면 부산에서 쇠고기 1근과 서울에서의 쇠고기 1근 값은 아주 다르다. 그것은 지역에 따른 차가 아니라 부산은 쇠고기 1근이 375g 이고 서울에서는 600g 이기 때문이다. 따라서 우리는 통일된 단위가 필요하게 된다.

어떠한 물질의 농도를 표시하는 경우에는 (m) mol/liter, (m) Eq/liter, (m) osmol/liter 를 사용한다. 1liter 에 1g 분자량이 녹아 있으면 1몰이라 하는데 전하를 띄는 이온을 다룰 때는 mEq/liter 를 사용하는 것이 타당하다. 이는 분자량을 원자가로 나누어 준 것으로 이를테면 Na⁺의 1mEq/liter 는 23mg 이고, Ca²⁺은 1mEq/liter 는 20mg(40/2)이다. 이를테면 남자가 쌍쌍으로 모이는 어떤 회합이 있다면 남자와 여자의 몸무게에 관계 없이 남녀 숫자가 같아야 하므로 Na⁺은 23mg/liter 가 1mEq/liter 이고, Cl⁻는 35.5mg 이 1mEq/liter 이며, Ca²⁺은 2가 이므로 파르너 둘을 상대할 수 있으므로 2로 나눈 20mg 이 1mEq/liter 가 된다. mosmol은 삼투압의 단위로 사용되는바 이 단위는 분자량이나 이온가에 관계 없이 용해되어 있는 용질의 총 숫자에 의하여 결정된다. 따라서 비전해질 1mM 은 1mosm 이 되고 2개로 전리되는 NaCl 은 1mM 이 2mosm 이 된다. 혈장의 삼투압은 Na⁺, Cl⁻, HCO₃⁻ 같은 전해질 농도에 따라 주로 결정된다. 따라서 간접적으로 삼투압을 알려면¹⁸⁾ 1) mosm = 2.1Na(계산치에 8을 더하여야 하며 요독증이나 고혈당증일 경우는 부적당하다) 2) 1)의 결정을 보완하기 위하여 mosm = 1.86(Na+K) + $\frac{\text{Glu}}{18} + \frac{\text{BUN}}{2.8}$ (계산치에서 9를 감한다)의 공식을 이용한다. (여기에서 Glu는 포도당, BUN은 혈중 요소성 질소를 뜻함).

오줌이 농축된 정도를 말할때 흔히 비중과 삼투압을 혼동하여 사용한다. 하지만 비중은 어떤 특정한 온도에서 동일한 양의 물과 오줌의 무게 비를 말하는 것이므로 비중은 온도에 따라 달라지고 또한 오줌 속에 함유된 용질의 종류에 따라서도 달라진다. 그러므로 삼투압은 비중에 비하여 훨씬 정확한 단위이다. 그러나 지금

도 일반 요검사에서는 비중 측정을 많이 사용하고 있다.^{4,18)}

체액량은 어떻게 측정 할수 있을까?

체액의 양을 측정한다는 것은 학문적으로나 임상적으로 매우 중요한 일이다. 이를테면 심한 구토나 설사를 하고 있는 환측이 과연 얼마나 탈수되었는지를 알아볼 필요가 있기 때문이다.

어떠한 물질의 양이나 농도를 측정하려고 할때는 직접법과 간접법이 있다. 체액량을 측정하는데도 직접법과 간접법이 있기 마련이다. 이를테면 물이 들어있는 작은 항아리가 있는데 그 물의 양을 알려면 한 방울도 흘리지 않고 액량계에 옮겨 측정하는 방법이 직접법이다. 실험동물이나 사형수가 죽은 직후 체중을 달고 100°C의 오븐에 넣어 완전히 말린후 체중을 달아 감소된 무게 즉 증발된 수분의 무게를 알므로서 체액량을 정확히 측정하기도 하였다. 그러나 이 방법은 되풀이 할 수도 없을뿐 아니라 임상적으로 이용할 수 없다. 앞의 예에서 어떤 색소1g(A)을 넣어 잘 혼합한 후 용액을 조금 채취하여 색소의 농도를 측정 하여 본 결과 1mg/ml(C)이었다면 물의양(V)은 1리터(V=A/C)가 된다. 이와 같은 방법을 희석법이라 하며 이때 사용되는 물질을 지시물질이라 하는데 지시물질이 갖추어야 할 조건은 물에 잘 녹고, 농도를 쉽게 측정할 수 있어야 하며, 물에 해롭지 않고, 체내에서 신진대사에 의하여 잘 파괴되지 않을뿐더러 원하는 체액구분에만 분포하여야 한다. 이와 같은 조건을 완전히 갖춘 지시물질을 찾기는 힘들다. 또한 같은 체액구분(예를들면 세포외액량)에 분포하는 것으로 권장되는 지시물질인 SCN은 inulin에 비해 상당히 높은 결과를 나타내므로 사용한 지시물질에 따라 다를을 고려하여야 하겠다.³⁰⁾ 여러 가지 지시물질을 사용하더라도 혈장량, 세포외액량, 총수분량 밖에는 측정할수 없으며 간직액량(세포외액량-혈장량)과 세포내액량(총수분량-세포외액량)은 계산에 의하여서만 알수 있다.

수분수지는 어떻게 이루어지나?

동물은 정상상태에서 수분의 섭취량과 배설량이 평형을 이루어 체내의 수분함유량은 거의 일정하나, 동물이 수분을 얻는 길은 마신물, 사료에 함유되어 있는 수분 및 대사수이다. 대사수라 함은 섭취한 영양분이 대사 과정에서 수소가 산화하여 생성된 수분을 말하는데 탄수화물, 지방 및 단백질 1g이 산화되면 각각 0.6g, 1.1g 및 0.4g의 물이 생성되며 이들의 양은 섭취하는 총수분

량의 5~10%를 차지한다. 이러한 양은 사람이나 가축에서는 주요한 수분의 공급원은 아니지만 사막에서 살고 있는 캥가루취와 같은 동물은 마실 물이 없을 뿐만 아니라 건조한 사료를 섭취하기 때문에 수분을 얻는 유일한 길이 된다.²¹⁾

수분을 잃는 길은 오줌, 대변, 호흡기도와 피부를 통한 불감손실을 들 수 있는데 경우에 따라서는 것이나 따름으로도 상당량의 수분손실이 있다. 이들 경로를 통하여 손실되는 양은 동물에 따라 다르지만 같은 동물이라도 일정하지 않다. 즉 대변이나 불감수분손실이 감소하면 오줌으로 손실되는 양은 증가하고 대변이나 불감수분손실의 양이 증가하면 오줌으로 손실되는 양은 감소한다. 그러나 이러한 요량의 감소는 있지만 콩팥의 오줌 농축 능력에 한계가 있으므로 신진대사로 말미암아 생성된 노폐물이나 섭취한 과량의 염류를 배설하는데 꼭 필요한 오줌의 양(최소노량)은 매일 배설되기 마련이다.

일반적으로 육식동물의 경우에는 대변으로 배설되는 수분의 양은 양적으로 지기 때문에 거의 의의가 없지만 소의 대변은 수분 함량이 약 80%이고 말의 경우는 약 70%에 이르는 한편 소나 말은 소화흡수율이 낮은 사료를 많이 섭취하기 때문에 제 1표에서와 같이 오줌으로

제 1 표 건조(콩팥류)를 급여한 홀스타인 소의 일일 수분수지 (liter)

Banlance	Acting	Lacting
Intake		
Drinking Water	26	51
Food Water	1	2
Metabolic Water	2	3
Total	29	56
Output		
Feces	12	19
Urine	7	11
Vaporized	10	14
Milk	0	12
Total	29	56

잃는 양보다 많아지기도 하며 비유기나 일을 많이 할 때는 더욱 많은 양을 잃게 된다.

불감수분손실은 호흡기도나 피부로 통한 수분손실을 일컫는데 그 양은 사람의 경우 500ml/m²/day이다. 겨울철 아침에 집을 가득 실은 수레를 끌고 있는 소의 코와 입에서는 끄던가의 입에서 나오는 담배 연기처럼 꼭

꼭 내뿜어져 나오는 김을 쉽게 볼 수 있다. 즉 어떠한 상태의 공기를 들이마셔도 숨을 내쉴 때는 체온과 같은 37°C(47mmHg의 수증기분압)의 수증기 포화공기가 된다. 따라서 건조한 공기를 흡식할 때는 거도를 통한 수분손실은 증가하고 호흡기도의 상피세포는 건조하게 되어 어린 동물에서는 감기에 걸리기 쉬운 요인이 되기도 한다. 이러한 불감수분손실은 피부를 통하여서도 일어나고 있다. 즉 추운날 가볍게 옷을 입은 후에 몸에 맞는 가죽 의류를 입고 활동하고 있다면 가죽의 투를 통하여는 수분의 증산이 잘 되지 않기 때문에 가죽 의류의 내면이 축축한 것을 볼 수 있다. 즉 우리 자신은 느낄 수 없지만 피부표면으로부터 항상 수분을 잃고 있음을 알 수 있다. 이와 같이 여러가지 길로 수분을 잃고 있지만 그에 버금하는 양의 수분을 섭취하고 있기 때문에 체내수분은 거의 일정하게 된다.

비유중인 동물은 체액의 3~6%에 해당하는 수분이 매일 젖을 통하여 잃는다. 수분과 함께 전해질의 손실도 가져오는데 예를들면 40kg의 양이 젖 1l를 생산할려면 Na⁺ 20~40mEq/liter K⁺ 30mEq/liter Ca²⁺ 60mEq/liter를 잃게 되며, 이러한 수분과 전해질 손실은 대부분 콩팥에 의한 재흡수 증가로 보상된다. 또한 젖의 pH는 6.8이므로 오줌은 다소 알칼리를 나타낸다.²²⁾ 그러나 여기서 한 가지 짚고 넘어가야 할 일은 제 1표에서와 마찬가지로 비유중인 소는 건유기의 소에 비하여 약 2배에 달하는 수분손실이 있다. 따라서 젖으로 배출되는 수분량보다 훨씬 많은 양의 물을 섭취하여야 한다. 즉 12리터의 우유를 생산하는 경우에는 우유량보다 많은 15리터의 수분을 과외로 잃고 있다. 이러한 이유는 우유를 생산하기 위하여 대사율이 증가하면 사료섭취량이 증가할 것이고 대변의 양도 증가한다. 따라서 대변을 통한 수분의 손실도 증가하고 대사과정에서 생성된 노폐물의 양도 증가되므로 오줌으로 통한 수분의 양도 증가한다. 한편 대사율이 증가하였으므로 환기량도 증가하며 또한 피부를 통한 수분손실도 증가하기 때문이다. 따라서 비유중인 동물에는 신선한 물을 충분히 공급하여야 한다.

어린 동물은 성숙한 동물에 비하여 조절기전의 미숙도 있지만 물의 교체율 이룰때면 어린 동물은 성숙한 동물에 비하여 체중 kg당 물의 씹숨이 커서 탈수가 되기 쉽다.

콩팥은 정상인가?

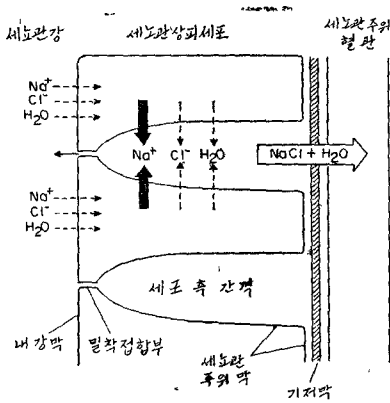
우리는 흔히 콩팥을 하수도에 비유한다. 하수도가 막히면 아무리 집안 청소를 잘 하여도 소용이 없다. 이와

같이 하수도가 집안 환경을 깨끗이 해 주듯이 청상적인 콩팥은 내환경을 유지한다.

생명체는 바다에서부터 시작하였다.¹⁷⁾ 최추동물의 조상들이 바다에서 살고 있었을 때는 주위에서 NaCl 몇 수분을 쉽게 얻을 수 있었기 때문에 체액조절기(volume regulator)로써의 콩팥이 전혀 필요가 없었다. 그러나 그들이 생활터전을 민물(fresh water)로 옮김에 따라 체액의 삼투압이 민물에 비하여 높지 때문에 물이 스며 들어와 체액이 희석되므로 물을 제거하는 것이 문제가 되었다. 그리하여 사구체가 필요하여 수분을 제거하는 때에는 성공하였으나 수분과 함께 전해질 손실이 있으므로 근위세뇨관과 원위세뇨관을 만들어 전해질을 재흡수하고 희석된 오줌을 배설하게 되었다. 따라서 물고기는 Henle의 고리가 없는 콩팥을 가지고 있다. 민물에서 살던 생물의 일부가 육지로 옮겨 살게 되었는데 이체는 민물에서 당면했던 정반대의 일에 부딪치게 되었다. 즉 물을 어떻게 보존하느냐가 문제이었다. 그리하여 파충류의 경우에는 사구체수를 줄여 사구체 여과물(GFR)을 줄이고 대사산물을 분자량이 큰 물질 이룰때면 요소를 요산으로 배설하여 물의 손실을 줄였다. 또한 포유류는 근위세뇨관과 원위세뇨관 사이에 Henle의 고리가 생성되어 오줌을 농축하여 배설함으로써 물의

조절할 수 있다.

포유류에서 오줌을 농축하는 기전을 살펴보면 근위세뇨관에서의 사구체 여과액은 등장성이다. 즉 Na^+ 이 능동적으로 재흡수되면 전압차에 따라서 Cl^- 나 HCO_3^- 이 수동적으로 재흡수되며 이와 더불어 포도당이나 아미노산이 능동적으로 재흡수되므로 물은 삼투압차에 따라서 재흡수된다. 여기에서 물의 재흡수 기전은 pump leak-(or standing gradient flow) system에 의하여 이루어진다.²⁴⁾ (제 1도) 물의 재흡수로 요소와 같은 비전해질은 농도가 증가하므로 농도경사에 의하여 재흡수된다. 이러한 형식으로 재흡수가 이루어지므로 근위세뇨관에서 재흡수되는 양은 사구체 여과액의 70%에 이룰 정도로 많다. 즉 사람의 경우 하루에 사구체에서 여과되는 양은 180리터(125ml/분×60분×24시간)에 이르는데, 근위세뇨관에서 재흡수되는 양은 출잡아 126리터에 이를 정도로 많다. 근위세뇨관을 거친 여과액은 Henle의 고리 하행각을 피질에서 따라 수질로 들어가게 되는데 수질로 갈수록 삼투압은 증가(사람의 경우 1,200-1,500 mosmol/liter)한다. 이 부위는 수분 투과도가 크기 때문에 주위조직과 삼투압평형이 쉽게 이루어지나 상행각에서는 수분의 투과도는 극히 낮지만 NaCl의 재흡수는 이루어지므로 사구체 여과액은 삼투압이 낮아지고 주위 조직(수질)은 삼투압이 증가하게 된다.



제 1도 콩팥 근위세뇨관에서의 NaCl과 물이 재흡수되는 pump leak (or standing gradient flow) system의 모형도. Na^+ 은 수동적(절선 화살표)으로 세뇨관 상피세포내로 들어와 세포속간격으로 능동적(굵은 실선 화살표)으로 이동하며 Cl^- 와 물은 Na^+ 을 따라 이동함을 볼 수 있다.

손실을 방지하기에 이르렀다.¹⁵⁾ 실제로 Henle의 고리가 긴 동물은 오줌의 농축능력이 커서 캥가루쥐 같은 동물은 수질의 삼투압이 5,500mosmol/liter나 된다.²¹⁾ 이와 같이 콩팥은 사람이나 포유동물에서 혈장에 비하여 고장성이나 저장성의 배설물을 만드는 유일한 기관이다.¹¹⁾ 즉 콩팥은 용질과 무관하게 물의 재흡수량을

상행각에서의 NaCl 재흡수기전은 두터운 부분(thick limb)에서 Cl^- 이 능동적으로 재흡수되고 Na^+ 이 수동적으로 재흡수되는 것이 확인되었으나 얇은 부분(thin limb)에서의 Cl^- 이 능동적으로 재흡수되는지 수동적으로 재흡수되는지는 아직 논쟁의 대상이 되고 있다.⁵⁾

Henle의 고리를 지나감에 따라 오줌은 농축되는 것이 아니라 희석된 즉 저장성뇨(hypotonic urine)로 된 후 원위세뇨관에 도달하여 H^+ 이나 K^+ 을 높은 농도경사에 역행해서 분비하고 Na^+ , 물의 재흡수도 이루어진다. 바꾸어 말하면 근위세뇨관의 재흡수는 현미경의 조동나사와 같아서 양적으로 많은 흡수가 이루어지고 원위세뇨관은 현미경의 미동나사와 같아서 미세한 조절작용이 있다. 한편 체액의 삼투압 조절을 위한 물의 재흡수는 Henle의 고리에서 이루어지는 것이 아니라 뇌하수체에서 유리되는 ADH에 의하여 수분의 투과도가 달라지는 원위세뇨관 후부와 집합관에서 일어난다. 이를 보면 Henle의 고리는 집합관에서 수분이 재흡수될 수 있는 여건조성 즉 삼투압경사를 만들어 줄 뿐이며, 뇌하수체 후엽에서 유리되는 ADH에 의하여 수분의 재흡수 정도가 결정된다.²⁶⁾ 그러면 말수상태에서 ADH 유리가 되지 않는다면 어떻게 될까? 이러한 상황에서는 GFR을 감소시켜 수분의 손실을 줄인다.¹⁶⁾

그러면 직동맥(vasa recta)은 무엇을 하는가? 수질에 영양을 공급하고 Henle의 고리와 집합관에서 재흡수된 물과 NaCl을 순환혈액으로 운반한다. 즉 직동맥 없이 삼투압 경사만 만들어져 있다면 삼투압이 같은 오줌(ADH 분비에 따라 다소 차이는 있겠지만)을 배설하게 될 것이다. 이는 마치 삼장이 멎어 있는 것과 같다. 즉 삼장이 확장되어 멈추어졌던 수축된 상태로 멈추어졌던 제 기능을 발휘하지 못하기는 마찬가지이다. 이와 마찬가지로 직동맥의 혈유량 다소에 따라 수질부위의 삼투질 농도차가 달라지지 않으면 효과적인 오줌의 농축과 희석은 되지 않는다.

콩팥이 오줌을 농축하는 데에는 요소의 역할을 간파할 수 없다. 즉 내수질부의 삼투압은 약 50%가 요소에 의하여 형성된다. 따라서 저단백질 식이에 의한 수질부의 요소 농도 감소는 탈수나 ADH 투여 후에도 수분의 재흡수는 감소한다. 그리고 신생아가 오줌 농축능력이 낮은 것도 내수질부의 요소 농도가 낮은 때문이다.³⁾

소화관에서의 흡수는 ?

소화관은 수분수지에 있어서 콩팥과 더불어 가장 중요한 위치를 차지하고 있다. 즉 정상적인 상태에서는 대사수를 제외한 모든 수분을 소화관을 통하여 얻는다. 건강한 동물에서는 수분과 전해질이 소화관으로 분비하는 양은 평장하지만 이들은 다시 흡수되므로 대변으로 배설되는 양은 소량에 불과하다.¹³⁾ 그러나 구토나 설사의 경우에는 정상적인 재흡수가 되지 못하므로 다량의 수분과 전해질 손실이 일어난다. 이를테면 개에 누공을 만들고 위액을 전부 몸 밖으로 배설되게 한 경우 수액 요법을 하지 않으면 5-8일 내에 죽음에 이르러 적절한 수액요법을 실시하면 소생할 수 있다.¹²⁾

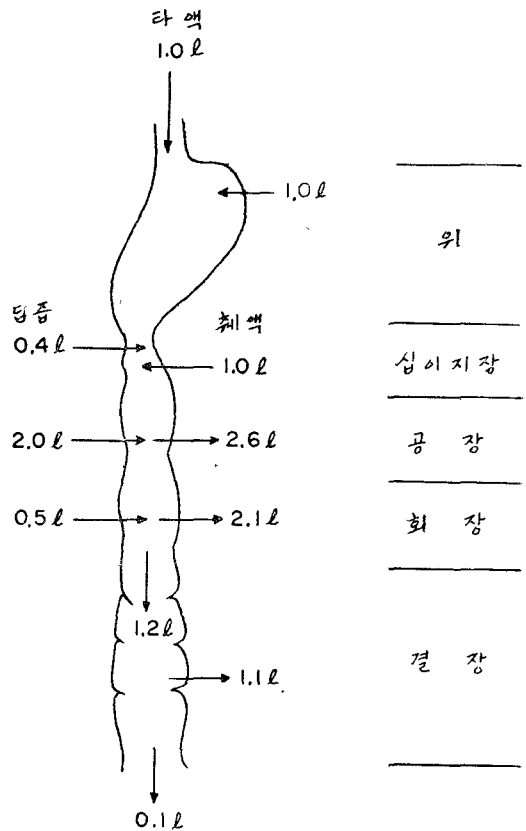
어떤 동물에서 피를 뽑아 그 혈장을 자신의 소장고리 속에 넣어 주면 얼마 아니되어 혈장은 모두 흡수되어 버린다. 이는 삼투압차나 농도경사는 없으므로 능동적 이동이 아니면 설명할 수 없다. 즉 포도당이나 아미노산 및 Na⁺ 등이 능동적으로 흡수되면 전기적 평형을 유지하기 위하여 Cl⁻ HCO₃⁻이 수동적으로 흡수되는 바 소장 하부로 갈수록 Cl⁻은 흡수되고 HCO₃⁻은 분비되는데 이런 현상은 육식동물보다 초식동물에서 더욱 뚜렷하다.¹³⁾

소화관에서 물이 흡수되는 기전은 콩팥의 근위세뇨관에서의와 마찬가지로 pumpleak system에 의한다. 수분은 삼투압차에 따라 흡수되므로 영양분이나 전해질의 흡수가 왕성한 부위에서 많이 이루어진다. 따라서 흡수

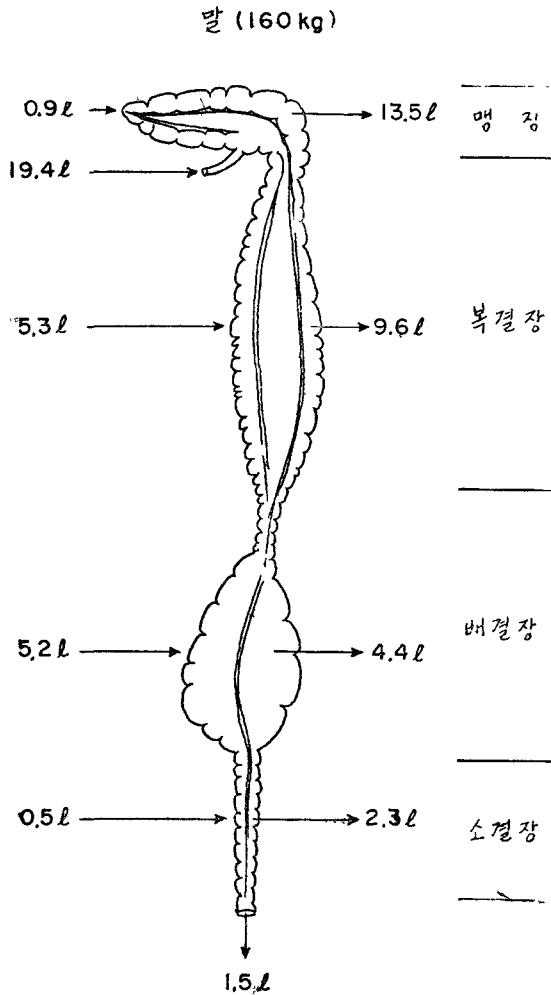
면적이 대단히 큰 소장을 우선 생각하여야 한다. 소장은 흡수에 있어서 필수불가결한 부위이며 그 표면적은 대단히 크다.¹⁹⁾ 이를테면 갓태어난 새끼 돼지는 소장의 길이가 4cm이지만 생후 10일까지 배시간 0.8cm 속도로 성장하는데 이때 장관의 내경이 0.5cm 라 하면 흡수면적은 0.094m²가 되고 주름과 용모의 면적을 고려하면 40배가 되므로 3.8m²가 되고 미세용모를 고려하면 30배가 되므로 체중 3kg(10일경)되는 돼지의 소장흡수면적은 114m²에 이른다. 이와 같은 예는 사람에서도 마찬가지로 소장의 흡수면적은 체표면적의 110배에 달하는 200m²에 이른다.²⁰⁾

고양이, 쥐, 토끼의 경우 물의 흡수가 소화관의 혈관내 용혈이 일어날 정도로 빨리되며 문맥혈액 헤모글로빈 함량이 3g/100ml 정도가 되기도 한다.¹⁹⁾ 이때 문맥에 있는 삼투수용기가 감지한 정보는 수입 미주신경을 거쳐 시상하부에 전달되어 ADH 분비를 조절하도록 한다.⁷⁾

사람 (75 kg)



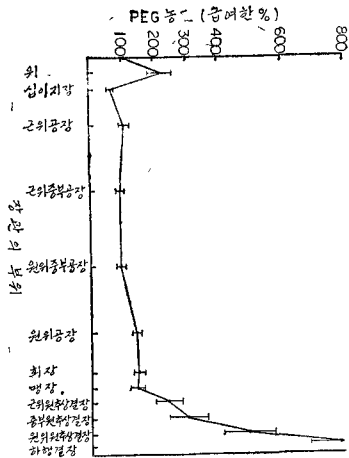
제 2 도 절식한 사람이 하루동안에 소화관에서 분비 흡수되는 수분 양



제 3 도 하루동안 말(체중 160kg)대장에서 수분 정미 이동량. 회장으로 부터 들어오는 양과 맹장과 결장에서 분비되는 양중 약 95%에 해당하는 30liter 가 흡수됨을 볼 수 있다.

몸무게가 70kg 되는 사람이 증류수 1리터를 마시면 1시간 이내에 거의 흡수되어 콩팥이 정상일 경우에는 2시간이면 수분이뇨 효과는 소멸된다. 이로 미루어 보면 예전에는 증류수를 마시면 설사를 한다고 하였으나 소화관의 흡수나 분비가 정상이고 자의적으로 마실 수 있는 양이라면 증류수를 마시더라도 설사를 유발하지 않는다. 제 2도에서처럼 사람과 같은 단위동물은 공장의 흡수가 가장 중요하며 소장에서 흡수되는 양(4.7리터)은 대장(결장 1.1리터)에 비하여 훨씬 많다.²⁷⁾

초식동물은 대장의 흡수도 대단하다. 제 3도에서처럼 말(체중 160kg)의 경우 소장에서 대장으로 들어오는 양(31.3리터)중 29.8리터가 맹장과 결장에서 흡수된다.²⁷⁾



제 4 도 액상으로 급여한 PEG의 소화관 강내에서의 평균농도 ±S.E. 횡축의 단위는 장관의 부위별 길이에 비례.

이러한 양은 세포의액량인 32리터(체중의 20%)에 버금가는 양이다. 이는 세포의액량과 혈압유지에 맹장과 결장이 중요하다는 사실을 말해 준다.²⁾ 또한 제 4도에서와 같이 새끼 돼지(5-8주령)에서 지시물질(PEG; polyethylene glycol)의 농도를 보면 소장에서 액체의 정미흡수는 소장 상부를 제외하면 별로 없었으며 결장에서의 흡수는 아주 많았다.¹⁹⁾ 이로 미루어 보아 어떤 종류 특히 초식동물에서는 결장에서의 흡수가 원만하지 않을 경우에는 치명적인 설사를 유발할 수 있다.²⁾ 하리증으로 죽는 동물의 대부분은 세균이나 바이러스와 같은 병원체 자체에 의한 것이 아니라 전해질이나 수분 손실로 탈수와 산증을 유발하고 쇼크에 이르게 된다.²⁸⁾

수분수지에 교란이 생긴다면 ?

우선 몸무게가 70kg인 사람을 모델로 생각하여 보자 이 사람의 체액량은 체중의 약 60%인 40리터이며 세포외액량은 이의 40%인 16리터이고 세포내액량은 60%인 24리터가 된다. ECF의 삼투적 활성물질 총량은 4,480 mosmol(16×280)이고 ICF에는 6,720mosmol(24×280)이다. 만약 이 사람이 갑자기 무뇨증이 되고 5% 포도당 용액 4리터를 정맥주사하였다고 가정하자. 이런 경우 포도당은 CO₂와 물로 분해되므로 열량을 생각하지 않는다면 증류수 4리터를 투여한 것과 같은 결과를 나타낸다. 즉 ECF와 ICF 공히 체액량은 10%씩 증가하고 삼투압은 양쪽 공히 10%씩 감소한다.⁶⁾ 즉 과잉으로 섭취된 물은 콩팥이 정상이면 희석된 다량의 오줌으로 배설되기 때문에 삼투압이 조절될 수 있으나 위의 예에서와 같이 콩팥이 기능을 발휘하지 못하면 저장성 확대(hypotonic expansion)를 보여 세포외액의 삼투압

은 물론 세포내액의 삼투압마저 낮아지게 된다. 만약 중추신경계 세포들마저 삼투압이 낮아지면 경련(수분중독)이 일어나고 더욱 심화되면 죽음에 이른다.²⁹⁾

이번에는 5% 포도당이 아닌 생리식염수를 정맥주사하였다고 가정하여 보자. 등장액을 정맥주사하였으므로 전체의 삼투압이 280mosmol/liter에는 변함이 없다. 세포막에는 Na 펌프가 있어 세포내액의 삼투압이 변화될 수 없으므로 세포내액량은 증가하지 않는다. 따라서 투여한 4리터는 세포외액에 머물게 되므로 세포외액량은 20리터가 된다.⁶⁾ 그리하여 혈장 단백질 농도나 헤마토크릿 값(혈액 중에 적혈구가 차지하는 용적)이 낮아지고 말초단의 수종이나 폐수종이 나타난다.²⁹⁾ 이러한 등장성 확대(isotonic expansion)는 콩팥의 소금 배설 작용에 장애가 있어서 Na⁺이 몸 밖으로 잘 나가지 못하는 경우에 볼 수 있다.

이제는 처음상태에서 총담관의 결석을 제거하기 위한 수술로 담즙 1.7리터를 잃었고 구토로 3리터, 설사로 3리터, 불감손실 및 콩팥으로 3리터의 체액을 잃었다. 이때 Na⁺ 870mEq/liter, K⁺ 240mEq/liter의 전해질 손실이 있었으나, 투여한 것은 경구적으로 3리터의 물뿐이었다. 이 경우 총수분량은 32.3리터(40-10.7+3)이며 총삼투물질 양은 8,980mosmol(11,200- <870+240> 2)이므로 체액의 삼투압은 278mosmol/liter (8,980/32.3)이다. 세포내액의 총삼투물질양은 6,720mosmol이고 세포내액의 삼투압은 278mosmol/liter 이므로 ICF 양은 24.1리터(6,720/278)가 되며 ECF 양은 8.2리터(32.3-24.1)가 된다. 즉 세포내액량은 정상에 가까우나 세포외액량은 거의 반에 달할 정도로 감소하였다.⁶⁾ 이러한 상태(탈수)에 이르게 되면 혈장의 교질삼투압이 증가하고 혈장량이 감소되어 순환장애가 뒤따른다.²⁹⁾ 더욱 탈수가 심하여 사람은 체중의 20%, 쥐는 30%, 개나 고양이는 40%, 조류는 50%, 지렁이는 60%의 수분 손실이 있으면 생명이 위협하다.¹⁰⁾

위의 예에서와 같이 수분과 전해질 평형은 세포외액량이 아주 중요한 역할을 한다. 낙타의 수분조절에서 이를 살펴보자. 사람은 사막에서 물을 먹지 않고 하루 밖에 견디지 못하는데 비하여 낙타는 1주일 동안이나 물을 마시지 않고도 사막을 걸을 수 있다. 따라서 예전에는 낙타는 물주머니를 갖고 있어서 한꺼번에 물을 많이 마시어 그 물주머니에 물을 저장하였다가 필요할 때 마다 조금씩 이용하는 것으로 믿어 왔으나 이는 아무런 근거가 없는 추측에 불과하다. 실은 낙타가 한꺼번에 이룰때면 탈수된 낙타가 10분 이내에 자기 체중의 30-33%⁶⁾에 해당하는 물을 마시는는 하나 물주머니를 가지고 있는 것은 아니고 이 물은 사료와 마찬가지로

제 1위로 들어간다. 낙타는 환경온도가 높아지면 체온을 37°C에서 41°C까지 높이어 환경온도와 체온과의 온도차를 줄임으로써 땀을 적게 흘리게 하여 수분손실을 줄인다. 반대로 환경온도가 낮아지면 체온을 37°C로 낮추어 체열의 발산을 도운다.²¹⁾ 한편 사람의 경우는 사막의 열기 속에서 체중의 5%만 탈수되어도 판단력은 흐려지고 10%에 이르면 정신착란이 되고 통각이 없어지며 12%에 이르면 열사병으로 죽음에 이른다. 그러나 낙타는 체중의 22%가 탈수되어도 사막을 걸을 수 있다. 이는 아마 심한 탈수에도 혈장량만은 비교적 일정하게 유지되어 혈액의 점성이 높아지는 것을 막아 심장에 부담을 주지 않는 것으로 믿어진다.

수분수지의 교란이 있으면 임상적으로도 판정할 수 있으나 혈장 단백질량과 헤마토크릿 값(PCV)을 동시에 측정하여 보는 것이 좋다. 즉 빈혈이 있을 때는 탈수가 되면 PCV는 정상범위에 있을 수 있고 저단백혈증이면 탈수로 혈장 단백질량이 정상범위의 값을 나타내기 때문이다.¹⁴⁾ 그러나 가장 정확한 방법은 혈액량(혹은 혈장량)을 측정하는 것이다.⁸⁾ 탈수시에는 전해질도 잃기 마련이므로 물만 투여하면 삼투압은 낮아지고 체내에서는 삼투압을 교정하기 위하여 희석된 오줌이나 땀으로 수분을 배설한다. 그러나 이때는 전해질의 손실이 따르게 마련이다. 이에 다시 물만 투여하면 삼투압은 더욱 낮아진다. 이러한 악순환이 계속되면 수분중독 상태에 이르게 된다. 이러한 예는 더운 여름철이나 무더운 환경에서 일을 많이 할 경우에 볼 수 있는 현상으로 반드시 전해질(최소한 소금)을 동시에 투여하여야 한다.

탈수된 동물이 있을 경우에는 수액요법을 실시해야 할 것인가? 어떤 종류의 용액을 사용할 것인가? 그 양은? 주입속도는? 투여경로는? 등을 결정한 후에 처치하여야 한다.

우리 말에 “손톱 밑에 가서 박힌 줄은 알아도 심장에 고름 잡힌 줄은 모른다”는 말이 있듯이 눈에 보이지 않는 큰 원인이 있으면 찾아 그에 대처하여야 할 것이다.

참 고 문 헌

1. Alexander, F. : The concentration of electrolytes in the alimentary tract of the rabbit, guinea pig, dog and cat. Res. Vet. Sci. (1965) 6 : 238.
2. Argenzio, R. A. : Physiology of diarrhea-large intestine. J. Am. Vet. Med. Ass., (1978) 173 : 667.
3. Bauman, J. W. and Chinard, F. P. : Renal function. Mosby, Saint Louis, (1975) pp. 33~34.
4. Bovee, K. C. : Urine osmolarity as a definitive.

- indicator of renal concentrating capacity. (1969) 155 : 30.
5. Burg, M.B. and Green, N. : Function of the thick ascending limb of Henle's loop. *Am. J. Physiol.* (1973) 224 : 659.
 6. Carroll, H.J. and Oh, M.S. : Water, electrolyte and acid-base metabolism. Lippincott, Philadelphia (1978) pp.27~31.
 7. Chwalbinska-Moneta, J. : Role of hepatic portal osmoreception in the control of ADH release. *Am. J. Physiol.* (1979) 236(6):E 603.
 8. Colline, R.D. : Illustrated manual of fluid and electrolyte disorders. Lippincott, Philadelphia (1976) p.77.
 9. Davenport, H.W. : Physiology of the digestive tract. Year Book Medical Publishers, Chicago (1971) pp.171~172.
 10. Deetjen, P., Boylan, J.W., Kramer, K. : Physiology of the kidney and of water balance. Springer-Verlag, New York (1975) pp.129~131.
 11. Dousa, T.P. : Renal handling of water. In Knox, F.G. (ed.) : Textbook of renal pathophysiology, Happer & Row, New York (1978)p.71.
 12. Dragstedt, L.R. and Ellis, J.C. : The fatal effect of the total loss of gastric juice. *Am. J. Physiol.* (1930) 93 : 407. Cited from 13.
 13. Finco, D.R. : Normal regulation of water, electrolyte, and acid-base metabolism. *J. Am. Animal Hosp. Ass.*, (1972) 8 : 147.
 14. Finco, D.R. : Fluid therapy-detecting deviations from normal. *J. Am. Animal Hosp. Ass.*, (1972) 8 : 155.
 15. Forster, R.P. : Comparative vertebrate physiology and renal concepts. In Handbook of physiology, Sec. 8. Renal physiology, American Physiological Society, Washington (1973) pp.162~164.
 16. Gellai, M., Edwards, B.R. and Valtin, H. : Urinary concentrating ability during dehydration in the absence of vasopressin. *Am. J. Physiol.* (1979) 237(2):F 100.
 17. Goldberger, E. : A primer of water, electrolyte and acid-base syndromes. Lea and Febiger, Philadelphia (1975) p.3.
 18. Green, R.A. : Perspectives of clinical osmometry. *Vet. Clin. Nor. Amer.* (1978) 8 : 287.
 19. Hamilton, D.E., Roe, W.E. : Electrolyte levels and net fluid and electrolyte movements in the gastrointestinal tract of weanling swine. *Can. J. Comp. Med.* (1977) 41 : 241.
 20. Henriques De Jesus, C., Smith, N. W. : Sodium transport by the small intestine of new-born and suckling pigs. *J. Physiol.* (1974) 243 : 211
 21. Houpt, T.R. : Water balance and excretion. In Swenson, M.J. (ed.) : Duke's physiology of domestic animals. Comstock, Ithaca (1977) pp. 445~448.
 22. Phillis, J.W. : Veterinary physiology. Saunders, Philadelphia (1976) p.478.
 23. Pitts, R.F. : Physiology of the kidney and body fluids. Year book medical, Publishers, Chicago (1968) p.22.
 24. Rose, B.D. : Clinical physiology of acid-base and electrolyte disorders. McGraw-Hill, New York (1977) pp. 71~76.
 25. Schmidt-Nielsen, K. : Animal physiology. Cambridge Uni. Press, London (1975) pp.371~372, 431~435.
 26. Schrier, R.W. and Berl. T. : Disorders of water metabolism. In Schrier, R.W. (ed.) : Renal and electrolyte disorders. Little, Brown, Boston (1976) pp.10~11.
 27. Sellers, A.F. : Water and electrolyte movements into and out of the digestive tract. In Swenson, M.J. (ed.) : Duke's physiology of domestic animals, Comstock, Ithaca (1977) pp. 247~249.
 28. Whipp, S.C. : Physiology of diarrhea-small intestine. *J. Am. Vet. Med. Ass.*, (1978) 173 : 662.
 29. White, A., Handler, P., Smith, E.L., Hill, R.L. and Lehman, L. R. : Principles of biochemistry. McGraw-Hill Kogakusha, Tokyo(1978) pp.1,016~1,022.
 30. Woodbury, D.M. : Physiology of body fluids. In Ruch, T.C. and Patton, H.D. (ed.) : Physiology and biophysics. Saunders, Philadelphia (1974) pp.458~459.
 31. 이영소 : 가축생리학, 문운당, 서울 (1976) pp. 285~286.