

소아 급성 신부전증의 신장 대체 요법

성균관대학교 의과대학 소아과학교실

백 경 훈

Renal replacement therapy in children with acute renal failure

Kyung Hoon Paik, M.D.

Department of Pediatrics, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine
Seoul, Korea

Many dialysis modalities such as peritoneal dialysis (PD), hemodialysis (HD) and continuous hemofiltration or hemodialysis (CRRT) are available for the management of pediatric patients with acute renal failure (ARF). PD is a relatively simple, inexpensive modality and can be used in hemodynamically unstable patients. But, it may not be the optimal therapy for patients with severe volume overload or life threatening hyperkalemia. HD is the preferred modality for the treatment of severe volume overload, severe hyperkalemia, but it needs vascular access. Improvements in the HD equipment have allowed HD to be performed in small children. Recent technological improvements in CRRT therapies have enabled pediatric patients who are less stable to be treated. CRRT is becoming the preferred method of acute therapy in pediatric intensive care units. A sound knowledge of the underlying principles of dialysis and awareness of recent technological advancements in different dialysis modalities will hopefully result in improved management of children with ARF. (**Korean J Pediatr 2007; 50:938-947**)

Key Words : Acute renal failure, Children, Hemodialysis, Peritoneal dialysis, Continuous renal replacement therapy

서 론

소아에서 심각한 급성 신부전증으로 투석 치료를 하는 경우 (10만명당 3.7례)는 성인(10만명당 17.2례) 보다 적지만¹⁾, 신생아와 영아에서의 급성 신부전으로 인한 투석의 빈도는 높다(10만명당 19.7례)¹⁾. 투석 기술의 발전에도 불구하고 아직도 소아에서 급성 신부전증으로 인한 사망률은 높은 편이다. 최근의 보고들에 의하면 투석을 필요로 하는 소아의 급성 신부전증의 사망률은 35-73%로 어른(22-47%)에 비하여 높은 편이다²⁾. 이것은 이전보다 더 위중한 상태의 소아에게도 투석을 많이 적용하게 된 사실에도 영향이 있는 것으로 보인다. 급성신부전에 의한 사망률은 패혈증, 심장 수술, 다장기 부전 등과 같은 기저 질환에 주로 영향을 받고 순수한 급성 신부전의 예후는 좋은 편이다.

투석 치료의 적응증

소아 급성 신부전 환자에서 일반적인 투석의 적응증(Table 1)은 수분과잉으로 인한 고혈압이나 심부전, 고칼륨혈증, 고인산혈증, 산중 등이 보존적 치료로 해결되지 않을 때이다²⁾. 이 적응증들은 절대적인 것은 아니며 투석 시행의 결정은 각각의 환자에서 임상적인 증상을 악화시키는 이상 징후의 악화 되는 속도에 영향을 받는다. 단지 고질소혈증 등의 혈액 검사 결과가 중요하지 않은 경우도 있으며, 때로는 적응증의 기준에 못 미치더라도 일반적인 치료로 호전되지 않을 때 투석을 시행하기도 한다. 또한, 중앙 용해 증후군(tumor lysis syndrome), 용혈, 고이화 상태 등의 기저 질환들이 투석의 시행 결정에 중요한 영향을 준다. 혈액의 요소질소(BUN), 크레아티닌 농도의 정상치는 어린 소아에서 낮기 때문에 어린 소아에서는 성인보다 낮은 기준에서 투석이 시작되어야 한다²⁾.

접수: 2007년 8월 16일, 승인: 2007년 9월 5일

책임저자: 백경훈, 성균관대학교 의과대학 소아과학교실

Correspondence: Kyung Hoon Paik, M.D.

Tel: 02)3410-1284 Fax: 02)3410-0043

E-mail: drwhite@skku.edu

투석 방법의 결정

급성 신부전 치료에 이용할 수 있는 투석 방법으로는 복막 투석, 간헐적 혈액 투석, CRRT 등이 있다. 투석 방법의 결정은 기저 질환, 환자의 크기, 혈류역학적 안정성, 투석의 목적, 이전 복부 수술 병력, 복막 손상 유무, 혈관 확보의 용이성 등을 종합적으로 검토하여 이루어진다. 각 투석 방법에는 장단점이 있지만 각 병원의 시설, 소아 신장 전문의의 선호도, 경험 등이 아직까지 투석 방법의 결정에 중요한 영향을 준다.

혈액 투석

1. 적응증

혈액 투석은 심한 체액 과다, 급성 중독, 선천성 대사 이상 질환, 심한 고칼륨혈증 등에서 급속히 용질 제거와 초여과(ultrafiltration)를 해야 할 경우에 효과적인 투석 방법이다. 하지만 짧은 시간에 많은 양의 수분을 제거하게 되는 간헐적 혈액 투석에서 환자가 견디는 것에는 한계가 있기 때문에 급성 신부전 환자에서 간헐적 혈액 투석을 시행할 경우에는 어느 정도의 수분제한이 필수적이다. 특히 혈압이 낮은 환자에서 초여과양에는 한계가 있기에 복막 투석이나 CRRT이 필요하게 되기도 한다. 혈액 투석은 투석액의 조성을 변화시킴으로써 고나트륨혈증과 같은 전해질 이상의 교정에도 사용될 수 있다. 이전에 소아에서는 작은 체중과 혈관 확보의 어려움으로 시행하기가 어려웠으나 최근에는 혈액 투석 장비의 발전으로 2 kg의 소아까지 시행이 가능하게 되었다³⁾. 하지만 영아와 작은 소아(2세 이하)에서 투석의 합병증(투석불균형 증후군 등)을 예방하기 위해서는 잘 훈련된 인력이 필요한 단점이 있다. 혈액 투석은 최근의 복부 수술, 복부 배액(abdominal drain), 심한 호흡기계 질환 등으로 복막 투석이 불가능한 환자에서 적응이 된다.

2. 혈액 투석의 생리

혈액과 투석액 사이의 반투막에 의해 생기는 용질의 농도차에 의해 용질의 이동이 일어나는 확산(diffusion)과 두 용액간 정수압(hydrostatic pressure) 차이에 의해 수분의 이동이 일어나는 초여과(ultrafiltration)가 혈액투석의 주기전이다. 확산의 정도는

용질의 분자량과 투석막의 저항에 영향을 받는다. 혈액으로부터 용질의 제거율은 혈류속도, 투석액 속도, 투석기의 효율(efficiency of the dialyzer)에 의해 결정된다. 실제 투석시에는 요소청소율이 중요한데, 작은 투석기일수록 낮은 혈류속도에서 요소청소율이 plateau에 도달하므로 큰 소아에서 큰 요소 청소율을 얻기 위해서는 큰 투석기가 필요하다(Table 2). 작은 소아에서는 요소 청소율만을 고려한다면 모든 투석기를 사용할 수 있겠으나 작은 소아에서는 체외순환혈액 양이 작아야 하므로 필요한 요소 청소율을 얻을 수 있는 투석기 중 가장 작은 용적의 투석기를 선택하게 된다. 또, 100 mL/min 미만의 낮은 혈류 속도에서는 혈류속도가 초여과율에 영향을 미친다는 점을 고려해야 한다. 초여과율은 막사이의 압력(transmembrane pressure)과 투석기(dialyzer)의 초여과계수(ultrafiltration coefficient, Kuf)에 의해 결정된다.

3. 혈액 투석 장비

소아 혈액 투석을 위해서는 소아의 크기에 맞게 혈류속도를 정확하게 조절할 수 있고 수분 제거량을 정확하게 조절할 수 있는 펌프를 가진 투석 기계가 필요하다. 투석기와 혈액 라인인 소아의 크기와 해당 소아의 혈관내 용적(80 mL/kg for neonate, 70 mL/kg for children more than 10 kg)에 따라 선택되어 진다. 체외순환 혈액량은 환자의 혈액량의 10%를 초과하면 안된다⁴⁾. 체외혈액순환량은 투석기 용적과 혈액라인의 용적을 합하여 구한다(Table 2). 각 제품별로 용적이 다르므로 확인해야 한다. 체외순환혈액 양이 환자 혈액량의 10%를 초과하면 투석기와 혈액 라인을 혈액으로 priming해야 한다. 혈액으로 priming할 경우 고칼륨혈증을 유발할 위험성에 대해 생각해야 하며⁴⁾,

Table 2. Dialyzer for Neonate, Infant and Children

	100HG	CA50	CA70	GF γ Plus 12
Surface area (m ²)	0.22	0.5	0.7	1.3
Priming volume (mL)	18	35	45	65
Kuf (mL/hr, mmHg)	2.1	2.5	3.6	7.1
Curea (mL/min)				
At Q _B 100 mL/min	76	89	94	100
200 mL/min	106	130	148	184

Abbreviations : Kur, ultrafiltration coefficient; Curea, urea clearance; Q_B, blood flow rate

Table 1. Indications for Dialysis in Children with Acute Renal Failure

Fluid overload with hypertension, congestive heart failure, or pulmonary edema that is refractory to diuretic therapy
Hyperkalemia (serum [K ⁺] >7.0 mEq/L)
Severe intractable acidosis (venous pH <7.0)
Hypo- or hypernatremia, hypocalcemia, hyperphosphatemia
Hyperuricemia (serum uric acid >15 mg/dL)
Severe azotemia (BUN >100 mg/dL; creatinine >10 mg/dL)
Symptomatic uremia (encephalopathy, pericarditis, intractable vomiting, hemorrhage)
Fluid removal for optimal nutrition, transfusions, infusion of medications, etc.

혈액 라인의 용적과 내경이 작아질수록 최대 혈류속도가 작아지는 것도 고려해야 한다. 투석기 선택 시 투석막의 표면적은 환자의 체표면적과 비슷한 것을 선택한다²⁾. 현재 표면적이 0.2 m²까지 작은 투석기가 나와 있다(Table 2). 고효율 투석기(high-flux dialyzer)가 작은 소아에서는 사용하기 힘들지만 만일 고효율 투석기가 사용된다면 혈류속도와 투석 시간을 줄여야 한다.

현재 소아용으로 여러 투석기(Table 2)와 혈액 라인이 나와 있으나, 소아용 투석기와 혈액 라인은 낮은 경제성 때문에 성인만큼 다양하게 생산되지 않고 있으며 이로 인해 현재 국내에서는 환아에게 맞는 투석기와 혈액 라인을 구비하는데 어려움이 있다.

4. 혈관 확보(Vascular access)

혈관 확보 시 쌍구경 도관(dual lumen catheter) 또는 두 개의 단구경 도관(single lumen catheter)이 이용될 수 있다. 효과적인 용질 제거를 위해서는 혈류속도가 3-5 mL/kg/min 정도 될 수 있는 도관을 삽입해야 한다. 단기간(1주일 이내)의 투석을 위해서는 대퇴정맥을 잘 이용하는데 쉽게 삽입할 수 있고 큰 합병증이 없다는 장점이 있다. 체중에 따라 도관의 크기와 삽입 위치를 선택해야 한다(Table 3). 작은 소아나 영아에서 쌍구경 도관 삽입이 쉽지 않을 경우 양쪽 대퇴정맥에 단구경 도관을 삽입할 수도 있다. 이때 하나는 하대정맥(venous infusion), 다른 하나는 내장골정맥(internal iliac vein, "arterial" draw)에 위치하게 한다. 신생아에서 제대혈관 도관을 사용할 수 있지만 내경이 작아서 효율적인 투석을 위한 혈류속도를 얻기 어렵다. 큰 소아에서는 10-12 Fr의 쌍구경 도관을 이용한다. 경정맥 혹은 쇄골하 정맥을 이용할 수도 있다.

5. 투석 처방의 실제

1) 투석기(dialyzer)

환아의 체표면적과 비슷한 표면적의 투석막을 선택하고, 가능한 한 전체 체외혈액순환량이 환아 혈액량의 10%를 넘지 않도록 한다²⁾.

Table 3. Vascular Access for Hemodialysis

Patient size	Catheter size	Insertion site
Neonate	4-6 Fr single lumen	Femoral artery
		Femoral vein
3-15 kg	3.5-8 Fr UVC/UAC	Umbilical vein/artery
		Femoral vein
		Subclavian vein
		Int/Ext jugular vein
15-30 kg	8.0 Fr dual lumen	Femoral vein
		Subclavian vein
		Int/Ext jugular vein
>30 kg	10.0 Fr dual lumen	Femoral vein
		Subclavian vein

2) Priming

일반적으로 혈액 라인은 생리식염수나 5% 알부민으로 채우지만, 영아에서 체외혈액 순환량이 혈액의 10%를 초과할 경우 합병증의 발생 위험이 높아서 적혈구나 5% 알부민, 혹은 이 둘을 헤마토크리트가 40% 정도 되게 섞어서 라인을 채우게 된다.

3) 혈류 속도(blood flow rate, Q_B)

적절한 용질 제거와 혈액학적 불안정을 일으키지 않기 위한 혈류 속도는 3-5 mg/kg/min이 적당하다²⁾.

4) 투석액 속도(dialysate flow rate, Q_D)

대부분의 투석 기계에서 500 mL/min으로 고정되어 있다. 800-1,000 mL/min까지 증가시킬 수도 있으나 소아에서는 500 mL/min 정도로 충분하다.

5) 투석액 조성 및 온도

급성 신부전 환자의 투석 중에 심한 산증의 교정으로 칼륨이 세포내로 이동하여 저칼륨 혈증이 생길 위험이 있다는 것을 염두에 두어야 한다. 심한 산증이 있는 환아에서 혈장 칼륨이 3.0 mEq/L일 경우 투석액의 칼륨농도는 4.5 mEq/L가 적당하고, 투석전 혈장 칼륨 농도가 3.5-4.5일 경우 투석액의 칼륨 농도는 4.0 mEq/L가 추천된다. 투석전의 혈장 칼륨 농도가 5.5 mEq/L 이상일 경우에는 투석액의 칼륨은 2.0 mEq/L가 적당하다. 고칼슘혈증이 있는 환아에서 투석액의 칼슘 농도가 조정되어야 하는데 급성신부전 환자에서 이런 경우는 드물다. 패혈증 환자는 투석 중에 심한 저혈당증이 생길 위험이 있기 때문에 응급 투석에 사용되는 투석액에는 dextrose(200 mg/dL)가 반드시 포함되어야 한다. 이것은 투석에 연관된 합병증을 줄일 수도 있다. 보통 투석액에는 인이 포함되어 있지 않은데, 심한 저인혈증이 있는 환자에서는 투석액에 포함시킬 수도 있다. 20 kg 미만의 소아 환자에서는 상대적으로 많은 체외 순환 혈액량으로 인해 투석액을 38-39°C로 맞춰 주는 것이 좋다³⁾.

6) 요소청소율, 투석시간

급성 신부전을 위한 초기 혈액 투석은 합병증을 줄이고 적절한 용질 제거를 위해 짧게 자주 시행해야 한다. 혈중 요소질소 농도(BUN)가 100 mg/dL 이상인 환아는 투석 불균형 증후군을 예방하기 위해 혈중요소질소 농도를 25-30% 정도만 감소시키는 것이 권장된다. 요소청소율은 3 mL/kg/min을 넘지 않도록 해야 한다⁵⁾. 이후에 BUN이 100 mg/dL 미만으로 되었을 때 투석 시간을 점차 늘릴 수 있다. 처음 1-2회 투석시에는 30%의 요소제거율을 목표로 하고, 이후에는 50%, 최종적으로 70%이상으로 점차 요소 제거율을 높여서 투석을 시행한다⁶⁾. 초기의 투석 시간 및 빈도는 환자의 임상 상태와 혈액학적 상태에 따라 결정된다. 초기에 BUN이 높은 환자에서는 급격한 삼투압 변화를 막기 위해 만니톨(0.5 g/kg over 1 hour after initiation of treatment)을 정주한다⁷⁾. 확산에 의한 용질 제거가 주기적인 혈액 투석에서 최종 BUN 농도(C_t)는 투석전 BUN 농도(C₀), 투석 시간(t), 투석막의 용질 청소율(K), 용질의 분포용적(V)에 의해 결정된다. 아래의 공식에 따라 수학적으로 계산할 수 있다⁵⁾.

$$C_t/C_0 = e^{-Kt/V}$$

위의 공식에 따라 몸무게 40 kg, 키 150 cm인 12세 여아의 투석 처방의 예는 다음과 같다. 초기 혈중 요소질소 농도(BUN)는 100 mg/dL이다. 환자의 수분량은 약 24,000 mL(600×40 mL) 이고, 체표면적은 1.3 m²이므로 투석기는 표면적인 1.3 m² 정도인 것을 선택한다(예: GFr Plus 12, Table 2). 사용할 투석기의 용적은 65 mL 이고(Table 2) 내경이 8 mL인 라인을 사용할 경우 라인의 용적이 128 mL라면 전체 체외혈액순환량은 193 mL가 되므로 환아 혈액량의 10% 이하이다. 혈류속도는 200 mL/min(40×5mL/min) 정도로 한다면 이 혈류속도에서 상기 투석기의 요소제거율(K)은 184 mL/min이다(Fig. 1). 첫 투석 시 요소제거율을 30%로 하려고 하면 투석시간은 다음과 같이 계산된다.

$$-\ln(C_t/C_0) = Kt/V$$

$$-\ln(70/100) = (184 \text{ mL/min} \times t) / 24,000$$

$$t = 0.35 \times 24,000 / 184 = 46 \text{ min}$$

첫번째 투석 시 투석 전후 투석 후 BUN을 반드시 검사해야 한다. 이때 측정된 투석전후의 요소질소 농도를 위의 공식에 대입하면 좀더 정확한 용질분포 용적(V)값을 구할 수 있다. 이 새로운 V값을 다음 투석 치료에 사용할 수 있는데, 두번째 투석 치료는 요소제거율을 50%로 늘릴 수 있으며, 이후 투석부터는 70%로 투석을 할 수 있다.

7) 초여과율(ultrafiltration rate, Uf)

혈역학적 안정성을 유지하기 위하여 초여과율은 0.2 mL/kg/min을 초과하지 말아야 한다³⁾. 과도한 수분제거를 막기 위해 작은 초여과계수(Kuf)의 투석기를 사용하는 것이 좋다. 높은(Kuf)의 투석기를 사용할 경우 정교하게 조절할 수 있는 펌프를 가진 투석기계를 사용해야 한다. 저알부민혈증이 수분제거를 감소시킬 수 있기 때문에 알부민이 낮은 환자의 경우 혈관 외의 수분을 혈관내로 이동시켜서 수분제거율을 높이고, 저혈압 발생을 감소

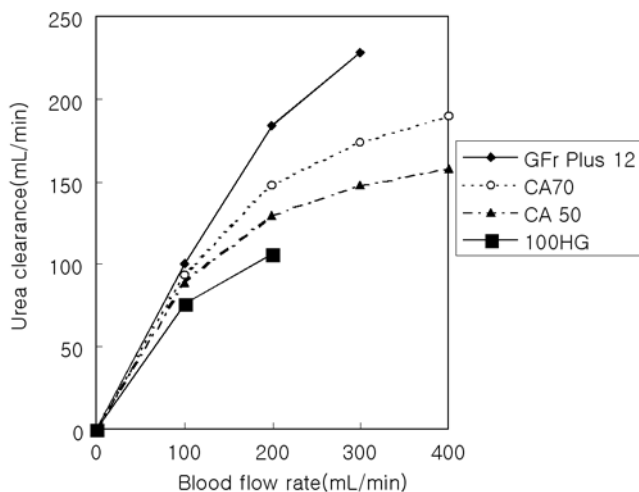


Fig. 1. Urea clearance of various dialyzers for children.

시키기 위해 투석 시작 시에 알부민을 주입하는 것이 좋다. 성인은 보통 4시간 정도 투석을 시행하지만, 소아는 이보다 짧은 시간동안 혈액 투석을 시행하게 된다. 이 경우 용질 제거는 효과적으로 안전하게 할 수 있지만, 심한 수분 과다 상태에 있는 소아에서 주어진 시간 동안 혈액학적 안정 상태를 유지하면서 수분 제거를 하기가 힘든 경우가 있는데 이런 경우 투석액을 사용하지 않고 일정한 시간 동안 초여과만 해서 어느 정도 수분 제거를 한 후에 투석을 하는 것이 처음 투석을 하는 소아에서 급격한 용질 제거를 하지 않으면서 투석불균형 증후군을 예방할 수 있는 방법이다⁵⁾. 높은 혈청 삼투압이 혈관 외의 수분을 혈관 내로 좀더 이동 시켜서 유효 순환량을 유지시킬 수 있기 때문에 초여과는 혈액 투석 전에 시행하는 것이 바람직하다⁵⁾.

8) 항응고제

체외 순환 혈액의 응고를 막기 위해 헤파린이 가장 많이 사용된다. 보통 초기에 10-20 unit/kg을 주입하고 이후 activated clotting time(ACT)을 150-200초로 유지하기 위해 10-20 units/kg/h로 지속적으로 주입한다⁸⁾. 과중성 혈관내 응고증(DIC)을 가진 위중한 환자에서는 저용량의 헤파린을 사용하거나 아예 헤파린을 사용하지 않을 수도 있다. 출혈의 위험성이 있는 환자에서는 국소적으로 citrate를 사용할 수도 있다.

9) 환자 감시

대부분의 위중한 급성 신부전 환자의 치료는 중환자실에서 이루어지며 지속적인 심혈관, 호흡기계 감시와 산소포화도 감시가 필요하다. 투석 중에 저혈압 및 저산소증의 위험이 있기 때문에 집중적인 감시가 필요하며, 혈압은 최소 15분 간격으로 측정해야 한다.

10) 투석의 종료

투석 종료 시 체외 순환 혈액은 생리식염수를 이용하여 다시 체내로 넣어 줄 수 있다. 생리식염수를 사용할 경우 종료 시 100-200 mL 정도의 양이 환자에게 주입될 수 있어서 수분제거의 효과를 감소시킬 수 있다. 만약 투석 끝날 시점에 환자의 혈압이 낮다면 혈압을 높이는 데 도움이 될 수 있다. 혈액으로 priming 한 경우 투석을 마칠 때 혈액 라인 안의 혈액을 버리는 것이 원칙이다. 적혈구로만 priming 했을 경우 헤마토크리트가 높기 때문에 투석을 마친 후 라인 안의 혈액을 버리더라도 영아에서는 혈색소가 상승하게 된다. 투석 중 초여과 양이 많아 혈액 라인 안의 혈액을 수혈하게 되는 경우에는 심박수와 심음 등을 관찰하면서 매우 천천히 해야 한다.

11) 투석 후 평가

체중을 재서 투석 전 체중과 비교한다. 투석 후 혈액 검사를 시행하여 요소제거율, 산증 교정, 전해질 정상화 등을 확인한다. 투석 종료 후 30분 이내에 혈장 요소는 보통 10-20% 정도 다시 증가(rebound)하게 되는데 이 현상은 말초혈액순환이 잘 안 되는 환자에서 더 심할 수 있다. 투석 중에 acetate base 투석액을 사용했을 경우 체내에서 acetate가 bicarbonate로 대사되기 때문에 산증의 교정은 투석 후 수시간 동안 지속될 수 있다.

6. 합병증

1) 도관 관련

기흉, 혈흉(hemothorax), 동맥 손상, 폐색전증, 중심 정맥 파열, 심낭압전(pericardial tamponade) 등이 도관 삽입 시 생길 수 있다. 또한, 도관은 감염, 혈전 등의 위험인자이며 삽입된 혈관에 협착을 생기게 할 수 있다.

2) 저혈압

저혈압은 혈액 투석 중 생기는 합병증 중 가장 흔하다. 과도한 수분제거, 너무 빠른 수분제거 속도, 부적절하게 낮은 투석액의 나트륨 농도, acetate를 포함한 투석액, 혈압 강하제 사용, 투석막의 생체부적합성 등이 원인이 될 수 있다. 급성 신부전 같은 신장 순환 부전이 있는 경우 작은 동맥 혈압의 변화에도 신장 손상이 생길 수 있기 때문에 저혈압 발생을 예방하는 것은 중요하다. 비침습적인 헤마토크리트 감시가 급격한 수분제거의 합병증을 예방할 수 있다. 고혈압의 치료로 혈관 확장제를 투여하고 있는 소아에서 증상이 심하게 나타날 수 있기 때문에 이러한 약제는 투석 후에 투여하도록 투여 시간을 조정해야 한다. 투석 중에 저혈압이 발생하면 수분제거를 중지하고, 환아를 Trendelenburg 자세를 취하게 하고, 생리식염수를 주입한다. 급격한 혈관내 수분 제거 시 카테콜아민과 레닌 분비로 갑자기 혈압이 올라가는 경우도 있다. 이 경우에는 수액 공급으로 혈압이 내릴 수 있다.

3) 근육경련

20% 정도의 환자에서 생기는데 원인을 잘 밝혀지지 않았으나, 과도한 수분제거, 저혈압, 저나트륨투석액 등이 유발요인으로 생각된다.

4) 투석불균형증후군

혈액 투석 중에 급격한 삼투압 변화로 인해 생긴다. 소아는 성인보다 더 많이 생기며, 뇌부종으로 의식변화와 경련이 생기기도 한다. 급격한 삼투압 변화를 예방하기 위해 요소 청소율이 3 mL/kg/min을 넘지 않도록 하고 20% 만니톨(1 g/kg/min)을 투석 시작 시 주입하는 것이 권장된다²⁾. 처음 투석 시 투석 시간을 짧게 하는 것도 도움이 된다.

5) 약물과 영양소의 제거

급성 신부전증을 가진 환자들이 항생제 등의 다른 약제들을 쓰고 있을 때 투석 중에 제거될 수 있으므로 용량 조절이 필요하다. 투석 중 약물의 청소율이 총 청소율의 30% 이상일 때는 투석 후 추가 용량 투입이 필요하다. 이에 대한 지침은 꼭 알아야 한다. 간헐적 혈액 투석 시행 시 영양 공급은 약간 제한될 수 있지만, 1-1.5 g/kg/일의 단백질은 안전하게 공급될 수 있다. 필요량 이상의 질소가 공급될 경우 요소 생성을 증가시킬 수 있다.

복막 투석

1. 적응증

최근의 지속적 신대체요법 CRRT의 발전에도 불구하고 아직 까지도 많은 나라에서 소아 급성신부전의 치료로 복막 투석이 사용되고 있다. 복막투석은 혈액 투석에 비해 상대적으로 간단한 투석 방법이다. 비용이 적게 들고 혈관 확보가 필요 없다. 여러 종류의 급성 복막 투석 도관의 개발과 시술의 간편성으로 인해 아주 작은 영아에서도 시행이 가능하고, 혈액학적으로 불안정한 소아에서도 비교적 안전하게 시행할 수 있고, 항응고제를 사용하지 않아도 되는 장점이 있다²⁾. 투석액으로 열량 및 영양을 공급할 수 있는 장점도 있다. 하지만 시급히 교정을 요구하는 심한 체액 과다, 생명을 위협하는 고칼륨혈증, 심한 약물 중독 등에서는 적응이 제한된다.

2. 기본 원리

복막 투석을 통한 수분 및 노폐물의 제거는 확산과 초여과에 의해 일어난다. 노폐물은 주로 확산에 의해 제거되며, 확산의 효율은 혈액과 투석액간의 농도차, 용질의 분자량, 복막의 저항, 부동층(unstirred layer)의 존재 등에 의해 결정된다²⁾. 복막 혈류 속도는 충분하기 때문에 용질의 청소율에 영향을 주지 않으므로 혈액과 투석액의 농도차는 복강 내 투석액의 교환을 자주 해야 충분히 유지될 수 있다. 패혈증에 동반된 급성 신부전 환자에서 혈압이 낮아서 복강 내 혈액 관류가 충분치 않을 것으로 예상될 수 있으나 이들에서도 성공적으로 복막 투석이 시행될 수 있다는 연구 보고가 있다⁹⁾. 혈액투석과 달리 복막 투석에서는 분자량이 큰 단백질도 제거될 수 있으므로 영양면에서 좋지 않을 수도 있으나, 단백질에 결합되어 있는 요독물질들이 제거 되기 때문에 환자에게 좋은 효과를 준다고 생각되어 진다²⁾. 용질들이 복막에 높은 농도로 층을 만들 경우 확산을 저해할 수 있으므로 환자가 위치를 자주 바꾸거나 장운동을 촉진시켜주어야 한다. 복막투석을 통한 초여과는 투석액의 포도당에 의한 삼투압 차이에 의한다. 포도당은 복강 내에서 흡수되어 삼투압 차이가 낮아질 수 있기 때문에 투석액의 자주 교환해 주는 것이 필요하다. 복강 내 투석액 저류 시간을 30분 정도로 했을 때 최대 초여과가 일어나며, 포도당 흡수에 의해 고혈당이 발생할 수도 있으므로 주의해야 한다²⁾.

3. 복막 투석 도관

일시적(temporary) 또는 영구적(permanent) 도관이 사용될 수 있다. 영구적 도관은 수술적 방법으로 피하터널을 만들어서 삽입하며 삽입 후 누수 없이 즉시 투석을 하기 위해 삽입부위에 fibrin glue를 사용하기도 한다¹⁰⁾. 일시적 도관은 병실에서 즉시 삽입할 수 있어서 빠르게 투석을 시작할 수 있다는 장점이 있다.

하지만, 막힘이나 누수 같은 도관 관련 합병증이 영구적 도관보다 현저하게 많다. 일시적 도관을 삽입한 반수 이상의 환자들이 5일 이상 사용 후 기능 부전을 경험한다¹⁾. 영구적 도관은 cuff가 있는 도관으로 일시적 도관에 비해 막힘이나 누수 등의 합병증이 적지만 수술적인 방법으로 삽입해야 하는 단점이 있다. 최근 복강경을 이용한 삽입이 가능해지면서 더욱 합병증을 줄일 수 있게 되었다¹¹⁾. 소아에서는 초기치료로 가능한 영구적 도관 삽입이 권장된다. 하지만 전신마취를 필요로 하기 때문에 불안정한 상태에서 즉시 도관 삽입이 어려운 경우가 있다. 이럴 때는 국소마취 하에 일시적 도관을 삽입해서 투석을 시행하다가 상태가 안정 되고 5일 이상 투석을 해야할 경우에 영구적 도관을 삽입하는 방법이 합리적이다¹⁾.

4. 복막 투석 기계

급성 신부전 환자에서 복막투석은 수동으로 하거나 자동 복막 투석 기계를 이용하여 할 수 있다. 자동 복막 투석 기계는 보통 50 mL부터 10 mL씩 주입액을 증가시킬 수 있다. 하지만 실제적으로는 100 mL 이하의 교환량을 사용하기는 힘들기에 100 mL 이상의 주입액을 사용할 경우에 자동 복막 투석기계를 사용할 수 있다¹⁾. 투석액의 양을 결정할 때는 투석관을 채우는 양도 고려해야 한다. 아주 작은 영아에서 차가운 투석을 사용할 경우 체온 저하와 갑작스러운 혈압 하강이 생길 수 있기에 투석액은 꼭 체온과 비슷하게 유지해서 사용해야 한다¹⁾.

5. 투석액 조성

투석액의 전해질 조성은 혈장과 비슷하다. 모든 투석액의 나트륨 농도(132 mEq/L)는 혈청 나트륨보다 낮다. 높은 포도당 농도의 투석액을 사용해서 투석을 할 경우 초기에 수분 배출이 많이 되어 고나트륨혈증을 일으킬 수 있는데, 낮은 나트륨 농도의 투석액을 사용할 경우 이런 위험을 줄일 수 있다. 정상 혈청 bicarbonate 농도를 유지하기 위해 대부분의 투석액은 35-40 mEq/L의 lactate를 포함하고 있다. Lactate는 흡수된 후 간에서 빠르게 대사되어 bicarbonate로 된다. Lactic acidosis가 있거나, 간기능이 나쁜 일부 소아 환자에서는 bicarbonate-based 용액이 사용될 수 있다. 투석액에는 칼륨이 포함되어 있지 않지만 필요한 경우(up to 5 mEq/L) 투석액에 첨가될 수 있다. 헤파린(250-500 units/L)은 피브린에 의한 도관 막힘을 방지하기 위해 통상 투석액에 첨가된다.

6. 복막 투석 처방

투석처방에는 투석액 조성, 교환량(exchange volume), 주입 시간, 배액시간, 복강 내 저류시간, 하루 동안 교환 횟수 등이 포함되어야 한다. 급성 복막 투석에는 보통 2.5% dextrose 용액을 사용하고, 도관 삽입 부위의 누수를 방지하기 위하여 적은 양의 투석액으로 투석을 하게 된다. 일부 환자에서 처음 주입액은 충분히 배액되지 않은 경우가 있기 때문에 심한 복부 팽만이

없다면 처음 주입액이 다 배액되지 않더라도 두번째 주입을 해도 된다. 만일 배액이 충분치 않다면 도관 막힘을 의심해야 한다.

일반적으로 처음 24시간 동안 교환량은 적게 하고(10-20 mL/kg, 300-600 mL/m²), 이후 3-5일에 걸쳐서 최대 30-50 mL/kg (800-1,200 mL/m²)까지 서서히 증가시킨다. 너무 많은 양을 주입할 경우에는 호흡 곤란과 흉수(hydrothorax) 등을 유발시킬 수 있다¹²⁾. 급성 신부전에서는 처음 24-48시간 동안에는 충분한 용질과 수분 제거를 위해 30-60분 간격으로 투석액 교환을 해야 한다. 일단 안정되면, 저류시간과 주입량을 늘릴 수 있게 된다. 투석 전에 이미 복수가 많이 있는 환자에서는 투석 처방에 매 배액 시마다 최대 배액량을 정해 주어야 한다.

7. 복막 투석 중 감시

혈청 전해질, 포도당, 체액량 상태에 대해 주의 깊은 감시가 필요하다. 고혈당과 저칼륨혈증이 영아에서는 잘 생길 수 있다. 고혈당은 삼투압 차이를 적게 해서 수분제거를 감소시킬 수 있으므로 투석액에 인슐린을 첨가하거나 체내에 따로 주입해서 조절해야 한다. 저칼륨혈증은 투석액에 칼륨(up to 5 mEq/L)을 첨가해서 조절할 수 있다. 수분 제거량은 dextrose 농도 변화, 주입액양, 교환 횟수로 조절할 수 있다. 체액량 상태는 수분 제거량의 변화 시 마다 주의 깊게 평가해야 한다.

8. 합병증

도관과 관련된 합병증의 빈도는 일시적 도관에서 매우 높으며, 이러한 합병증은 도관 삽입 시와 투석 진행 도중에 일어날 수 있다.

1) 장파열

일시적 도관 삽입 시 많이 생기는 합병증이다. 빈도는 0.1-1.3% 정도이다²⁾. 증상은 투석액으로 인해 심한 수양성 설사가 생기고, 투석액이 혼탁해진다. 복막 투석을 중단하고 혈액 투석이나 CRRT를 시행해야 한다.

2) 혈관 손상

혈관 손상 시 투석액으로 혈액이 나올 수 있다. 경미한 손상은 투석을 계속하면서 회복될 수 있으며, 투석액을 실온으로 데워서 사용하는 것이 작은 혈관의 출혈을 중지시킬 수 있다. 심각한 출혈은 약 0.4%에서 생긴다²⁾. 이 경우 헤마토크리트나 혈압이 떨어지는 경우에 큰 혈관의 손상을 의심할 수 있고 즉시 수혈을 하고 수술을 해야 한다.

3) 도관 주위 누출

일시적 도관 삽입 시 많이 생긴다. 복부 근육과 피하조직이 발달되어 있지 않은 어린 소아에서 많이 생긴다. 누출이 계속될 경우 배액량 평가가 어렵고 출구 감염과 복막염이 생길 위험이 커진다. 누출이 있을 경우 복막 투석액 주입량을 줄이고 투석 횟수를 늘려서 누출을 최소화해야 한다. 영구적 도관 사용 시 누출이 적으나, fibrin glue를 사용하면 누출을 더 줄일 수 있다

10).

4) 배액 장애

주입양보다 배액양이 적고, 도관 주위 누출의 증거가 없을 때 의심할 수 있다. 배액 장애가 생기기 전에 대개 불규칙한 배액이나 투석액에 피브린이 섞여 나오게 된다. 예방적으로 헤파린(250-500 units/L)을 투석액에 첨가해서 피브린에 의한 도관 막힘을 예방할 수 있다²⁾. 장간막(omentum)이나 도관 조직의 다른 조직의 유착으로도 생길 수 있다. 때로는 헤파린을 포함한 투석액을 손으로 빠르게 주입해서 막힘이 호전되기도 한다. 하지만, 막힘이 자주 재발하게 되면 복강경을 이용한 도관의 위치 조정이 필요하게 되는 경우가 많다.

5) 흉수(hydrothorax)

급성 투석을 시행하는 소아의 10% 정도에서 흉수가 생긴다²⁾. 임상적으로 배액량 감소와 호흡 곤란, 가슴 방사선 사진에서 삼출이 보이는 소견이 있다. 폐삼출액에서 높은 포도당 농도를 보이면 의심할 수 있다. 투석액 주입 양을 줄이거나 다른 투석 방법으로 전환하는 것이 필요하다.

6) 호흡부전

인공호흡을 사용하고 있는 중환자실의 소아에서는 소량의 복막 투석액도 가끔 환기와 산소화에 장애를 줄 수 있다. 이러한 변화는 수분 제거가 최고로 일어날 때 생긴다. 정확한 원인은 모르지만 흡기와 호기 시 저항에 영향을 주는 것과 횡경막 운동에 영향을 주는 것이 원인으로 보인다¹³⁾.

7) 저알부민혈증

어른 보다 복막투석을 받는 소아에서 단백질의 손실이 크며, 이는 0.12-4 g/kg/day 정도이다. 단백 손실은 복막염 중에 증가될 수 있다¹⁴⁾. 따라서 적절한 영양 공급이 필요하다. 단백질은 하루 2.5-4.0 g까지 공급해주는 것이 추천된다.

8) 고혈당증

고농도의 dextrose 투석액을 사용하거나 경정맥영양을 하는 소아에서 고혈당이 생길 수 있다. 경정맥 영양에서 dextrose 농도를 감소시키거나, 인슐린을 투석액이나 전신에 투여해서 조절할 수 있다.

9) 감염

복막염은 cuff가 없고 피하 터널이 없는 일시적 도관을 사용했을 때 흔하다. 이러한 도관을 오래 사용할수록 복막염의 위험이 커진다. 감염은 자동 복막 투석 기계를 사용할 경우 감소된다. 배출액에서 그람 염색과 배양 검사를 시행해야 한다. 세균성 복막염은 복강 내 항생제로 치료할 수 있지만 진균에 의한 복막염인 경우에는 대부분 도관을 제거해야 한다. 출구와 터널 감염은 발적, 부종, 동통과 진물 등으로 의심할 수 있으며, 배양 검사를 하고 복막염의 여부에 대해 평가해야 한다. 복막염의 없을 경우 대부분 국소적, 전신 항생제로 치료될 수 있으며 복강 내 항생제 투여는 필요치 않은 경우가 많다.

10. 금기증

급성 복막 투석의 절대적인 금기증은 적으며, omphalocele,

횡경막 탈장, gastroschisis 등을 가진 신생아처럼 적절한 복강 내 복막 투석을 위한 공간이 부족할 경우에는 금기증이 될 수 있다. 최근의 복부 수술도 복부에 배액관이 없는 한 절대적인 금기증이 아니다. 방광루, 다낭성 신, 대장루, 위루, prune belly syndrome, 최근의 장문합수술을 한 소아도 성공적인 복막 투석을 할 수 있다. 신장 이식 후에 급성 이식신부전을 보이는 소아에서도 이식신이 복강 밖에 위치하고 있는(extra-peritoneal location) 한 복막 투석을 시행할 수 있다.

CRRT

혈액학적으로 불안정하거나 다장기 부전을 보이는 소아의 급성 신부전에서 점점 사용 빈도가 늘고 있다.

1. 많이 쓰이는 방법

완속 지속적 한외여과(slow continuous ultrafiltration, SCUF) 지속적 정정맥 혈액여과(continuous veno-venous hemofiltration, CVVH)

지속적 정정맥 혈액투석(continuous veno-venous hemodialysis, CVVHD)

지속적 정정맥 혈액투석여과(continuous veno-venous hemodiafiltration, CVVHDF)

CVVH는 초여과가 주된 기전이고 대체수액(replacement fluid)을 사용한다. CVVHDF는 CVVH와 CVVHD를 합쳐서 하는 것이고, 대체수액과 투석액을 함께 사용하며, 확산과 초여과가 주 기전이다. 상기 두 가지 방법이 많이 쓰이는 방법이다.

2. 일반적인 지침

만성 투석과 달리 아직 CRRT에 대한 표준 지침은 나와 있지 않다. 성인에서 초여과율이 최소 35 mL/h/kg 이상 되어야 생존율이 향상된다는 보고가 있어서¹⁵⁾ 소아에서도 이 정도 이상 되어야 할 것으로 생각된다. CVVH나 CVVHD를 시행할 경우 혈류속도는 3-5 mL/kg/min이 적당하고 항응고제를 사용하지 못하거나 용질의 제거를 많이 하려고 할 경우에는 혈류속도를 높이는 것이 바람직하다¹⁶⁾. 대체 수액이나 투석액의 속도는 2 L/h/1.73m² 정도로 하는 것이 적당한 청소율을 얻을 수 있다¹⁷⁾. 수분제거는 환자의 상태에 따라 보통 0.5-2.0 mL/kg/h 정도로 한다¹⁷⁾. 부종이 심해 많은 수분 제거가 필요할 경우 처음 24-48 시간 동안 도파민 등의 혈압 상승제를 사용하거나 용량을 올리는 것이 환자 상태 안정에 도움이 된다. 혈액 투석과 마찬가지로 체외혈액순환량을 환자 혈액량의 10% 이내로 해야한다. 체외혈액순환량이 혈액량의 10%를 초과할 경우에는 투석 라인과 필터를 혈액으로 priming 해야 하는데 농축 적혈구는 헤마토크리트가 높으므로 생리식염수와 섞어서 헤마토크리트를 30-40% 정도로 해주는 것이 필터에서의 혈액 응고를 막을 수 있다. 체

의 순환 혈액 양이 많아 체온이 떨어질 수 있으므로 라인과 혈액을 데워주는 기구 사용이 필요하다.

3. 혈관 확보

혈액 투석 도관 삽입과 원칙은 비슷하다(Table 4). 일반적으로 순환계의 정맥압을 200 mmHg 이내로 하는 것이 좋다. 쌍구경(dual lumen) 도관이 많이 사용되나 citrate 항응고요법이 많아 지면서 칼슘을 따로 주입하기 위해 triple lumen 도관 사용이 필요해지고 있다. 대퇴정맥, 경정맥, 쇄골하정맥 등이 모두 사용될 수 있으나, 도관삽입으로 인해 쇄골하정맥 협착이 생길 수 있으므로 쇄골하 정맥 사용은 가급적 피해야 한다¹⁷⁾. 제대 정맥이나 제대 동맥 도관은 혈류 저항이 크므로 효과적이지 않다¹⁸⁾.

4. 혈액필터

많이 쓰이는 필터 종류는 Table 4와 같다. 15 kg 미만의 소아에서는 M10을 사용할 수 있다. PRISMA circuit은 acrylonitrile(AN69) 막을 필터로 사용하는데, 이를 혈액으로 priming 할 경우 브라디키닌 유출증후군(bradykinine release syndrome) 등이 생길 수 있어서 농축 적혈구를 trimethanine(THAM)과 bicarbonate로 buffering 해서 pH를 7.3-7.6으로 맞추어 주는 것이 좋다¹⁹⁾.

5. 혈액펌프

CRRT 기계로 우리나라에서 많이 쓰이는 것은 PRISMA (Gambro)로 대체수액과 투석액을 조절하는 펌프, 정확한 초여과 조절을 위한 기구, 정확한 혈류속도 조절을 위한 펌프 등으로 구성되어 있다. 상기 기계가 없더라도 기존에 혈액 투석용으로 사용되는 기계(Gambro AK 10)와 정맥 주사용 펌프를 이용하여 CRRT를 시행할 수도 있다.

6. 혈류 속도

혈액 투석과 비슷하다. 혈류속도는 보통 4-5 mL/kg/min으로 하고 정맥저항이 낮을 경우 작은 영아에서 5-10 mL/kg/min으로 하기도 한다¹⁹⁾.

7. 대체 수액(replacement fluid)

많은 양을 초여과 하기 위해서는 대체 수액이 필요하다. 소아에서는 bicarbonated base의 용액을 사용하는데, 보통 필터의 응고를 막기 위해 pre-filter로 주입하게 된다. 통상 투석액 조성 과 같은 것을 사용한다. 주입 속도는 보통 2 L/1.73m²/hr이다.

Table 4. Circuit for Continuous Renal Replcement Therapy

Circuit	Total circuit volume	Filter surface area
Hospital M 10 Preset	50 mL	0.042 m ²
Hospital M 60 Preset	90 mL	0.6 m ²

CRRT 시행 시에는 저칼륨혈증이 흔히 생기는데, 이 경우에는 대체수액이나 투석액에 3-4 mmol/L로 칼륨을 섞어준다.

8. 투석액

대체수액이나 복막 투석에 사용되는 투석액과 같은 조성의 수액이 사용될 수 있다. 투석액 속도는 보통 2 L/1.73m²/hr로 한다.

9. 항응고요법

항응고요법의 정도는 환자의 상태와 혈류속도, 혈관 확보에 따라 달라진다. 혈류속도가 빠를수록 필터의 응고는 적고 초여과가 많아질수록 필터의 응고가 많아진다. 환자의 기저 activated clotting time(ACT)가 200초 이상이면 항응고제 사용 없이 CRRT가 가능하다. 항응고제로 헤파린이 많이 사용되고 있으나, 저분자량 헤파린, citrate도 소아에서 안전하게 사용할 수 있다. 헤파린은 pre-filter로 주입하고 ACT를 180-220초로 유지하거나 aPTT를 정상의 1.5-2배로 유지한다. 보통 처음에 헤파린을 20-30 units/kg로 투여하고 이후에 10-20 units/kg/hr로 지속 주입하게 된다¹⁸⁾. 출혈 경향이 있는 환자에서는 헤파린의 사용이 제한되는데, 최근에는 citrate의 사용이 늘어나고 있다¹⁹⁻²¹⁾. Citrate는 칼슘과 결합하여 혈액응고를 억제하는데, 독성과 저칼슘혈증의 부작용을 예방하기 위해 투석 시스템과 다른 중심정맥으로 칼슘을 주입한다¹⁹⁾. Citrate는 간에서 bicarbonate로 대사 되므로 전신적 출혈성 경향을 증가시키지 않는다. 저칼슘혈증, 고칼슘혈증, 고나트륨혈증, 대사성 알칼리증 등의 합병증이 생길 수 있으며, 이를 예방하기 위해 칼슘 비포함 투석액과 나트륨 농도가 낮은 투석액 사용이 필요하다²⁰⁾. 근래에는 칼슘을 포함한 투석액을 사용해서도 안전하게 CRRT를 시행한 보고들도 있다²²⁻²⁴⁾. ACD-A citrate 용액(Baxter)을 사용할 수 있는데, 이 용액은 2.2%의 trisodium citrate, 0.8%의 citric acid로 구성되어 있다. Citrate 항응고 요법을 시행할 때는 pre-filter로 citrate를 주입하고, CRRT 시스템의 이온화 칼슘 농도는 0.25-0.4 mmol/L, 환자의 이온화 칼슘 농도는 1.1-1.3 mmol/L로 유지한다¹⁷⁾. 대사성 알칼리증이 생길 수 있는데, CVVHD 모드에서 대사성 알칼리증이 생긴 경우에는 CVVHDF 모드로 바꾸면 교정될 수 있다¹⁷⁾. 처음 시작 시에는 보통 혈류 속도의 1.5배의 속도로 ACD-A 용액을 주입하는데 간기능이 나쁜 환아에서는 통상 50-70%의 속도로 줄여서 주입한다¹⁷⁾.

10. CRRT 처방의 실제

실제 처방시에는 혈류속도, 환자 수분 제거율(patient fluid removal), 대체 수액 속도, 투석액 속도를 정해 주어야 한다. 대체 수액이 들어간 만큼 초여과가 일어나기 때문에 초여과율은 환자 수분제거율과 대체수액 속도를 합한 값이 된다. 매시간 환자에게 들어가는 수액의 양을 계산하고, 배설되는 수분의 양을 감안하여 실제 환자 수분 제거율을 결정하게 되는데, 0.5-2.0

mL/kg/h가 적당하며 환자 상태에 따라 조절하게 된다¹⁷⁾. 초여과율을 혈장 수분 속도(plasma water flow rate)로 나눈 값이 20% 이하로 되게 하는 것이 필터의 응고를 막는데 도움이 되는데 PRISMA(Gambro) 기계에서는 이 값이 자동으로 계산되어진다. 요소는 대부분 막을 통과하므로 요소 청소율은 투석액 속도, 대체 수액 속도, 환자 수분 제거율을 합한 값이 된다. 요소 청소율은 35 mL/min/1.73m² 이상으로 하는 것이 환자 생존율을 높일 수 있으며, 이 값은 2,100 mL/hr/1.73m²에 해당한다¹⁷⁾. 즉, 투석액 속도, 대체 수액 속도, 환자 수분 제거율을 합한 값이 2,100 mL/hr/1.73m²이 되는 것이 적당하는데, 일반적으로 환자 수분 제거율은 다른 값에 비해 작은 값이고 수시로 변하게 되므로 이 값은 제외하고 계산한다. 대체 수액의 속도는 혈액 여과 정도를 반영하고, 투석액 속도는 혈액 투석 정도를 반영한다. CVVHDF 모드에서 투석액 속도를 0으로 하면 CVVH 모드와 같으며, 대체 수액 속도를 0으로 하면 CVVHD가 된다.

몸무게 10 kg, 체표면적이 0.5 m²이고, 무뇨 상태의 소아에서 CVVHDF를 하려고 할때의 실제 처방은 예는 다음과 같다.

$$\text{요소 청소율}(2,100 \text{ mL/hr}/1.73 \text{ m}^2)$$

$$=2,100 \times 0.5 / 1.73 = 600 \text{ mL/hr}$$

$$= \text{대체 수액 속도} + \text{투석액 속도}$$

혈액 여과와 혈액 투석의 비율을 50%씩 한다면

$$\text{대체 수액 속도} = 300 \text{ mL/hr}$$

$$\text{투석액 속도} = 300 \text{ mL/hr}$$

$$\text{실제 환자 수분 제거율}(\text{net patient fluid removal rate}) = 2$$

$$\text{mL/kg/hr} = 10 \times 2 = 20 \text{ mL/hr}$$

$$\text{진체 초여과율} : 20 + 300 = 320 \text{ mL/hr} = 5.3 \text{ mL/min}$$

최소 혈류 속도(BFR, 헤마토크리트가 0.3일 경우)

초여과율/plasma water flow rate이 20% 이하가 되어야 하므로

$$\rightarrow 5.3 / \text{BFR}(1-0.3) = 0.2$$

$$\rightarrow \text{BFR} = 40 \text{ mL/min}$$

(일반적으로 혈류속도는 혈액 투석과 마찬가지로 5 mL/kg/min으로 계산하기도 한다.)

결론

급성 신부전의 치료는 소아를 치료하는 의사에 있어서 중요한 문제이다. 투석의 기전에 대한 지식과 여러 종류의 투석 방법의 최근 진전에 대한 지식은 아직도 많은 사망율을 보이는 소아의 급성 신부전의 치료 향상에 도움을 줄 것이다. 급성 신부전에 사용할 수 있는 여러 방법들에 대한 충분한 이해가 필요하며 아울러 환자 생존률을 높이기 위한 많은 연구가 필요하다고 생각된다.

References

- 1) Moghal NE, Brocklebank JT, Meadow SR. A review of acute renal failure in children: incidence, etiology and outcome. *Clin Nephrol* 1998;49:91-5.
- 2) Chadha V, Srivastava T. Management of acute renal failure with hemodialysis and peritoneal dialysis. In: Warady BA, Schaefer FS, Fine RN, Alexander SR, editors. *Pediatric Dialysis*. Great Britain: Kluwer Academic Publishers 2004:595-618.
- 3) Donckerwolcke RA, Bunchman TE. Hemodialysis in infants and small children. *Pediatr Nephrol* 1994;8:103-6.
- 4) Parekh RS, Bunchman TE. Dialysis support in the pediatric intensive care unit. *Adv Ren Replace Ther* 1996;3:326-36.
- 5) Kiessling SG, Somers MJG. Hemodialysis in children. In: Nissenson AR, Fine RN, editors. *Clinical Dialysis*. 4th ed. New York: McGraw-Hill 2005:293-307.
- 6) Warady BA. Optimizing dialysis in pediatric patients. In: Nissenson AR, Fine RN, editors. *Clinical Dialysis*. 4th ed. New York: McGraw-Hill 2005:203-22.
- 7) Goldstein SL, Jabs K. Hemodialysis. In: Avener ED, Harmon WE, Niaudet P, editors. *Pediatric Nephrology*. 5th ed. Philadelphia: Lippincott Williams & Wilkins 2004:1395-410.
- 8) Geary DF, Gajaria M, Fryer-Keene S, Willumsen J. Low-dose and heparin-free hemodialysis in children. *Pediatr Nephrol* 1991;5:220-4.
- 9) Flynn JT, Kershaw DB, Smoyer WE, Brophy PD, McBryde KD, Bunchman TE. Peritoneal dialysis for management of pediatric acute renal failure. *Perit Dial Int* 2001;21:390-4.
- 10) Sojo E, Bisigniano L, Turconi A, Falke G, Grosman M, Delgado N, et al. Is fibrin glue useful in preventing dialysate leakage in children on CAPD? Preliminary results of a prospective randomized study. *Adv Perit Dial* 1997;13:277-80.
- 11) Jeong SI, Lee HY, Lee CG, Seo JM, Lee SK, Kim SJ, et al. Comparison of Early Complications after Peritoneal Dialysis Catheter Implantation by Laparoscopic Surgery and Conventional Surgery in Children. *J Korean Soc Pediatr Nephrol* 2007;11:51-8.
- 12) Lorentz WB, Jr. Acute hydrothorax during peritoneal dialysis. *J Pediatr* 1979;94:417-9.
- 13) Bunchman TE, Meldrum MK, Meliones JE, Sedman AB, Walters MB, Kershaw DB. Pulmonary function variation in ventilator dependent critically ill infants on peritoneal dialysis. *Adv Perit Dial* 1992;8:75-8.
- 14) Katz A, Kashtan CE, Greenberg LJ, Shapiro RS, Nevins TE, Kim Y. Hypogammaglobulinemia in uremic infants receiving peritoneal dialysis. *J Pediatr* 1990;117:258-61.
- 15) Ronco C, Bellomo R, Homel P, Brendolan A, Dan M, Piccinni P, et al. Effects of different doses in continuous veno-venous haemofiltration on outcomes of acute renal failure: a prospective randomised trial. *Lancet* 2000;356:26-30.
- 16) Werner HA, Herbertson MJ, Seear MD. Functional characteristics of pediatric veno-venous hemofiltration. *Crit Care Med* 1994;22:320-5.
- 17) Gregory M, Bunchman TE, Brophy PD. Continuous renal replacement therapies for children with acute renal failure and metabolic renal disorders. In: Warady BA, Schaefer FS, Fine RN, Alexander SR, editors. *Pediatric Dialysis* 2004:567-84.
- 18) Bunchman TE, McBryde KD, Mottes TE, Gardner JJ, Max-

- vold NJ, Brophy PD. Pediatric acute renal failure: outcome by modality and disease. *Pediatr Nephrol* 2001;16:1067-71.
- 19) Lai WM. Renal replcement therapy in acute renal failure: acute dialysis and continuous renal replacement therapy. In: Chiu MC, Yap HK, editors. *Practical Paediatric Nephrology* 2005:234-46.
 - 20) Bunchman TE, Maxvold NJ, Barnett J, Hutchings A, Benfield MR. Pediatric hemofiltration: Normocarb dialysate solution with citrate anticoagulation. *Pediatr Nephrol* 2002;17:150-4.
 - 21) Tolwani AJ, Campbell RC, Schenk MB, Allon M, Warnock DG. Simplified citrate anticoagulation for continuous renal replacement therapy. *Kidney Int* 2001;60:370-4.
 - 22) Hahn H, Park YS. Regional Citrate Anticoagulation for Continuous Renal Replacement Therapy in Children. *J Korean Soc Pediatr Nephrol* 2005;9:76-82.
 - 23) Cointault O, Kamar N, Bories P, Lavayssiere L, Angles O, Rostaing L, et al. Regional citrate anticoagulation in continuous venovenous haemodiafiltration using commercial solutions. *Nephrol Dial Transplant* 2004;19:171-8.
 - 24) Gupta M, Wadhwa NK, Bukovsky R. Regional citrate anticoagulation for continuous venovenous hemodiafiltration using calcium-containing dialysate. *Am J Kidney Dis* 2004;43:67-73.