

# 항상성의 유지와 투석의 원리

최 명 애  
(서울대학교 의과대학 간호학과)

## 목 차

- I. 항상성의 유지
  - 1. 항상성
  - 2. 신장의 기능
  - 3. 항상성의 유지와 신장의 기능
- II. 투석의 원리
  - 1. 투석의 정의
  - 2. 투석의 이론적근거
  - 3. 투석막
  - 4. 투석액
  - 5. 반투막을 통한 물질이동
  - 6. 투석율
  - 7. 제거율

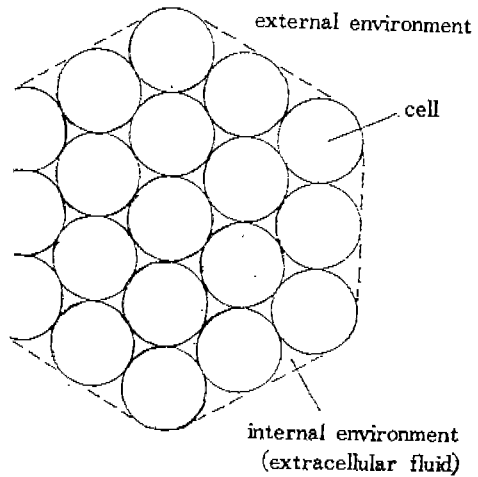


그림 1. 내환경

## I. 항상성의 유지

### 1. 항상성

세포가 살고 있는 환경은 인체주위의 환경(외 환경)이 아니라 세포를 둘러싸는 세포외액으로 내환경이라 하며(그림 1), 외환경의 변화에도 불구하고 내환경이 일정하게 유지되어 세포의 기능을 원활하게 한다. 세포의 기능은 세포외액의 안정된 물리화학적 조건에 좌우되므로 세포가 필요로 하는 산소와 영양물질을 외부환경으로부터 받아 끊임없이 공급하고 세포내에서 생성된 대사노폐물을 체외로 제거시켜야 한다.

항상성은 내환경이 비교적 일정하게 유지되는 성질로 세포환경의 기본조건이 되며 혈액과 간질액의 화학성분, 용적등이 좁은 범위내에서 일

정하게 유지되는 상태이다. 신장은 체내의 대사 산물인 노폐물을 배설하고 체액의 조성을 유지하기 위하여 수분을 배설한다. 즉 체액의 양, 삼투질 농도 및 산염기균형을 조절함으로써 내환경을 항상 일정하게 유지시키는데 기여하고 있다.

### 2. 신장의 기능

신장은 제11~12흉추 좌우에 위치하는 한쌍의 후복막장기이다. 양쪽신장에 존재하는 2백만개의 네프론(Nephron)은 신장의 기능적단위로 여과기인 사구체와 사구체에 이어진 신세뇨관으로 되어 있다(그림 2). 신장의 무게는 체중의 약 0.4~0.5%에 불과하나 실박출량의 25%가 신장을 관류하는데 이는 신장이 체내의 노폐물만을

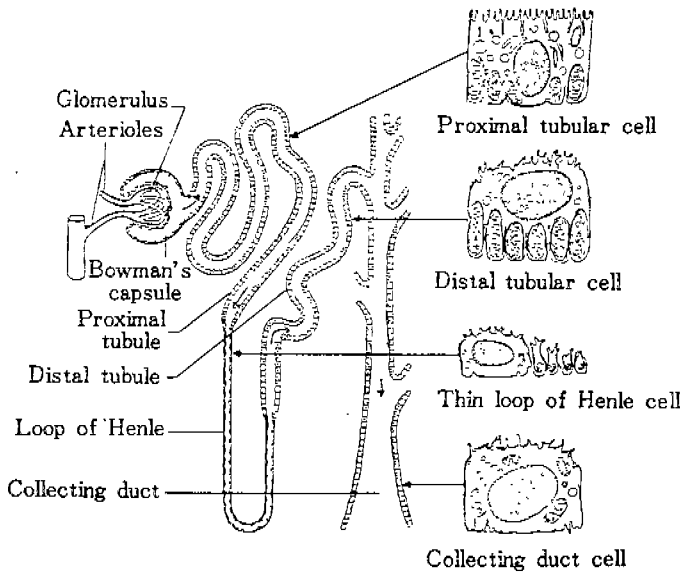


그림 2. 네프론

제거하는 기관이 아니라 수분 및 전해질량과 삼투질농도, 산염기균형을 조절함으로써 항상성유지에 중요한 역할을 수행하고 있기 때문이다.

신장의 기능은 다음과 같이 짐작시켜 볼 수 있다.

1) 수분균형의 조절과 전해질균형의 조절

세포외액은 외환경과 세포사이에 위치한 중간매체로서 세포외액의 어떤물질농도의 변화는 두 방향으로의 물질이동의 변화로 일어난다. 즉 세포외액의  $K^+$  농도가 낮아지면 세포내에서 세포밖으로  $K^+$ 이 나오는데 이는  $K^+$ 이 세포내 혹은 뼈속에 상당량 저장되어있기 때문이다. 그러나 체내함유량의 부족 혹은 과잉은 외환경과의 교환으로 즉 섭취나 배설을 변화시켜 회복되어야 한다. 내환경을 구성하는 수분,  $Na^+$ ,  $K^+$ ,  $Cl^-$ ,  $Ca^{++}$ ,  $Mg^{++}$ ,  $SO_4^{--}$ ,  $PO_4^{--}$ ,  $H^+$  이온등의 균형이 신장에 의해 조절되므로 수분균형의 조절, 전해질균형의 조절, 산염기균형의 조절이 이루어진다.

2) 대사산물의 배설

단백질대사에 의해 매일 약 30 gm의 요소(urea)가 생산되고 핵산대사에 의해 뇨산(uric acid), 근육의 크레아틴대사에 의한 크레아티닌

(creatinine), 적혈구파괴에 의한 빌리루빈(bilirubin), 호르몬의 대사산물등이 생성되나 이러한 물질들이 신장을 통해 제거된다. 신장기능의 이상으로 요소이외의 노폐물이 축적되면 신체기능의 장애를 초래한다.

3) 이물질의 배설

이물화합물(foreign chemicals)인 약물, 살충제, 식품첨가물 등과 이들의 대사산물이 신장으로 배설된다.

4) 동맥혈압의 조절

신장은 동맥혈압의 조절에 밀접하게 관여한다. 첫째로  $Na$ 균형을 조절한다.  $Na$ 균형은 세포의 액량, 혈장량, 심박출량과 혈압을 결정한다. 둘째 renin-angiotensin계의 내분비 기관으로서 동맥혈압을 조절한다. 레닌(renin)은 단백질 분해 효소이며 사구체옆기구(juxtaglomerular apparatus)의 과립세포에서 생산분비된다.

5) 적혈구생산의 조절

신조혈인자(renal erythropoietic factor)를 분비한다. 이 호르몬은 골수에서 적혈구생산을 조절한다. 빈혈, 저산소증, 신혈류량감소를 동반하는 저혈압에서 산소공급이 줄게 되면 이 호르몬분비가 촉진된다. 신조혈인자는 혈장 글로불린(globulin)에 대한 분해효소이며 이로부터 erythropoietin을 만든다. 이것이 골수를 자극하여 적혈구생산을 촉진시킨다.

6) 비타민D를 활성형( $1, 25-D_3$ )으로 만든다.

$1, 25-D_3$  존재하에 장에서 칼슘( $Ca^{++}$ )이 흡수될 수 있다.

7) 포도당신생(gluconeogenesis)

장기간 단식하면 아미노산에서 포도당을 합성하여 혈중으로 분비하므로 간과같은 포도당신생작용이 있다.

3. 항상성 유지와 신장의 기능

신장이 체액내의 불필요한 물질을 체외로 제거하고 체액의 조성을 일정하게 유지시키기 위해 신장으로 들어온 혈장의 20%를 사구체에서 여과한 후 여과된 액체중에서 체내에 필요한 물질만 세뇨관에서 재흡수하고 나머지를 소변으로

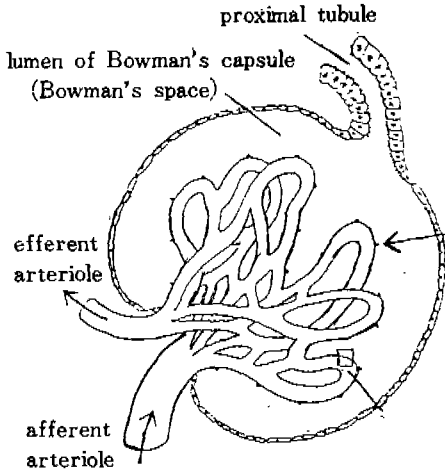


그림 3. 사구체

배설한다. 사구체에서 여과되지 않은 혈장내에 포함되어 있는 불필요한 물질은 혈액이 세뇨관 주위를 흐를때 세뇨관세포에 의해 요중으로 분리된다. 체외로 배설되는 소변은 신장이 신장의 기능을 수행한결과 생산된 부산물이다.

세뇨관에서 소변이 형성되려면 우선 혈액으로부터 수분, 노폐물, 기타 요를 구성하는 물질들이 세뇨관강내로 이동해 들어와야 하는데 이러한 물질의 이동은 사구체모세혈관벽을 통해 보우만씨주머니속으로 혈장성분이 여과되어 들어옴으로써 시작된다(그림 3). 사구체에서 혈장성분이 선택적으로 여과되는 것은 사구체 모세혈관벽의 구조적특성 즉 사구체 모세혈관벽에는 직경이 약 70~100Å 정도의 구멍(pore)이 다량 존재하는데 혈액이 사구체를 통과할 때 그 성분중 직경이 70Å 이하의 작은 물질만이 여과되게 된다. 따라서 물(직경 2Å), 요소(직경 3.2Å), Na<sup>+</sup>(직경 4Å), Cl<sup>-</sup>(직경 3.5Å), 포도당(직경 7Å) 등 작은분자는 여과되나 적혈구(직경 8,000 Å)나 단백질같은 큰물질은 여과되지 않는다. 매분 사구체에서 여과되는 액체량을 사구체 여과율이라 하는데 그 값은 성인남자에서 약 125ml/min, 여자에서는 약 110 ml/min이다. 안정시 신장으로 들어오는 총혈장량이 매분 약 600 ml 정도이므로 그 중 약 20%가 사구체에서 여과된다. 근위세뇨관에서는 사구체에서 여과된 물질

중 체내에 필요한 것은 어느 것이나 거의 대부분 재흡수된다. Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup>, Cl<sup>-</sup>, HCO<sub>3</sub><sup>-</sup>, PO<sub>4</sub><sup>3-</sup>, SO<sub>4</sub><sup>2-</sup> 등 전해질과 물은 여과량의 70% 이상이, 포도당, 아미노산등 영양물질은 거의 100%가 근위세뇨관에서 재흡수된다. 헨레씨고리 상행각은 NaCl 재흡수에도 기여한다.

유기산과 유기염기의 분비는 근위세뇨관에서만 일어나며 H<sup>+</sup>, 암모니아의 분비도 근위세뇨관에서 일어난다. 헨레씨고리는 수질조직의 삼투압을 높혀 체액의 삼투질농도조절을 위한 기반을 마련하며 원위세뇨관과 집합관은 Na<sup>+</sup>, K<sup>+</sup>, Ca<sup>2+</sup>, Mg<sup>2+</sup> 배설의 최종적인 조절을 하며 H<sup>+</sup> 분비, 삼투질농도 조절에 참여한다.

사구체여과는 물리적인 과정으로 혈압에 의해 혈장성분중 분자량이 작은 물질들은 어느 것이나 사구체 모세 혈관벽을 통하여 신세뇨관내로 이동되는 과정으로 선택성이 없다.

신세뇨관 재흡수는 극히 선택적인 과정으로 여과된 물질중 필요한만큼 재흡수함으로써 체내 영양물질의 손실을 방지하며 수분 및 전해질량을 조절한다.

세뇨관분비도 선택적인 과정으로서 혈액내에

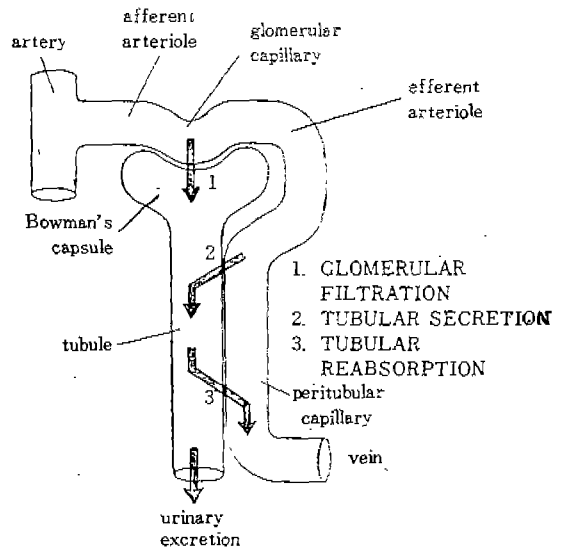


그림 4. 신장기능의 기본과정

특집 : 생명기기와 간호 IV

있는 불필요한 물질만을 세뇨관 세포를 통하여 노중으로 이동시킨다. 이와같이 신장은 여과, 세뇨관 재흡수 및 분비기전에 의해 체액의 조성을 일정하게 유지시키는데 기여하고 있다(그림 4).

요는 사구체여과, 세뇨관재흡수 및 분비의 기본과정에 의해 형성되나 물질에 따라 그것이 혈장으로부터 제거되어 노중으로 배설되기까지 거치는 과정과 제거되는율이 각기 다르다. 만약 물질 A가 사구체에서 여과된후 재흡수되지 않고 세뇨관세포에서 다른 물질로 대사되지 않는다면 여과된양 전부가 노중으로 배설될 것이다. 만일 이물질이 세뇨관에서 분비되지 않는다면 이물질의 요중배설은 사구체여과를 통해서만 이루어질 것이므로 요중배설량은 항상 사구체에서 여과된 양과 동일하다. 즉 여과된 양=배설된 양, 여과된 양은 사구체에서 여과되는 혈장량 즉 사구체 여과율(glomerular filtration rate, GFR)과 혈장내 A의 농도( $P_A$ , mg/ml)의 곱이며 배설량은 요중 A의 농도(mg/ml)와 요량( $V$ , ml/min)의 곱이므로  $GFR \cdot P_A = U_A \cdot V$

$$GFR = \frac{U_A \cdot V}{P_A} \text{이다.}$$

이 식은 사구체에서 여과된 혈장내에 포함되어 있는 A물질은 전부 요중으로 배설됨을 나타낸다. 따라서 위식의 우항은 매분 요중으로 배설되는 A물질량이 혈장 몇 ml에 포함된 양과 같은지를 나타내는데 이를 A물질의 청소율(clearance)라하며 약해서  $C_A$ 로 표시한다.

$$C_A = \frac{\text{A물질의 요중배설율}}{\text{A물질의 혈장내농도}} = \frac{U_A \cdot V}{P_A}$$

청소율은 ml/min 혹은 l/day 등의 단위로 표시되는데 만약 어떤 물질 X의 청소율이 100ml/min이라면 이는 매분 요중으로 제거되는 X의 양이 혈장 100ml에 들어있는 X의 양에 해당함을 의미한다. 즉 매분 신장에 들어오는 혈액중 100ml의 혈장이 그속에 포함된 X를 전부 요중으로 제거한 것과 같다. 그러므로 청소율은 단위시간에 요중으로 배설되는 어떤 물질의 양이 혈장 몇 ml에 들어있는 양과 같은지를 나타내는 개념과 같다.

Inulin과 같이 사구체에서 여과된 양과 요중으로

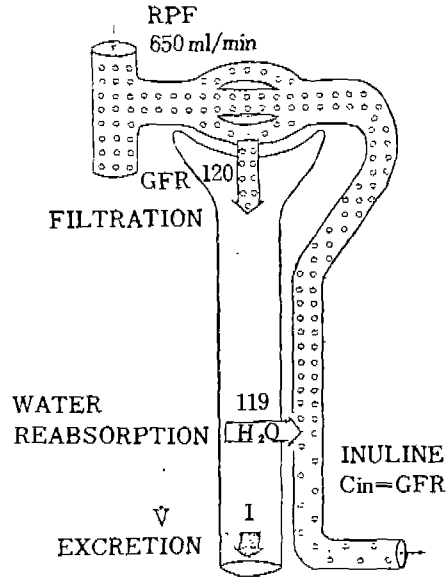


그림 5. inulin 청소율

로 배설되는 양이 같을때 그 청소율이 GFR과 같지만(그림 5) 여과된 후 그 일부가 재흡수되거나 세뇨관에서 분비되기도 하는 물질의 청소율은 GFR과 같지않다. 포도당과 같은 물질은 혈장성분이 사구체에서 여과될 때 함께 여과되나 정상인에서는 거의 전부 세뇨관에서 재흡수

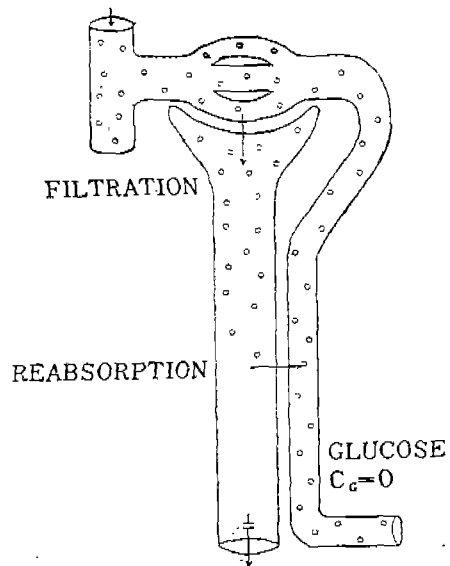


그림 6. 포도당의 청소율

되어 다시 혈액내로 들어가므로 결과적으로 포도당은 혈장으로부터 제거되지 않게되고 포도당의 청소율은 0가 된다(그림 6).

크레아티닌은 근육내의 creatine phosphate 대사결과 생성된 물질로 정상인에서는 비교적 일정한 속도로 근육으로부터 유리되고 있으므로 혈장내 크레아티닌농도는 항상 10mg/l 정도로 유지된다. 크레아티닌은 inulin과 같이 사구체에서 자유롭게 여과되며 여과된후 재흡수되거나 대사되지 않는다.

혈액내의 크레아티닌은 신장을 통해서만 체외로 배설되므로 크레아티닌의 요중배설율은 체내의 크레아티닌 생성율과 동일하다. 그런데 크레아티닌의 요중배설은 주로 사구체여과에 의해 좌우되므로 사구체에서 여과되는 크레아티닌량은 체내에서 생성되는 양과 거의 같다. 즉 크레아티닌 여과량( $P_{Cr} \cdot GFR$ ) = 크레아티닌 생성량

$$P_{Cr} \cdot GFR = K$$

즉 혈장내 크레아티닌 농도는 GFR에 반비례한다(그림 7).

요소(urea)도 주로 사구체여과에 의해 배설되므로 요소의 혈장내농도는 사구체여과율과 반비례한다.

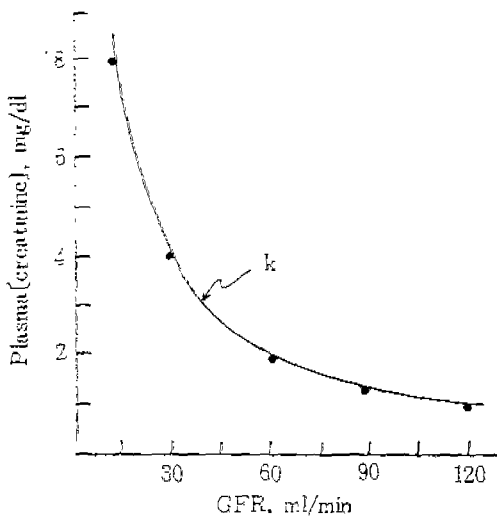


그림 7. 사구체 여과율과 혈장내 크레아티닌농도간의 상관성

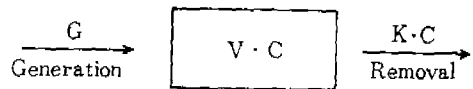
## II. 투석의 원리

### 1. 투석의 정의

투석은 신장질환이나 손상에 의해 체내에 축적된 수분과 노폐물을 혈액으로부터 제거하는 것으로 신장의 배설기능을 대신 수행하는 것이다. 수분을 제거하고 확산작용으로 전해질의 균형을 맞추며 산염기균형을 교정하여 혈액중의 필요없는 요소질소와 크레아티닌등의 노폐물을 제거한다. 투석으로 인체의 신장과 동일한 작용을 할 수 없고 투석으로서의 작용에 국한된다.

### 2. 투석의 이론적 근거

음식물의 섭취나 단백질의 대사산물로 용질이 생성되는데 용질의 투입률을 생성률( $G$ )이라고 하며 용질의 제거는 투석요법과 잔존하는 신기능의 청소능에 의해 결정된다. 용질의 축적은 투입과 제거의 균형에 의한다(그림 8). 요소가 총수분량과 동일한 단일신체공간에 균등하게 분포한다고 가정한다면 요소의 축적은 생성과 제거의 균형으로 초래되며 간헐적 및 지속적 투석요법에 따른 요소치의 변화는 그림 9와 같다. 간헐적인 치료를 받는 경우 주기내 어떤 시점에서의 요소농도( $C$ )는 6가지 변수——분포용적  $V$ , 생성율  $G$ , 투석기의 청소율  $K_D$ , 잔존하는 신기능  $K$ , 투석시간  $t$ , 투석간의 시간  $\theta$ 로 결



$$\text{Accumulation} = \text{Generation} - \text{Removal}$$

$$\frac{d(V \cdot C)}{dt} = G - K \cdot C$$

그림 8. 단일 신체공간내 용질의 축적

$G$ : 용질의 생성율  $C$ : 용질의 농도

$V$ : 분포용적  $K$ : 청소율

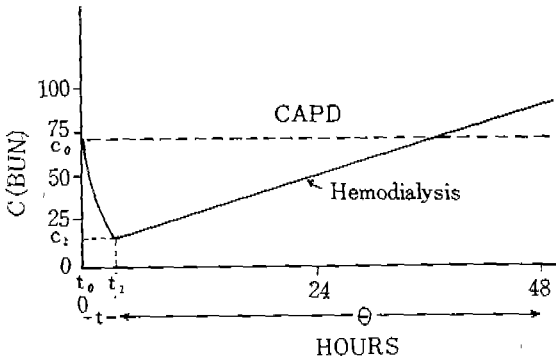


그림 9. 간헐적, 지속적 투석요법에 따른 요소치의 변화  
 CAPD : 지속적 복막투석  
 Hemodialysis : 간헐적 혈액투석

정된다. 즉  $G, t, \theta, K_D$ 를 조절함으로써 요소치를 조절할 수 있다. 지속적인 투석요법에서는 요소농도는  $V, G, t, K_D, K_r$ 에 의해 결정되며 복막의 청소율  $K_D$ 는 환자마다 거의 일정하므로 교환시 사용되는 투석액의 용적에 의해 요소치를 변화시킨다. 즉  $G, t$ 를 조정함으로써 요소치를 유지시킨다.

### 3. 투석막

투석막은 반투막으로 두께가 12~15 $\mu$ 이며 표면에 무수히 많은 50 $\text{\AA}$  정도의 구멍이 있어 구멍보다 작은 입자는 통과시키고 큰 입자는 통과시키지 못한다. 입자의 크기가 반투막의 구멍보다 작은 대부분의 노폐물이나 수분은 혈액에서 투석액중으로 쉽게 흘러나오게 되나 입자의 크기가 큰 혈구나 단백질분자 등은 혈액에서 제거되지 않는다.

혈액투석의 경우 인공신장이라는 cellophane, cupraphane 같은 인공적인 반투막이 사용되고 있고 복막투석의 경우 복막이 반투막으로 이용되고 있다. 복막은 복강내장기와 체벽을 둘러싸고 있는 이중의 막으로 막표면에 많은 모세혈관이 분포되어 있어 반투막의 기능을 갖고 있다. 복막은 인공신장의 반투막보다 더 큰 구멍을 가

지고 있어 분자량이 큰 노폐물 까지도 제거시킬 수 있다.

### 4. 투석액

투석액의 성분은 정상 혈장과 동일해야 하나 아미노산, 비타민 등은 가격면에서 한계가 있어 전해질을 중심으로 구성되어 있다. 낮은 농도의 Na,  $\text{NaHCO}_3$ ,  $\text{CaCl}_2$ , KCl,  $\text{MgCl}_2$  등이 이용되며 삼투압을 조절하기 위해 포도당을 첨가한다.  $\text{HCO}_3^-$ 를 사용한 경우는 pH를 조절하기 위해 유산을 가하고 투석중에는  $\text{CO}_2$  가스를 통하게 한다. 전해질의 농도는  $\text{Na}^+$  125~135mEq/L,  $\text{K}^+$  2mEq/L,  $\text{Ca}^{++}$  2.5mEq/L,  $\text{Mg}^{++}$  1.0~1.5mEq/L이다.

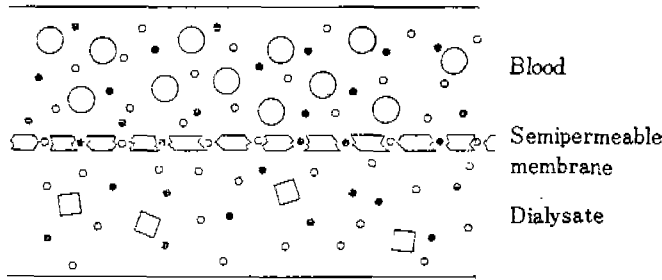
복막투석액은 투석에 의해 손실될 경향이 있는 인체에 필요한 물질의 조절을 위해 투석액내 물질이—Ca, Na, Cl—체액보다 높게 또는 비슷한 농도로 포함되어 있고 환자의 혈액속에 너무 많이 포함되어 있는 K,  $\text{PO}_4$  등의 제거를 위해 투석액내 이들의 농도를 낮추거나 포함시키지 않는다. pH 조절을 위해 초산염이나 유산염을 포함시키고 과잉수분을 제거하기 위해 혈액보다 높은농도의 포도당이 첨가되어 있다.

### 5. 반투막을 통한 물질이동

투석중 노폐물제거는 확산을 통해 일어나고 수분의 제거는 복막투석의 경우 삼투압 차이로 혈액투석의 경우는 정수압차에 의해 일어난다.

#### 1) 확산

용액내의 모든 분자들은 일정한 움직임을 갖고 골고루 퍼지려는 성질을 지니고 있어 반투막의 양쪽에 분자의 농도차가 생기면 농도가 높은 쪽에서 낮은쪽으로 분자가 이동한다(그림 10). 투석에서 노폐물의 제거는 확산을 이용한 것으로 혈액중 높은 농도로 존재하는 노폐물이 반투막을 통하여 노폐물이 함유되지 않거나 농도가 낮은 투석액중으로 빠져나오게 하므로 체외로 제거된다(그림 11). 이때 인체에 필요하나 분자의 크기가 작아 소실될 경향이 있는 물질은 정상혈장과 거의같은 농도를 투석액내에 함유시켜



- ↑ ↓ Ions ( $\text{Na}^+$ ,  $\text{K}^+$ ,  $\text{Cl}^-$ ,  $\text{HCO}_3^-$ , and others) move both directions to maintain equal concentrations
- RBC, WBC, proteins do not cross intact membrane
- Urea and other wastes move to area of lower concentration
- Bacteria, if present, will not cross membrane

그림10. 반투막을 통한 확산

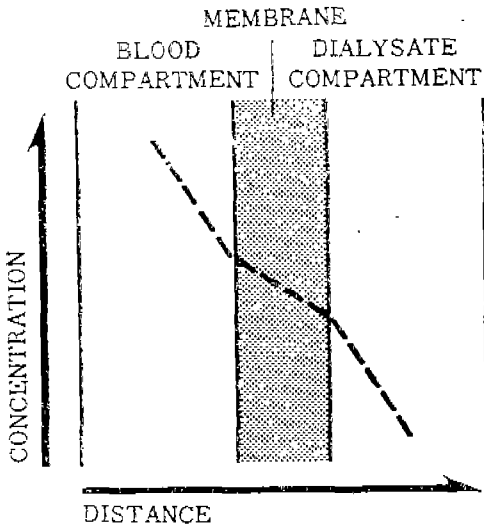


그림 11.

체의 제거를 방지하고 혈액속에 모자라는 물질 즉 칼슘이나 중탄산( $\text{HCO}_3^-$ ) 등은 투석액내에 농도를 높게 유지시켜 투석액으로부터 혈액으로 이동되게 한다.

2) 삼투

용액은 물과 용질로 구성되어 있고 용질 분자의 수가 많을수록 용액의 삼투압이 높아진다. 물분자는 작아서 반투막의 구성을 자유롭게 통과하므로 반투막을 사이에 두고 막양쪽에 삼투압의 차이가 있을 때 물은 삼투압이 낮은쪽으로

부터 높은쪽용액으로 반투막을 통하여 양쪽의 삼투압이 평형에 이를때까지 이동한다.

복막투석에서는 투석액속에 포도당을 첨가하여 혈액보다 삼투압을 높여줌으로써 과잉으로 축적된 수분을 제거한다.

3) 수분의 여과

정수압이 높은곳에서 낮은곳으로 물이 이동한다. 혈액투석의 경우 혈액과 투석액내의 압력을 조절함으로써 정수압이 높은 혈액에서 정수압이 낮은 투석액으로 수분이 이동된다.

용액의 온도가 높아지면 확산과 삼투의 속도가 커지며 혈류속도는 농도경사, 삼투경사, 압력경사에 영향을 미친다. 반투막을 통해 혈액과 투석액이 접하는 시간이 길수록 구멍을 통해 이동되는 물질의 농도가 막의 양쪽에서 같아진다.

반투막을 통과할 수 있는 입자의 크기는 3000 ~5000 이하의 분자량으로서 분자량이 작은 크레아티닌, 요산, 암모니아, phenol, indol, 인산염, 황산염 등의 대사산물이 제거된다.

투석액을 이상적인 전해질조성으로 해놓으면 반투막을 통해 혈액중에 과잉으로 축적된 전해질 K, P 등은 투석액 쪽으로 이동되고 혈액중에 부족한 것은 혈액쪽으로 이동한다.

중탄산( $\text{HCO}_3^-$ ), 유산등은 혈액으로 이동하여 산염기균형을 교정한다(그림 12).

투석액의 삼투압을 혈액보다 높여주면 수분이

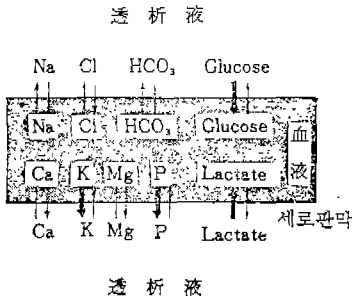


그림 12.

제거되며 투석액에 포도당을 첨가하여 삼투압을 높여준다.

### 6. 투석률

투석률은 어떤 물질의 혈액과 투석액의 단위 농도경사당 혈액과 투석액간에 1분동안 교환되는 속도이다.

투석률의 공식은 다음과 같다.

$$D = \frac{A - V}{A - B} Qb$$

$D$  : 투석률 (ml/min)

$A$  : 동맥측농도

$B$  : 투석액농도

$V$  : 정맥측농도

$Qb$  : 혈액량 (ml/min)

투석률은 혈액량, 막면적, 막투과성에 비례하며 부수적으로 투석액유량, 혈액과 투석액의 물질의 농도경사, 확산성, 온도에도 좌우된다.

반투막을 통과하는 용질은 막표면의 구멍 (pore)의 직경과 용질의 분자량, 형태, 전하 (charge)에 따라 달라진다. 요소를 1로 했을 경우 다른 물질의 비교투석률은 다음과 같다.

Cl <sup>-</sup>	1.3	요소(urea)	1.0
Na <sup>+</sup>	0.78	K	1.0
크레아티닌(creatinine)			0.56
요산	0.45	포도당(glucose)	0.40

### 7. 제거율

투석기를 1회 통과한 혈액량에서 제거되어진 물질의 비율로 나타낸다. 예를들면 투석기의 용량을 1L로 하고 유입되는 혈액내의 요소농도가 100mg/dl 유출되는 혈액내의 농도가 90mg/dl라 한다면 1L의 혈액은 1000mg의 요소로부터 100mg 제거되어 제거율은 100mg/1000mg 즉 10%이다.

### 참 고 문 헌

1. 강두희, 생리학, 신광출판사, 1985.
2. 김우결외 3인, 생리학, 서영출판사, 1986.
3. 이정상, 이재승역, 투석요법의 실제, 고려의학 1981.
4. Brundage, D.J., Nursing Management of Renal Problems, 2nd ed., St. Louis, C.V. Mosby Comp., 1980.
5. Cogan, M.G. and Garovoy, M.R., Introduction to Dialysis, New York, Churchill Livingstone, 1985.
6. Clarke, D.B. and Earnes, A.D., Intensive Care for Nurses, 2nd ed., Oxford, Blackwell Scientific Publication, 1975.
7. Nolph, K.D., Peritoneal Dialysis, London, Martinus Nijhoff Publishers, 1981.
8. Schmidt, R.F. and Thews, G., Human Physiology, Berlin, Springer-Verlag, 1983.
9. Vander, A.J., Renal Physiology, 2nd ed., New York, McGraw-Hill Book Comp., 1980.
10. Vander, A.J., Sherman, J.H. and Luciano, D.S., Human Physiology, 3rd ed., New York, McGraw-Hill Book Comp., 1980.
11. Weinreb, E.L., Anatomy and Physiology, Reading, Addison-Wesley publishing Co., 1984.
12. 김교순. 소아만성신부전증에 대한 투석 요법의 실제, 소아과, 30(4) : 361~369, 1987.