

혈액투석에서의 수질 관리

국민건강보험공단 일산병원 내과

신 석 균

혈액투석을 위한 기계나 투석막은 눈부신 발전을 거듭하면서 생체 적합성에 관심이 모아지고 있으며 이를 바탕으로 고효율, 고유량, 혈액투석여과 등 새로운 투석방법들이 환자 치료에 사용되어지고 있다. 이런 발전된 혈액투석은 환자들의 장기간 생존율과 삶의 질을 향상시킬 수 있으며 특히 장기간 혈액투석으로 합병될 수 있었던 신성 골이영양증의 개선이나 심혈관계 합병증 발생의 감소 등으로 요즘 국내외를 막론하고 만성 신부전증 환자들은 최고의 투석치료를 받고 있다고 말할 수 있을 것이다. 이런 혈액투석 치료에서 간과되어서는 안될 주요한 요소가 투석액의 질을 결정하게 되는 투석용수의 수질 관리이다. 외국의 경우는 혈액투석용수 수질관리를 위한 적절한 시설과 그 시설로부터 생성된 수질의 기준과 검사 시기를 자세히 규정하고 있지만 국내의 경우는 혈액투석 기계나 투석막은 외국의 경우와 비슷한 수준의 것을 사용하고 있지만 혈액투석용수의 수질 관리에 대한 기준이나 검사 기관 및 시설은 부족한 실정이다. 저자 등은¹⁾ 이런 국내적 현실을 감안하여 혈액투석용수의 수질관리에 대한 방법과 기준을 주제로 함께 논한 적이 있으며 이를 토대로 혈액투석용수의 수질 관리에 대하여 약속하고자 한다.

혈액투석용수를 정수하여 투석에 사용되는 과정은 대개 5가지로 나누어 생각할 수 있다. 즉, 전처리 장치, 역삼투압 정수 장치, 후처리 장치, 분배시스템, 그리고 후분배시스템 (혹은 비울화 과정) 등이다. 이런 5가지의 과정 중에서 후분배시스템을 제외한 4가지가 혈액투석기계 전단계까지의 과정이므로 여기에서는 4단계의 수질 관리에 대하여 기술하고자 한다. 이런 혈액투석액 생산과정에 대한 관리 지침은 많은 국가에서 미국의 Association for the Advancement of Medical Instrumentation (AAMI) 지침²⁾을 따르거나 일부 수정하여 수질관리 지침을 권유하고 있어서 저자도 국내 상황을 고려하여 각 단계별로 수질관리를 위한 방안을 알아보하고자 한다.

전처리과정들(pretreatment)

혈액투석용수의 정수과정에서 가장 중요한 곳이 역삼투압 정수장치인데 장치를 기준으로 그 전단계에서 역삼투압막을 보호하는 정수단계를 전처리 정수과정이라고 한다. 국내의 혈액투석용수는 주로 수돗물이 원수로 사용되고 있으며 대개의 경우 가온하지 않고 그대로 전처리 과정에 유입되고 있다. 그렇지만 역삼투압 정수기의 기능을 최대로 하기 위해서는 약 25℃ 정도까지 수온을 상승시켜 유입되는 것이 효율적이다. 원수가 전처리 시설로 유입되면 3가지의 전처리 시설들 즉 멀티 필터 (multi-media sediment filter), 연수과정 (softener), 그리고 카본탱크 (carbon tank)를 경유하여 역삼투압 정수기로 전달되게 된다.

1. 멀티필터 (multi-media sediment filter)

원수에 부유물질이 많지 않은 경우는 필요하지 않을 수도 있겠지만 국내의 수돗물의 사정이나 유입되는 통로의 문제로 전처리과정에 포함되는 것이 바람직하다. 이 멀티미디어 필터는 자갈 (gravel), 모래 (sand), 안스라사이트와 그라넷 필터 (Anthracite, Granet-filter)로 되어 있으며 주로 원수의 탁도를 정화시키고 부유물질을 제거하는 기능을 한다. 이는 곧 뒤에 이어지는 소프트너나 카본필터를 보호하는 역할을 한다고 볼 수 있겠다. 이론적으로 여과재로 많이 사용되고 있는 자갈, 모래, 그리고 안스라사이트와 그라넷 필터 (AG-filter)의 순서로 아래에서부터 채워져서 크기가 가장 작은 것이 윗층에 놓여지게 된다.

약 20 마이크론 크기의 물질까지 제거할 수 있으며 세척 과정은 역세척 20분과 정화 10분을 1일 2회 자동으로 매일 반복하면 된다.

2. 소프트너 (softener)

소프트너는 소금을 이용하여 2가 이온들 즉 칼슘이나 마그네슘들을 제거하는 과정이다. 그러므로 소프트너 옆에는 소금통이 있게 되고 이것을 통하여 나트륨이온과 클로라이드 이온을 공급받아 칼슘이나 마그네슘 한 개의 이온과 2개의 나트륨이온과 상환되어 제거하는 과정이다. 국내의 수도물은 외국과 비교하여 경도가 비교적 낮은 것으로 알려져 있지만 2가 이온들의 적절한 필터는 혈액투석용수에 있어서 고혈압의 발생이나 심혈관계의 부작용이 발생할 수 있기 때문에 중요하다. 세척은 매일 자동으로 역세척 20분과 정화 10분을 2회 반복한다.

3. 카본탱크 (Carbon tank)

카본탱크는 염화물들을 제거해 주는 기능을 담당하고 있으며 특히 수도물의 소독제로 사용되고 남은 클로린이나 클로라민 등을 제거하는데 그 목적이 있다. 이런 염화물들이 체내로 유입되면 용혈현상을 일으키기 때문에 철저한 제거되어야 한다. 그리고 카본필터는 수도물 중에 함유되어 있는 맛, 냄새, 색깔 및 잔류염소, 약간의 유기물 등을 활성탄을 이용하여 흡착 제거하는 것이다. 세척은 자동으로 매일 역세척 20분과 정화 10분을 2회 반복한다.

역삼투압 정수시설

역삼투압 정수기는 강력한 펌프로 반투막을 이용하여 정수된 물의 순수도를 최대화 할 수 있는 정수장치이다. 압력을 가하여 주는 곳에는 불순물들만 주로 남게 되고 반투막 건너 쪽에는 수분만이 이동하게 되어 순수한 물을 얻게 되는 것이다. 반투막을 건너서 여과된 물을 생성수 (product water)라 하고 반투막을 건너지 못하여 용질들이 남아 있는 물을 버려진다하여 기각수 (reject water)라고 한다.

역삼투압 정수막은 용해된 무기물질이나 분자량이 약 200 달톤 이상인 큰 유기물질, 내독소, 바이러스 및 박테리아와 같은 미생물 오염물들을 제거할 수 있다. 이런 광범위한 제거능 때문에 역삼투압 정수는 혈액투석용수를 위한 정수시설로 적합하다고 하겠다. 역삼투압막을 보호하기 위하여 4군데에 압력계를 설치하여 관찰하여야 한다. 즉, 고압펌프 전, 후, 기각수 및 생성수 라인에 설치하여 관찰하면 막에 걸리는 압력이나, 막에 스케일이 쌓이는 정도와 세균의 번식 등을 점검할 수 있기 때문에 편리하다. 역삼투압 정수기내의 압력은 200에서 400 psi가 적당하며 그 이상인 경우는 경보음이 울리거나 시스템이 정지하는 장치가 있어야 한다. 장치의 소독이나 스케일 제거는 역삼투압 정수막의 재질과 모듈에 따라서 차이가 있기 때문에 제조회사에서 권유하는 방법에 따라서 시행하여야 한다. 역삼투압 정수막의 수명은 대개 2년에서 3년으로 보고 있지만 생성수의 수질을 평가하여 교환여부를 결정하는 것이 좋겠다. 즉, AAMI는 이온 제거율의 적절한 정도는 생성수의 최소 저항값이 1 mhos/cm로 추천하고 있다.

후처리시설 및 분배 시스템

1. 미세필터

1 마이크론 이하의 필터를 역삼투압 정수기 후단에 설치하여 기각되지 못한 마이크론 이하의 입자들을 제거하는 것을 목적으로 설치한다. 대개의 경우 0.2 마이크론의 카트리지를 투명한 하우징에 설치하는 것을 원칙으로 한다.

2. 자외선 소독장치 (UV sterilization)

자외선은 역삼투압 정수기에서 정화된 물의 소독에 사용될 수 있다. 이는 간편하고 유지하기가 어렵지 않고 이로 인하여 화학적 소독의 횟수를 감소시킬 수 있기 때문에 설치하는 병원이 많다. 대개 자외선은 254 nm에서 최대의 살균력을 가지고 있으며 소독의 효과는 방사선양에 좌우된다. 그러므로 자외선 램프는 약 30,000 microwatt-sec/cm² 정도의 에너지를 방출할 수 있어야 한다. 그렇지만 이런 장치가 내독소를 제거할 수 있는 것은 아니기 때문에 투석막 재사용과 같은 상황에서는 사용하면 안될 것으로 여겨지고 있다. 일각에서는 자외선이 세균내 유전자를 파괴하거나 변성을 초래하여 자외선에 저항할 수 있는 균의 발생이나 내독소의 침착을 초래한다는 가능성 때문에 자외선 소독 장치의 불필요성을 강조하고 있다. 특히, 분배시스템에 하자가 있는 경우에는 더욱 유의하여야 한다.

3. 탈이온화장치 혹은 폴리셔

전처리과정을 거친 후 역삼투압 정수장치에서 정화된 물들은 대개 혈액투석용수로 사용되기에 안전하다. 그렇지만 역삼투압 정수 필터가 용해된 전체 이온들 중에서 약 1-10% 정도를 통과시키기 때문에 유입되는 물의 이온 농도가 높다면 역삼투압 정수장치를 통과한 생성수도 위험할 정도로 이온 농도가 높을 수 있다. 이런 이유 때문에 역삼투압 정수장치 후단에 이런 탈이온화 장치나 폴리셔를 설치할 수 있겠다. 요즘에는 투석막 재사용이 실시되면서 보다 정화된 수질이 요구되면서 일부에서는 폴리셔를 설치하는 병원도 있다. 이런 폴리셔의 장점은 정수된 혈액투석용수를 가장 극대화 할 수 있는 것이지만 멤브레인 교환시 많은 경비가 소요되기 때문에 경제성이 결여된다는 주장도 적지가 않다. 만약 적절한 시기에 교체해 주시 않으면 설치하지 않은 것이 더 좋을 수도 있기 때문이다.

4. 저장 탱크 (storage tank)

혈액투석기 20대 규모의 혈액투석실에서 1차 투석시 필요한 생성수는 분당 약 10리터이다. 그리고 온도의 차이에 따라 다르겠지만 역삼투압 정수기의 생성수 능력도 분당 약 10에서 15리터 정도이다. 그러므로 큰 용량의 탱크는 필요치 않을 것으로 생각되며 대개 1차례 투석시 필요한 양의 약 1/10 이상이면 될 것으로 보인다. 즉 20대 규모의 혈액투석실이라면 300리터 규모이면 적절할 것이다. 재질은 국내에서는 2가지로 나누어지는 것으로 조사되었다. 즉, FRP이거나 스테인레스 강판에 의하여 제작되는데 두 가지 모두 혈액투석용수 저장 탱크 재질로서 합당하다. 더욱 중요한 것은 그 모양이라고 말할 수 있겠다. AAMI에서는 특히 그 모양에 대하여 언급한 바가 있는데 물리적인 힘을 가하여 뒹굴 수 있어야 한다고 되어 있다. 그러므로 입구가 좁은 모양보다는 보다 넓은 것이 바람직할 것으로 여겨지며 평시에는 뚜껑을 하여 공기 중에 있는 미생물들의 오염을 방지하여야 한다. 이때 공기 중에 노출되는 부분이 있으면 약 0.2마이크론 필터를 장착하여야 한다. 그리고 밑으로의 모양은 아래쪽으로 저장된 물이 모아져서 빠져나가는 형태가 바람직하다.

분배 시스템

1. 분배 펌프 (delivery pump)

저장 탱크에 있는 정수물을 각 투석기로 배달하기 위해서는 압력을 발생시키기 위하여 분배 펌프가 필요하다. 분배펌프는 정화된 물을 분배하기 때문에 오염이나 부식된 금속에 노출되어서는 안된다. 그러므로 펌프 팬의 재질이 중요하다고 하겠다. 즉 장시간 수분에 노출되었을 때에 부식되지 않는 고급 스테인레스강이나 고급 플라스틱으로 되어 있어야 한다. 대개 2개를 설치하여 교대로 사용되는 것이 모터에 무리를 주지 않아서 바람직하다. 생성되는 압력은 분배되는 파이프의 길이와 내경에 따라서 차이가 있지만 마지막 투석기에 약 2 kgf/cm² 정도의 압력을 전달할 수 있어야 한다.

2. 분배 파이프

고도로 정수된 물을 이동시키는데 이용되는 파이프의 재질로는 polyvinyl chloride (PVC), natural (non-pigmented) polypropylene, stainless steel 및 glass 등이 적합하다. 그렇지만 이런 재질들 중에서 선택하는데 가장 중요하게 고려되는 항목은 바로 경제성일 것이다. PVC 파이프가 가장 저렴하기 때문에 많이 사용되고 있다. 요즘 가격이 상당히 높은 clean PVC 파이프를 설치한 센터가 있는데 이는 polyvinylidene fluoride (PVDF)가 재질인 파이프이며 내면이 마치 유리처럼 코팅되어 있어서 세균의 부착이나 증식을 방해하기 때문에 좋을 것으로 기대되고 있지만 아직까지 고식적 PVC보다 더 좋은 결과를 보였다는 증거는 없는 실정이다. 그렇지만 PVC에도 종류가 많은데 제 1형 즉 플라스틱화 되지 않은 PVC 이면서 Schedule 40과 80에 분류된 것으로 사용하여야 한다.

분배 파이프의 재질도 중요하지만 파이프간 연결방법도 중요하다. 즉 solvent welding이나 threaded fitting에 의하여 연결되어야 한다. 대개의 경우는 파이프의 양단 압, 수 흡에 접착제를 칠한 후 연결하는데 이 접착제가 후에 세균증식을 조장할 수 있기 때문에 피하여야 한다. 요즘에는 주로 테프론 테입을 이용한 연결법이 무난하다. 그리고 굴절부위에서 어떤 격임새 파이프를 사용하는가에 따라서 바이오필름 형성이 차이가 난다. 파이프내 유속을 가능한 일정하게 유지하는 것이 중요한데 격이는 부분에서는 일정할 수가 없다. 그렇지만 층에 따른 유속의 차이를 가장 적게 하면 되기 때문에 90°의 굴절보다는 45°의 굴절이 두 번 이루어지는 것이 바람직하다. 그리고 가능한 T자형의 연결부는 사용을 자제하여야 하며 전체의 분배 시스템은 한 개의 고리형으로 형성하여야 한다. 특히 분배시스템의 끝단을 맹관으로 형성하여 사각 (dead space)을 형성하는 것은 세균증식이나 바이오필름의 형성을 조장할 수 있기 때문에 피하여야 한다. 분배파이프에서 25 cm 이상 가지쳐 나온 파이프는 사각을 형성한다는 이론도 있으므로 각 투석기에 연결되는 파이프는 이보다 짧게 하여야 한다.

수질기준 및 소독 (standards of water quality for HD and disinfection)

1. 수질기준

혈액투석용수의 수질에 대한 기준은 두 가지로 나누어 생각할 수 있겠는데 미세물질 (trace elements)에 대한 것과 미생물 (microorganism)에 대한 기준이다. 미세물질에 대한 기준은 미국 AAMI 기준을 따르는 것에 큰 이견을 보이지 않는다고 하겠지만 역삼투압 정수 장치 생성수의 전도도는 아직 국내의 여건상 조금 차이를 두는 것이 좋겠다. AAMI에서 권유하는 검사 횟수는 적어도 1년에 1회 이상 전체 검사를 시행하여야 하는 것으로 되어 있다. 샘플 채취 장소로는 역삼투압 정수기 후단부와 각 투석기 설치되어 있는 분배 파이프라인에서 2-3군데에서 시행할 수 있으며 샘플 방법은 호스를 연결하여 채취하는 것은 피하여야 하고 적어도 약 30초 이상 물을 흘려버린 후에 검사용 용기에 담아야 한다. 검사를 담당하는 기관은 적어도 공인된 검사인증을 적어도 1년에 1회 이상 검증과정을 거쳐야 한다. 미생물 검사에 있어서는 콜로니 수를 샘플에서 알아보는 것이 중요한데, 대개 샘플을 약 1-2 mL 각 방법에 따라서 배지에 부하시키면 된다. 배지로는 AAMI에서는 tryptic soy agar (TSA-agar), the nutrient poor medium standard methods agar (SMA-agar) 등을 추천하고 있다. 배양 조건으로는 27°C에서 48시간 배양하는 것을 권유하고 있다. 그렇지만 샘플 채취 후 바로 검사가 어려운 상황이면 샘플을 즉시 4°C에 저장하고 늦어도 24시간 내에는 검사를 시행하여야 한다. 기준으로는 혈액투석용수에서는 200 CFU/mL를 초과해서는 안되고 혈액투석액에서는 2,000 CFU/mL를 초과해서는 안되는 것으로 되어 있다. 내독소에 대한 검사는 혈액투석용수에 대한 AAMI 기준은 없다. 그렇지만 유럽, 일본, 캐나다 등에서는 기준을 가지고 있으며 AAMI에서도 투석막 재사용시 사용되는 수질에는 내독소에 대한 기준이 있어서 국내의 사정을 고려할 때 고유량 투석막의 사용이나 투석막 재사용을 시행하는 센터에서는 기준을 두는 것이 합당하겠다. 대개의 경우 Limulus amoebocyte lysate (LAL)-test로 1 ng/mL 이하를 원칙으로 정하고 있

다. 내독소에 대한 검사도 즉시 시행하지 못할 경우에는 -20℃에 보관하였다가 검사를 시행하여야 한다. 미생물 검사의 횟수는 AAMI에서는 1개월에 1회씩 시행하면서 중간에 파이프라인이나 다른 정수시스템의 장비를 교체한 경우에 부가적으로 실시하는 것을 권유하고 있다.

2. 소 독

전처리 과정들은 언제든지 세균이 침착될 수 있다. 역세척을 시행하여 제거할 수도 있지만 충분치 못한 경우는 세균이 증식되어 전체를 오염시킬 수 있다. 그러므로 전처리 과정들의 소독은 중요한데 주로 지속적인 클로린을 주입하여 0.3 mg/L 농도까지 도달하게 한다. 그렇지만 원수에 이미 충분한 농도의 클로린을 함유하고 있다면 필요 없다. 그리고 역삼투압 정수기나 탈이온화 장치 등은 적절한 농도의 포름알데히드, peracetic acid, 혹은 클로린 등으로 제조회사의 지침에 따라 적절히 시행하면 된다. 특히 분배파이프나 저장탱크에 대한 소독도 중요한데 대개의 경우 그 소독 부피를 계산하는 것이 중요하며, 적절한 양의 소독제를 사용하여 약 1시간 정도 저류시키면 소독이 충분한 것으로 되어 있다. 저류시킨 후 소독제를 적절히 씻어 내야 하는데 대개 6-8시간 이상 소요된다.

기 타

햇빛이 정수실내로 들어오면 여러 가지 부작용을 나타낼 수 있는데 그 중에서 필터에 침착된 이물질이나 미생물들을 증식시킬 수 있는 에너지를 공급한다는 것이다. 그리고 가시적 변화를 가지고 필터나 카트리지를 교환하여야 하는데 햇빛에 의하여 변색되거나 오히려 변색을 방해하여 적절한 교체시기를 놓칠 수 있기 때문에 차광시설은 필요하다.

정수실내로 유입되는 공기는 어느 정도 여과된 것이 필요하다. 그리고 정수실내에 있는 공기도 이온청정기나 필터를 이용하여 오염물질들을 제거하는 것도 필요하다.

정수실에는 샘플 채취나 파이프나 필터 교환시 물을 흘릴 수 있다. 이것이 적절히 배수되지 않으면 세균이나 오염의 원인을 제공할 수 있기 때문에 방수처리와 적절한 배수구가 필요하다. 특히 배수구는 폐쇄처리된 장치가 필요하다. 평상시에는 배수통로와 정수실간에 막혀 있다가 물을 흘리면 개구되면서 배수되는 장치가 필요하다. 그래야 배수로를 통한 정수실의 오염이나 악취의 전파를 예방할 수 있다.

참 고 문 헌

- 1) 국민건강보험공단 일산병원 신장센터 설립기념 심포지움: "혈액투석용수의 수질관리". 2001
- 2) 'AAMI standards and recommended practices', Vol 3 dialysis, 1998ed
- 3) 'A manual on water treatment for hemodialysis' FDA, 1989