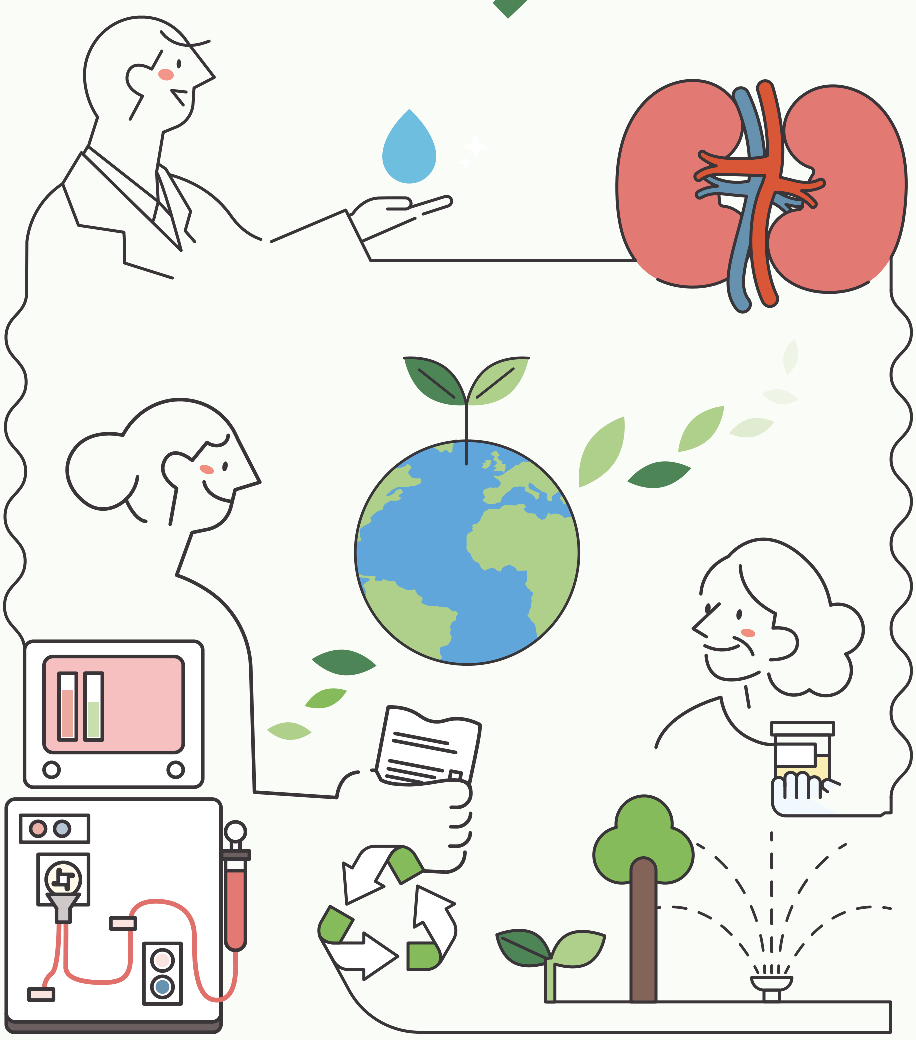
지속가능한 신장치료 권고안

The Korean Society of Nephrology 2024
A Position Statement and Recommendations for
Sustainable Kidney Care



대한신장학회
THE KOREAN SOCIETY OF NEPHROLOGY

목차

1장 혈액투석에서의 물 절약을 위한 제안 ······ 14

2장 혈액투석에서의 폐기물 감소를 위한 제안 ······ 28

3장 혈액투석에서의 에너지 절약을 위한 제안 ······ 48

4장 혈액투석에서의 탄소 발자국 감소를 위한 제안 ······ 56

5장 복막투석에서의 물 절약을 위한 제안 ······ 64

6장 복막투석에서의 폐기물 감소를 위한 제안 ······ 68

7장 복막투석에서의 탄소 발자국 감소를 위한 제안 ······ 73

8장 지속성 신대체요법에서의 물 절약에 대한 제안 ······ 82

9장 지속성 신대체요법에서의 폐기물 감소를 위한 제안 ······ 84

10장 지속성 신대체요법에서의 에너지 절약을 위한 제안 ······ 89

추천사

인간이 초래한 오염으로 인한 기후 비상사태는 급속히 진행되고 있고, 이후 더 악화할 것으로 예견됩니다. 이러한 환경 및 기후의 변화는 이미 신장 질환의 발생과 분포에 영향을 미치고 있으며 그 영향은 더욱 두드러질 것입니다. 또한 기후 변화로 인한 기상 이변의 증가는 신장 질환 환자에 대한 치료 제공에 불안정한 영향을 미칠 수도 있다고 여겨집니다. 과도한 열은 심각한 체액 고갈로 인한 급성 및 만성 신장 질환의 위험을 증가시키며, 화석 연료 연소에 의한 입자 오염은 만성 신장질환의 진행을 가속화하고 동반 질환으로 인한 부담을 가중하는 것으로 알려져 있습니다. 아이러니하게도 의료는 이러한 환경 문제의 일부이며, 자원 고갈과 온실가스 배출에 크게 기여합니다. 헬스케어 부문은 전 세계 온실가스 배출량의 4% 이상을 발생시키며, 일부 지역에서는 최대 8%까지 영향을 미친다고 알려져 있습니다. 의료 요법 중에서도 투석이 환경에 미치는 영향은 특히 높은 것으로 알려져 있으며, 이는 신장학 공동체가 환경 측면에서 책임 있는 관리 지침을 도출하는 데 중요한 역할을 해야 한다는 것을 시사합니다.

이러한 역할을 담당하기 위한 노력의 일환으로 대한신장학회에서는 'Green Nephrology'의 기치 아래 학회를 진행하면서 관련 캠페인을 진행할 예정입니다. 이를 위해서는 신장치료 시설의 자원 사용 및 폐기물 생성에 대한 모니터링을 강화하고, 투석치료가 환경에 미치는 영향을 최소화하기 위한 여러 가지 노력이 필요할 것입니다. 이 캠페인을 통하여 환경이 콩팥병에 미치는 영향과, 우리의 치료 과정이 환경에 미치는 영향에 대한 인식을 제고하고, 우리의 역할에 대한 중요성을 모두 공감하도록 노력할 것입니다. 또한 이러한 심각성에 대하여 대국민 콩팥 건강 홍보 활동을 펼치고 유관 학회 및 보건당국과 협력하여 범국가적인 대응 전략의 마련을 위해 노력할 것입니다. 이러한 활동의 하나로 이번에 대한신장학회 지속가능한신장치료특별위원

회의 주도하에 “대한신장학회 지속가능한 신장치료 권고안”을 발간하게 되었습니다. 이 권고안은 투석치료의 환경영향을 줄이기 위한 관리 목표와 함께 효율적인 대응 방안을 구체화할 지침을 만들어가는 기반 자료가 될 것으로 기대됩니다. 차후 체계적이고 실질적인 대처방안 마련에 도움이 되었으면 합니다.

앞으로도 대한신장학회는 우리나라 콩팥병 예방과 치료를 위하여 가장 앞장서서 대처하도록 하겠습니다. 감사합니다.

2024년 6월 13일

대한신장학회 이사장 임춘수

서문

최근 여러 연구를 통해 환경조건의 악화가 콩팥질환의 악화 및 신기능의 감소를 유발한다는 것이 잘 알려져 있다. 역설적으로 콩팥병 환자 치료 과정, 특히 투석 치료와 같이 에너지와 물자를 집약적으로 투입해야 하는 치료 과정에서 사용된 자원과 부산물이 환경에 상당한 부담으로 작용하고 있는 것 또한 현실이다. 이에 대한신장학회는 신장질환 치료에 따른 환경 부담을 최소화하고 지속가능한 신장치료를 정착시킨다는 비전을 선포하고자 한다. 이러한 비전에 따라, 학회는 다양한 방법의 투석 치료 과정에서 차후 환경 부담을 줄이기 위해 개선할 수 있는 점들을 도출하고 정리한 지침을 제시하고, 이를 알리는 노력을 통해 회원들의 관심을 고취하며, 회원들이 이러한 개선 사항에 적극적으로 동참할 수 있도록 하는 통합적 노력을 기울여 지속가능한 신장치료의 발전에 앞장서 나아가고자 한다.

금번 발표되는 지속가능한 신장치료 권고안은 이러한 대한신장학회의 노력의 첫 발걸음이 될 것이며 이를 바탕으로 보다 다양한 노력과 연구를 진행하여 차후 개선 가능한 사항을 치료 과정에 구체적이고 적극적으로 적용할 수 있는 지침을 도입할 수 있도록 지속적으로 나아갈 것이다.

지속가능한신장치료특별위원회

위원장, SKC위원회

고강지
고려대학교 구로병원

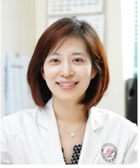
간사, SKC위원회

양지현
강북삼성병원

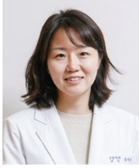
위원

강은정
서울대학교병원

김소미
단국대학교병원



김좌경
한림대학교 성심병원



문주영
경희대학교병원

박요한
건양대학교병원

위정국
신우내과의원

이하린
부산대학교병원

황영환
정언내과

최경호
서울대학교 보건대학원

김대현
고려대학교 구로병원

혈액투석

1장 혈액투석에서의 물 절약을 위한 제안

2장 혈액투석에서의 폐기물 감소를 위한 제안

3장 혈액투석에서의 에너지 절약을 위한 제안

4장 혈액투석에서의 탄소 발자국 감소를 위한 제안

혈액투석 Key Messages

1.1 혈액투석의 투석액 생산과정에서 반류수(Reject Water)를 감소시키기 위한 노력을 적극적으로 시행하여야 한다.

1.1.1 수자원의 효율적인 사용과 보존을 위해 반류수의 생산량과 역삼투 정수시설의 재순환율을 지속해서 정량 측정하여 모니터링하는 것을 제안한다.

1.1.2 다양한 시각에서 반류수를 줄이기 위한 노력을 고려한다.

1.2. 혈액투석의 투석액 생산과정에서 반류수를 재활용하기 위한 노력을 적극적으로 시행하여야 한다.

1.2.1 반류수를 현지 사정에 따라 재사용 혹은 재활용이 가능한 하나의 자원으로 적극적으로 활용할 것을 제안한다.

1.2.2 재사용의 적합성을 판단하기 위해서 반류수의 조성에 대한 연구 시행을 권고한다.

1.3 혈액투석 효율의 감소가 없는 한도에서의 투석액 유속(Qd) 감량은 수자원을 절약할 수 있는 방법으로 고려할 수 있다.

1.3.1 현재 표준으로 사용하는 500 ml/분의 Qd에서 400 ml/분으로 20% 낮출 경우 혈액투석 한 회당 최대 약 100 L의 물을 아낄 수 있다.

1.3.2 Qd를 400 ml/분으로 혈액투석 했을 때 500 ml/분과 비교하여 Kt/V 등의 투석 효율 또는 단기 임상 결과의 유의한 차이가 없기 때문에 적용을 고려할 수 있다.

1.3.3 Qd를 자동 조절하는 기능 활용은 물 사용량을 줄이는 데 도움이 될 수 있다.

2.1 투석실에서 배출되는 폐기물은 해당 지역의 지침에 따라 우선적으로 의료폐기물과 일반폐기물로 명확한 분류를 시행할 것을 권고한다.

2.1.1 한국의 의료폐기물은 격리의료폐기물, 위해성의료폐기물, 일반의료폐기물로 분

류된다.

2.1.2 일반폐기물이 의료폐기물과 분리되지 않고 혼합 배출될 경우, 의료폐기물로 간주되어 처리 물량과 비용이 증가한다.

2.2 투석실의 의료폐기물 감소를 위해서는 제조 단계부터 폐기물을 줄이기 위한 환경친화적 설계가 중요하며, 이는 투석기기, 소모품뿐만 아니라 투석시스템 전체로 확대해 나갈 것을 제안한다.

2.2.1 투석실 의료폐기물의 효과적인 감소를 위해, 제조사는 투석기기, 소모품에 환경친화적 설계를 적용할 것을 제안한다.

2.2.2 투석액공급시스템은 중앙투석액공급시스템이 개별투석액공급시스템에 비해 의료폐기물 발생 측면에서 이점이 예상되나, 임상적 안전성 측면을 같이 고려해야 한다.

2.3 투석실 폐기물의 재활용을 위해서 해당 지역의 지침에 따라 투석실 일반폐기물 중 재활용이 가능한 품목을 분류하고, 실제 재활용이 될 수 있도록 관련 종사자 교육을 강화할 것을 제안한다.

2.3.1 투석 관련 폐기물의 재활용을 촉진하기 위해서 실제 의료 현장을 바탕으로 한 재활용 가능 품목을 명확히 하고, 처리 방법에 대한 표준화된 프로토콜을 마련할 것을 제안한다

2.3.2 투석실의 재활용 물품에 대한 올바른 분류, 처리에 대한 종사자 교육을 강화하고, 지속적인 모니터링을 시행할 것을 제안한다.

2.4 투석 관련 물품의 재사용은 감염으로 인해 극히 제한적이나, 경제 여건에 따른 의료 제공 확대 측면에서 투석 필터의 재사용을 고려할 수 있다. 하지만 엄격한 소독 기준을 준수해야 하며, 이에 대한 안전성과 비용-편익 분석에 대한 연구가 수반되어야 한다.

3.1 투석실 설비의 에너지 최적화를 고려한다.

3.1.1 혈액투석실의 조명, 냉난방, 단열 등 에너지 효율을 극대화할 수 있는 시설을 적극적으로 설치하고 활용하도록 권고한다.

3.1.2 가능한 혈액투석 관련 시설에는 재생 에너지를 최대한 활용하여 전원을 공급하는 것을 적극적으로 고려하고 검토한다.

3.1.3 혈액투석실에서 사용되지 않는 에너지를 감소시킬 수 있는 방법(탈의실의 센서등 설치, 사용하지 않는 기계 전력 차단 관리, 투석실 미운영 시간 전체 전력 차단 마스터스위치 적용)을 적극적으로 적용하고 관리하는 것을 제안한다.

3.2 투석과 관련된 모든 구성원이 적극적으로 에너지 절약에 참여할 수 있도록 권고한다.

3.2.1 기업: 에너지 효율을 극대화하기 위한 여러 방법이 기존 투석기기에 적용되어 있으나, 추가적인 최적화 모델 개발을 위해 노력한다.

3.2.2 학회 및 정부: 에너지 절약에 최적화된 혈액투석실의 설계와 사용, 친환경보고 시스템(Eco-Reporting System)을 확산시킬 수 있도록 표준화된 지침 등을 제안한다.

3.2.3 환경 보존 문화를 확산하고 각 개인의 환경 인식을 변화시키기 위해 에너지 보존 및 탄소 중립과 관련된 문제에 대한 교육을 환자 및 직원 교육 프로그램에 포함시키는 것을 제안한다.

4.1 혈액투석 치료과정에서 탄소 발자국의 감소를 위해 재생에너지 활용을 적극적으로 고려할 것을 제안한다.

4.2 혈액투석 치료 과정에서 탄소 발자국의 감소를 위해 환자와 의료진에게 대중교통을 적극적으로 활용하도록 교육할 것을 제안한다.

1장 혈액투석에서의 물 절약을 위한 제안

Key Messages

1.1 혈액투석의 투석액 생산과정에서 반류수(Reject Water)를 감소시키기 위한 노력을 적극적으로 시행하여야 한다.

1.1.1 수자원의 효율적인 사용과 보존을 위해 반류수의 생산량과 역삼투 정수시설의 재순환율을 지속해서 정량 측정하여 모니터링하는 것을 제안한다.

1.1.2 다양한 시각에서 반류수를 줄이기 위한 노력을 고려한다.

Current Issues

유지 혈액투석은 다량의 물을 소비하는 치료기법이다. 500 mL/min의 투석액 유속으로 주 3회, 4시간 동안 투석을 시행할 시 대략 연간 20,000 L의 물이 소비되며, 혈액투석여과(HDF)는 일반 혈액투석보다 10~30%의 물을 추가로 소비한다[1]. 투석 기계의 프라이밍(Priming), 세척과 소독 역시 물이 필요하다. 역삼투(Reverse Osmosis, 이하 RO) 기법을 이용하여 투석에 적합한 물을 생산하는 과정은 중금속과 내독소를 제거하기 위해 필수불가결로 반류수를 생산하게 된다. 하지만 '반류수'라는 단어 자체가 부정확한 명칭이다. 이는 폐기 전 이미 여러 개의 필터를 통해 여과된 물이기 때문이다[그림 1]. 통상적으로 대부분의 혈액투석 시설이 반류수의 일부를 하수로 폐기 처리하고 나머지 일부는 재순환 시켜 역삼투막을 다시 통과시켜서 사용하기도 한다.

정수시설과 원수 온도 등 다양한 요인이 반류수의 생산량을 결정하게 된다. 저효율 정수시설은 원수의 60~70%까지 폐기하지만, 새로운 고효율 정수시설은 이러한 비율을 20%까지 감소시킬 수 있다. 고효율 정수시설은 원수 사용을 50% 정도까지 절감할 수 있다는

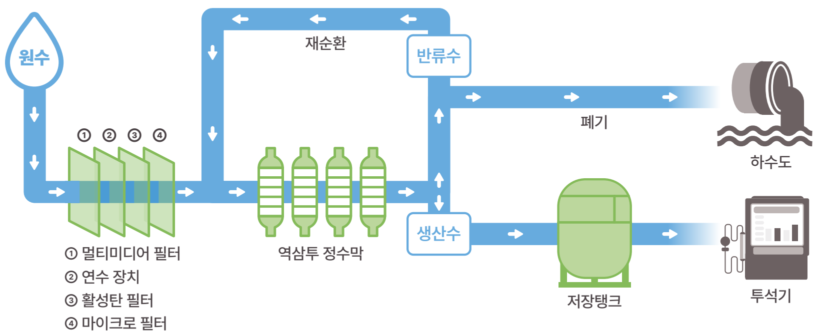


그림 1 역삼투 장치를 이용한 생산수와 반류수의 배출

장점이 있으나 가격이 더 비싸고 저효율 정수시설에 비해 필터의 수명이 짧다는 단점이 있다[2]. 특히 한국의 경우에는 원수자체의 질관리가 잘 되어 있고 미네랄 성분도 적은 편이라 이런 시설을 통한 이점을 더 많이 누릴 수 있겠다. 원수의 온도 역시 반류수의 생산량에 영향을 미치게 되며, 높은 원수 온도는 생산수를 증가시키는 반면에 낮은 원수 온도는 생산수를 감소시킨다[3]. 한국처럼 계절의 구분이 뚜렷한 나라에서는 5월부터 9월까지 온난한 기후에 생산 수의 양이 늘어나는 경향을 보인다. 한국의 단일 센터에서 조사한 생산수와 반류수의 비율을 살펴보면 온도에 따른 차이가 있지만 평균적으로 원수의 30~40%가 반류되는 것을 알 수 있다[그림 2].

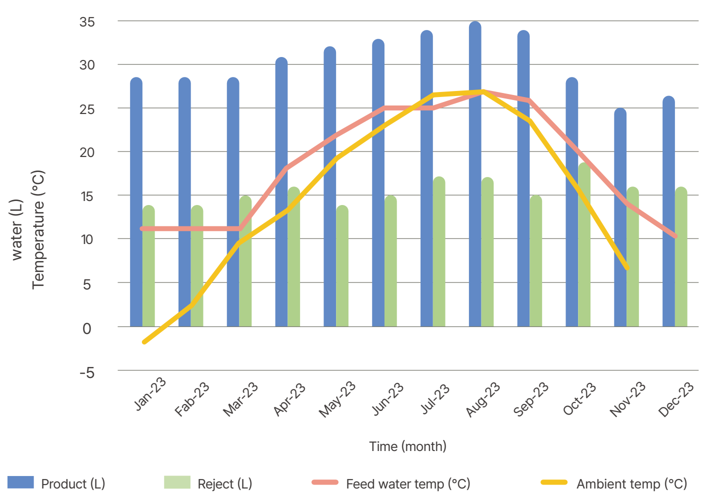


그림 2 단일 센터에서 1년 동안 생산된 반류수의 양

Statements

투석액의 생산에 있어 원수와 함께 재순환된 반류수를 함께 사용하고 있지만, 대부분의 정수기 회사는 일정한 역삼투막 압력을 유지하고 기계의 효율성에 초점을 맞추고 있어 현재까지 반류수 중 정확히 얼마의 물이 재순환 되는지, 또한 이로 인해 초여과수 생산에 어떻게 영향을 미치는지는 연구가 되어 있지 않은 실정이다. 따라서 반류수를 줄이기 위해서는 역삼투 장치를 디자인하는 설계자, 신장내과 의사, 그리고 정부 유관부서 등의 다양한 시각을 통해 접근해야 한다. 더불어, 역삼투 장치의 효율을 높이기 위한 디자인과 생산수 대비 버려지거나 재순환되는 반류수의 비율에 대한 추가적인 연구를 제안한다. 물자원 사용에 대해 적절히 모니터링 하기 위해 물사용량을 측정하는 계측기의 설치를 권고하며, 특히 각 기계 및 역삼투압 정수시스템에 설치하여 치료에 사용되는 전체 물자원의 양을 확인하고 모니터링 하는 것이 필요하겠다.

Key Messages

1.2 혈액투석의 투석액 생산과정에서 반류수를 재활용하기 위한 노력을 적극적으로 시행하여야 한다.

1.2.1 반류수를 현지 사정에 따라 재사용 혹은 재활용이 가능한 하나의 자원으로 적극적으로 활용할 것을 제안한다.

1.2.2 재사용의 적합성을 판단하기 위해서 반류수의 조성에 대한 연구 시행을 권고한다.

Current Issues

통상적으로 반류수는 하수도로 폐기되며 현재까지 다른 실용적인 목적을 위해 반류수

를 따로 모아 재사용한 사례는 국내에서 보고된 바가 없다. 반류수는 농업 및 음용을 위한 세균 수 기준치를 만족시키지만, 전도도가 높고 투석에 사용할 수 없는 각종 전해질을 포함하고 있어 전해질을 제거하기 위한 탈미네랄화(Demineralization)와 담수화(Desalination) 과정이 필요하다. 반류수의 가능성에 대해 평가한 연구는 그 수가 많지 않지만 Eason과 동료들이 말레이시아에서 시행한 연구를 통해 반류수의 조성을 평가한 바가 있다[표 1] [4].

검사항목	단위	원수	반류수	초여과수
알루미늄	mg/L	0.061	0.015	<0.001
구리	mg/L	0.001	0.001	<0.001
불소	mg/L	0.43	0.78	0.05
질산염	mg/L	0.6	1.0	<0.1
황산염	mg/L	7	13	<2
아연	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001
바륨	mg/L	0.010	0.015	<0.001
칼슘	mg/L	4.73	9.72	<0.001
마그네슘	mg/L	0.77	0.80	<0.001
나트륨	mg/L	2.72	4.17	0.45
칼륨	mg/L	3.24	4.87	0.024
총 염소	mg/L	1.58	0.05	<0.02
비소	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001
납	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001
은	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001
크롬	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001
셀레늄	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001
수은	mg/L	0.0002	<0.0001	<0.0001
pH	mg/L	7.5 @25°C	7.0 @25°C	6.3 @25°C
총 용해 고형물질	mg/L	53.2	85.4	1.79
경도	mg/L	15.01	27.56	<1
안티모니	mg/L	<0.001	<0.001	<0.001

베릴륨	mg/L	<0.0001	<0.0001	<0.0001
탈륨	mg/L	<0.001		<0.001
총 생존 세균 수	Cfu/mL	<1	59	2

표 1 원수, 반류수, 초여과수의 조성

전 세계적으로는 일부 투석센터가 재분배 시스템을 이용하여 반류수를 재사용하고 있다[3]. 이러한 투석센터들은 현지의 조달 가능한 자원과 처리방식을 활용하여 반류수를 재사용하고 있다. 말레이시아에서는 반류수를 이용하여 어류양식과 농업에 활용하고 있다[그림 3]. 호주에서는 반류수를 가열하여 의료기구를 소독하는 증기를 생산하는 데 쓰고 있으며 모로코에서는 정원과 조경에 물을 주는 데 활용하고 있다.

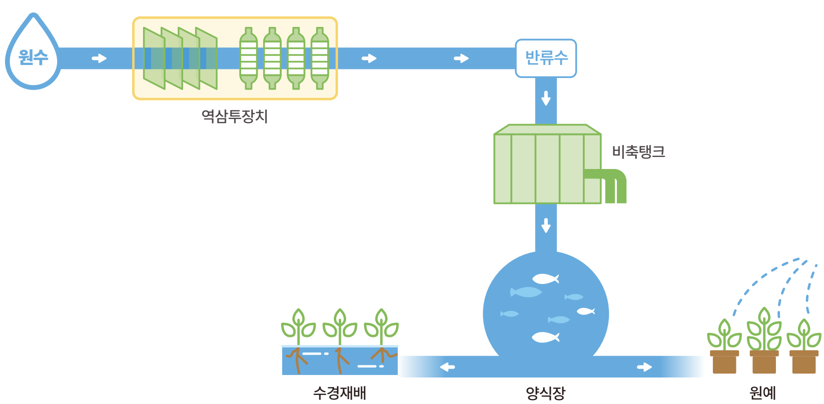


그림 3 말레이시아에서 시행 중인 반류수 재사용의 모식

반류수는 높은 전도도로 인해 농업용수나 공업용수로 활용하기 위해서는 탈미네랄화 과정이 반드시 필요하다. 이러한 과정에서 처리 정도는 활용 방법에 따라 달라진다. 이를 위해 여러 가지 증류, 증발, 전기투석(Electrodialysis) 등 다양한 처리 방법이 비용 대비 효과 및 안정성 측면에서 연구되고 있으나 아직 명확하게 우월한 방법은 없다. 생태 보존을 위한 이득을 제하더라도, 반류수를 처리해서 재사용하는 비용과 '처리된' 반류수를 보관할 공간에 대한 논의도 함께 이루어져야 한다.

Statements

현지의 필요에 따라 반류수를 재활용하는 노력을 기울여야 한다. 반류수를 처리해서 재활용하는 것에 대한 근거를 만들기 위해서는 국내에서 생활용수를 생산할 수 있는 다른 처리 방법과 비교한 비용-편익 분석과 하수 방출 감소로 인한 생태학적인 파급 효과에 대한 연구를 시행하는 것을 제안한다. 해외 사례를 보면 청소, 농업용수, 물고기 양식 등 다양한 방법으로 반류수를 활용하고 있으며 정수된 깨끗한 물의 활용 방법은 무궁무진하다. 우리나라 역시 인공신장실의 지리적 배치나(농촌 대 도심지역) 인근 시설(농지, 바다 등)에 따라 반류수를 처리하고 보관하는 것이 모두 득이 된다고 보기는 어려우며 지역 사회와 연계하여 다양한 활용 방법을 논의하도록 고려해야 한다.

Future Perspectives

궁극적으로 투석으로 인해 버려지는 물이 없도록 '용액 비배출 정책(Zero Liquid Discharge Policy)'을 목표로 하는 것을 제안한다.

Current Issues

심화되는 물 부족과 더불어 혈액투석으로 발생하는 환경적 효과를 고려하였을 때, 반류수를 감소, 재사용, 재활용하는 방법에 대한 논의가 필요하다. 이 제안에서는 반류수를 감소, 재사용, 재활용하는 방법을 통해 더욱 환경친화적인 투석을 위한 방향성을 고민하였다.

Statements

미래를 위해 한국에서의 친환경투석(Green Nephrology)은 '용액 비배출 정책(Zero Liquid Discharge Policy)'을 목표로 하여 반류수를 포함한 원수가 투석 혹은 재사용되어 버려지는 물이 없도록 하는 것을 목표로 하여야 한다. 이러한 과정은 초여과, 역삼투, 증발

그리고 전기투석 같은 여러 과정을 거치게 된다. 이러한 처리시스템 개발은 복잡하고 비용이 많이 들 수 있지만, 장기적인 측면에서 오히려 비용 및 환경에 이득이 될 수 있다. 현시점에서는 이론적인 측면에 대한 논의만 진행되었지만 첨단 기술을 응용한 투석에 대한 연구는 꾸준히 진행되고 있다. 신장내과 의사, 정부 산하 유관부서, 그리고 역삼투 장치 개발자들의 협업을 통하여 친환경투석을 발전시키는 연구와 투자가 필요하다. 향후 연구 방향으로는 대한민국의 다양한 혈액투석실에서 생산되는 반류수의 조성과 비율에 대한 연구가 필요하며 현지의 필요와 요구도에 따라 반류수의 재활용 방법에 대한 논의가 지속되어야 한다.

참고문헌

1. Piccoli GB, Cupisti A, Aucella F, Regolisti G, Lomonte C, Ferraresi M, Claudia DA, Ferraresi C, Russo R, La Milia V, Covella B, Rossi L, Chatrenet A, Cabiddu G, Brunori G, On the Behalf of Conservative treatment PaaPdpgotISoN: Green nephrology and eco-dialysis: a position statement by the Italian Society of Nephrology. Journal of Nephrology 33:681-698, 2020.
2. Bendine G, Autin F, Fabre B, Bardin O, Rabasco F, Cabanel J-M, Chazot C: Haemodialysis therapy and sustainable growth: a corpo rate experience in France. Nephrology Dialysis Transplantation 35:2154-2160, 2020.
3. Tarrass F, Benjelloun M, Benjelloun O, Bensaha T: Water Conservation: An Emerging but Vital Issue in Hemodialysis Therapy. Blood Purification 30:181-185, 2010.
4. Chang E, Lim JA, Low CL, Kassim A: Reuse of dialysis reverse osmosis reject water for aquaponics and horticulture. Journal of nephrology 34:97-104, 2021.

Key Messages

1.3 혈액투석 효율의 감소가 없는 한도에서의 투석액 유속(Qd) 감량은 수자원을 절약할 수 있는 방법으로 고려할 수 있다.

1.3.1 현재 표준으로 사용하는 500 ml/분의 Qd에서 400 ml/분으로 20% 낮출 경우 혈액투석 한 회당 최대 약 100 L의 물을 아낄 수 있다.

1.3.2 Qd를 400 ml/분으로 혈액투석 했을 때 500 ml/분과 비교하여 Kt/V 등의 투석 효율 또는 단기 임상 결과의 유의한 차이가 없기 때문에 적용을 고려할 수 있다.

1.3.3 Qd를 자동 조절하는 기능 활용은 물 사용량을 줄이는 데 도움이 될 수 있다.

Current Issues

현재 혈액투석 중 투석액 유속은 500 ml/분이 표준이다. 혈액투석막의 디자인과 성능이 개선되면서 투석막 내부의 투석액 흐름이 최적화되었기 때문에 더 낮은 유속에서도 적절한 클리어런스(Clearance)를 얻을 수 있게 되었다[1]. 만일 투석액 유속을 400 ml/분으로 20% 낮출 경우, 1회 투석마다 24 L의 물을 줄일 수 있고, 투석액을 만드는 과정 중 버려지는 반류수까지 생각한다면 최대 약 100 L의 물을 아낄 수 있다[2]. 그러나 투석액 유속을 낮췄을 때 투석의 물질 제거 효율이 낮아지고 혈중 전해질이 변화하면서 환자의 임상 결과에 영향을 미칠 수 있다는 우려가 있다.

혈액투석에서 발전된 온라인 혈액투석여과(Online Hemodiafiltration, 이하 OLHDF) 역시 투석액 유속은 500 ml/분을 표준으로 한다. Albalate Ramon 등은 온라인 혈액투석여과를 받는 37명의 환자에서 전향적교차시험연구를 통해서 투석액 유속 500, 600, 700 ml/분을 비교했는데, Qd 500에 비해서 600 또는 700으로 올렸을 때 Kt가 1.7% 상승했지만, 투석액 사용량은 각각 20%, 40%로 늘어나 임상적으로 Qd 500 이상 높이는 것은 상대적으로 임상적 의의는 없다고 보고하였다[3]. 이처럼 혈액투석여과에서 500 ml/분의 투석액 유속이 600~700 ml/분의 유속과 차이가 없음은 기존 연구에서 입증된 바 있으나 그 이하로 낮출 수 있다면 물 사용량을 줄이는 데 더 큰 결과를 얻을 수 있다.

최근 일부 투석기 모델의 경우 자동으로 Qd를 조절하는 기능이 탑재되어 있어 이를 활용해서 물 사용량을 줄일 수 있다[2, 5]. 예를 들어, FMC5008 투석기에 탑재된 AutoFlow 옵션은 혈류속도(Qb)의 1.5배로 Qd를 자동 설정하는 기능이다. 영국의 한 센터에서 수행한 연구는 Autoflow 기능을 사용했을 때 이전에 비해서 물 사용이 9% 감소했고, 연간으로 따지면 약 1,140 ㎥, 혹은 400 t의 물에 해당하는 물이 절약되며 연간 이산화탄소 배출량을 3,715 kg CO_2e을 줄이는 효과가 있다고 보고하였다[6]. 한편 Mesic 등은 FMC5008 장비의 Autosub 및 Autoflow 기능을 사용한 온라인 혈액투석여과와 고유량 혈액투석을 무작위배정교차시험 방법으로 6주 간 54명의 환자에서 비교했을 때 온라인 혈액투석여과군에서 혈액투석군보다 투석액 사용량은 8% 감소한 반면, Kt/V는 3.5% 높게 나왔다고 보고하여 혈액투석여과에서 Qd를 자동으로 조절하는 기능을 적용하는 게 효율의 감소 없이 투석액 사용을 줄이는 데 도움이 됨을 시사했다[7]. Canaud 등은 혈액투석여과를 적용할 때 혈류속도 대비 투석액 유속의 비율을 1.4배 정도로 유지해야 한다고 권고하였는데, 이는 현재 Autoflow 모듈에서 적용하는 수치와 거의 일치한다[8].

혈액투석 환자에서 500 ml/분의 투석액 유속과 그 이하의 유속으로 낮췄을 때 Kt/V, Kt 또는 β_2MG 클리어런스 등의 물질 제거 효율과 칼륨, 인산염 등의 임상결과지표를 비교분석한 연구를 찾을 수 있다. 이 중 Molano-Trivino 등의 연구는 1980년 1월부터 2017년 6월까지의 기간에 걸쳐 체계적문헌검색을 수행한 결과 총 816건의 연구를 추출했고 이 중 11건의 연구를 최종 선택했다[9]. 그러나 일부 문헌은 국내 투석 현실에 적용하기 어렵다는 등의 이유로 제외했을 때 총 6편의 연구를 검토했다[표 1]. 대부분의 연구에서 Qd 500 이하로 낮출 경우 저분자량 물질의 제거 효율이 다소 감소하는 결과를 보였으나, 임상적 의의는 분명하지 않았으며 칼륨, 인산염, β_2MG를 비롯한 혈중 수치의 변화는 큰 차이가 없었다. 모든 연구에서 장기 임상 결과는 평가되지 않았으며, 아직 결과는 발표되지 않았으나 콜롬비아의 연구진이 5년 이상 추적 관찰하는 연구를 진행 중에 있기에 그 결과를 기대하고 있다.

그렇다면, 혈액투석여과 환자에서도 Qd를 500 이하로 낮출 수 있는가 같은 임상 질문을 가지고 문헌을 검색했을 때, Maduell 등은 59명의 Post-dilution 온라인 혈액투석여과

환자에서 투석액 유속을 300, 400, 500, 600, 700 ml/분으로 각 5회씩 시행하면서 요소, 크레아티닌, β_2MG 등의 혈중 농도 감소율을 비교했다[10]. Convection volume에 차이는 없었고, Qd 500에서 400, 300까지 감량하였을 때 Kt는 각각 73, 71, 68 L로 감소하였고, URR(Urea Reduction Ratio) 역시 84.1%, 83.6%, 82.5%로 낮아지는 것을 보였지만 다른 중분자 물질 제거의 차이는 없었다[10]. 그러나 혈액투석여과 환자에서 연구가 부족한 실정인 점을 고려할 때 결론을 내기는 아직 이르다. 또는 물 사용량의 증가없이 Conventional HD과 비교해서 중분자 물질 제거 효율을 높이고자 할 때 최근 개발된 Theranova®나 Elisio HX® 등의 MCO membrane을 사용하는 Expanded HD가 하나의 대안이 될 수 있다.

Statements

이상의 결과를 종합했을 때, Qd를 400 ml/분으로 혈액투석을 시행하는 것이 500 ml/분과 비교하여 투석 효율과 임상 지표의 유의한 차이 없이 적용 가능하고 물 사용량을 줄일 수 있는 방법이다. 여건이 가능하다면 투석액 속도를 자동으로 조절하는 것이 투석액 사용과 물을 절약할 수 있는 방법이다.

Author (year)	Study subject	Study design	Membrane	Qd (ml/min)	Follow up duration	Outcome	Conclusion	Reference
Kirchner (1984)	N=20; Chronic stable HD, x3/week, acetate HD	Before-/after study	Rexeed-15 (Gambro)	500 (baseline) → 300	12 & 24 months	Kt/V, serum chemistries, blood pressure, nerve conduction, EEG	No difference between Qd 500 vs 300 ml/min; Qd 300 is associated with ↑P which appears to be self-limiting	[11]
Hauk (2000)	N=23; stable HD x3/week	Single center, cross-over design	GFS Plus 20, Polyflux 14, 17, and 21	300 vs 500	6 weeks	Kt/V increased from 1.19 @ Qd 300 to 1.32 @ Qd 500	The proportion of patients not achieving Kt/V > 1.2 was reduced from 56% at Qd 300 to 30% at Qd 500	[12]
Bhimani (2010)	N=12; stable HD x3/week with BFR 400	Single center, cross-over	Optiflux F160NR, F200NR, Revaclear and Revaclear MAX	350 vs 500	12 weeks	Clearances of urea, phosphate, b2MG	Clearances of urea and phosphate, but not β2-microglobulin, increased significantly with increasing Qd ; but no significant effect on KoA	[13]
Alayoud (2012)	N=33; Stable HD x 3/week, expected fluid removal < 3 L	Single center, cross-over design	Polyflux H 140, 170, 210	Autoflow (404) vs 500	6 weeks	Kt/V was 1.50 at Qd 500 and 1.49 with AF	increasing Qd more than the model of AF predicted had a small effect on the delivered HD dose	[14]
Albalate (2015)	N=22; stable HD, x2 or x3/week	Prospective single center cross-over study	Xenium H, Xenium Nm FX80, Polyflux 210	500 (6 sessions) vs 400 (6 sessions)	6 months	Kt	Increasing Qd from 400 to 500, Kt increases by 4%; but Identical Kt could be obtained with Qd of 400 and 500, increasing dialysis time 9.1' and saving 20% of dialysate	[4]
Molano_Trivino (2018)	N=46; stable HD, x3/week, body weight < 65kg	Rando mized, cross-over	Xenium 110 and 130	400 vs 500	8 weeks	No difference in Kt/V	The reduction in Qd in small patients has no impact in terms of Kt/V, interdialytic weight gain, blood pressure and electrolytes	[15]

표 1 Effects of low dialysate flow rates (Qd) compared with standard Qd at 500 ml/min, in Hemodialysis patients

Future Perspectives

혈액투석과 혈액투석여과 환자에서 투석액 유속 감소의 장기적인 영향 및 물 사용을 감소시키기 위한 다양한 투석 방법에 대해서 차후 지속적인 임상연구가 필요하다.

Current Issues

지금까지 소개한 연구 중 결과 지표로 투석 환자의 생존율이나 주요 임상 결과를 비교한 연구는 없었다. 따라서 혈액투석과 혈액투석여과 환자에서 투석액 유량을 낮췄을 때 장기 결과를 비교 평가하기 위한 임상연구가 필요하다.

이와 함께 새로운 혈액투석 기술의 발전으로 투석액을 줄일 수 있는 방법이 등장하고 있다. 투석막을 거친 투석액을 재순환하여 사용하는 Sorbent Dialysis는 약 6 L 정도의 물만 필요하므로 상용화될 경우 물 사용량 절감에 있어 큰 효과를 기대할 수 있다[1]. 또한 기존의 HD에 비해 물 사용량이 약 10%에 불과한 NxStage 같은 장비를 이용한 재택혈액투석(Home Hemodialysis, 이하 Home HD) 역시 물을 절약하는 방안이다[16]. 최근 국내에서 재택혈액투석을 위한 시스템을 개발하는 노력이 활발하지만, 이를 뒷받침할 수 있는 의료 수가체계를 마련하는 노력이 함께 필요하다. 그러나 기존의 혈액투석 장비를 이용한 재택혈액투석은 투석 횟수와 시간이 늘어나면서 물 사용량이 더 증가할 수 있고, Sorbent Dialysis는 지르코늄을 사용한 일회용 소모품에 들어가는 탄소 발자국이 증가할 수 있다는 점을 함께 고려해야 한다[17].

Statements

Sorbent Dialysis나 물 사용량이 적은 재택혈액투석기계 등은 친환경투석의 미래가 지향해야 할 목표이다. 하지만 이는 임상시험을 통해 혈액투석과 혈액투석여과 환자 모두의 사례에서 장기적인 영향에 대한 자료가 반드시 뒷받침되어야 한다.

참고문헌

1. Barraclough KA, Agar JWM: Green nephrology. Nature Reviews Nephrology 16:257-268, 2020.
2. Zawierucha J, Marcinkowski W, Prystacki T, Malyszko JS, Pyrza M, Zebrowski P, Malyszko J: Green Dialysis: Let Us Talk about Dialysis Fluid. Kidney and Blood Pressure Research 48:385-391, 2023.
3. Albalate Ramon M, de Sequera Ortiz P, Perez-Garcia R, Corchete Prats E, Alcazar Arroyo R, Ortega Diaz M, Puerta Carretero M: What is the optimum dialysate flow in post-dilution online haemodiafiltration? Nefrologia 35:533-8, 2015.
4. Albalate M, Pérez-García R, de Sequera P, Corchete E, Alcazar R, Ortega M, Puerta M: Is it useful to increase dialysate flow rate to improve the delivered Kt? BMC nephrology 16:1-6, 2015.
5. Gauly A, Fleck N, Kircelli F: Advanced hemodialysis equipment for more eco-friendly dialysis. International urology and nephrology 54:1059-1065, 2022.
6. Systematic review of dialysis prescriptions(use of dialysate autoflow facility). Available at: https://map.sustainablehealthcare.org.uk/bradford-teaching-hospitals-nhs-foundation-trust/systematic-review-dialysis-prescriptions-use-dialys [Date accessed: 2024-02-17 2024].
7. Mesic E, Bock A, Major L, Vaslaki L, Berta K, Wikstrom B, Canaud B, Wojke R: Dialysate saving by automated control of flow rates: comparison between individualized online hemodiafiltration and standard hemodialysis. Hemodialysis International 15:522-529, 2011.
8. Canaud B, Davenport A: The rationale and clinical potential of on-line hemodiafiltration as renal replacement therapy. Seminars in Dialysis 35:380-384, 2022.
9. Molano-Triviño A, Wancjer B, Neri MM, Karopadi AN, Rosner M, Ronco C: Blue Planet dialysis: novel water-sparing strategies for reducing dialysate flow. The International journal of artificial organs 41:3-10, 2018.
10. Maduell F, Ojeda R, Arias-Guillén M, Fontseré N, Vera M, Massó E, Gómez M, Rodas L, Bazán G, Jiménez-Hernández M: Optimisation of dialysate flow in on-line hemodiafiltration. Nefrología(English Edition) 35:473-478, 2015.
11. Kirchner KA, White R, Kiley JE, Bower JD: Long-term hemodialysis at reduced dialysate flow rates. American journal of nephrology 4:7-12, 1984.
12. Hauk M, Kuhlmann MK, Riegel W, Köhler H: In vivo effects of dialysate flow rate on Kt/V in maintenance hemodialysis patients. American journal of kidney diseases 35:105-111, 2000.
13. Bhimani JP, Ouseph R, Ward RA: Effect of increasing dialysate flow rate on diffusive mass transfer of urea, phosphate and β2-microglobulin during clinical haemodialysis. Nephrology Dialysis Transplantation 25:3990-3995, 2010.
14. Alayoud A, Benyahia M, Montassir D, Hamzi A, Zajjari Y, Bahadi A, El Kabbaj D, Maoujoud O, Aatif T, Hassani K: A model to predict optimal dialysate flow. Therapeutic Apheresis and Dialysis 16:152-158, 2012.
15. Molano Triviño A, Wancjer Meid B, Guzman G, Yunez Luqueta A, Beltrán J, Romero G, Ronco C: SP491 EFFECTS OF DECREASING DIALYSIS FLUID FLOW RATE ON DIALYSIS EFFICACY AND INTERDIALYTIC WEIGHT GAIN IN CHRONIC PATIENTS WITH HEMODIALYSIS-FLUGAIN Study. Nephrology Dialysis Transplantation 33:i514-i515, 2018.
16. How can home hemodialysis with NxStage System One play a part in reducing water consumption? Available at: https://ww3.nxstage.com/water/ [Date accessed: Feb 17 2024].
17. Connor A, Lillywhite R, Cooke MW: The carbon footprints of home and in-center maintenance hemodialysis in the United Kingdom. Hemodialysis International 15:39-51, 2011.

2장 혈액투석에서의 폐기물 감소를 위한 제안

Key Messages

2.1 투석실에서 배출되는 폐기물은 해당 지역의 지침에 따라 우선적으로 의료폐기물과 일반폐기물로 명확한 분류를 시행할 것을 권고한다.

2.1.1 한국의 의료폐기물은 격리의료폐기물, 위해성의료폐기물, 일반의료폐기물로 분류된다.

2.1.2 일반폐기물이 의료폐기물과 분리되지 않고 혼합 배출될 경우, 의료폐기물로 간주되어 처리 물량과 비용이 증가한다.

Current Issues

WHO 지침에 따르면 의료폐기물은 “The total waste stream from a health-care facility”로 정의되나[1], 지역마다 의료폐기물을 분류, 관리하는 규정에는 차이가 있다[표 1]. 한국의 의료폐기물은 폐기물관리법의 대상이 되는 지정폐기물로, 격리의료폐기물, 위해의료폐기물, 일반의료폐기물로 분류되며 그 중 위해의료폐기물은 표 2와 같이 5개로 세분화되고 있다[2]. 한국의 의료폐기물은 전용 용기를 사용하고, 배출기관의 밀폐된 전용 창고에 보관 후, 전용 차량을 통해 운반 후, 소각을 원칙으로 하며, 각 과정이 무선주파수인식방법(Radio-Freqent Identification System)을 통해 전자시스템으로 관리되고 있으며[그림 1], 세부 내용은 표 2와 같다. 2018년 현재 13개의 지정업체가 의료폐기물을 처리 중이지만, 매년 의료폐기물의 양이 급속도로 증가함에 따라 지정된 소각장이 거의 포화상태에 이른 상태로 최근 처리비용의 단가 또한 상승하고 있다. 투석실에서는 투석 1회당 수 킬로그램의 폐기물이 발생하는데, 환자의 혈액과 접촉한 바늘, 연결 세트, 투석 필터뿐만 아

니라 투석액 용기, 일회용품 포장지, 포장 상자 등 다양한 물품이 포함된다. 이들은 의료폐기물과 일반폐기물이 혼재된 상태로, 지침에 따라 명확히 구분되어 배출되지 않는다면 일반폐기물이 의료폐기물로 간주하여 배출량이 증가하며 막대한 처리비용이 발생하게 된다. 국내의 126개의 일반 병원을 대상으로 시행한 온라인 조사를 보면, 23%에서 의료폐기물이 일반폐기물 용기에 버려져 있었고 55%에서 일반폐기물이 의료폐기물에 섞여 있었다[3]. 이탈리아의 연구에서도 투석실의 의료폐기물이 분리 정도에 따라 투석 당 위해의료폐기물의 양이 1.11 kg에서 8.09 kg까지 큰 차이를 보였으며, 이에 따라 처리비용도 2.97 달러에서 21.67 달러로 증가하였음을 보고하였다[4]. 이러한 연구 결과들은 일차적으로 일반폐기물과 의료폐기물에 대한 명확한 분류가 의료폐기물 발생 감소에 얼마나 중요한지를 보여준다.

Statements

투석실에서는 폐기물 관리지침에 따라, 우선적으로 의료폐기물과 일반폐기물을 명확히 분류할 것을 권고한다. 이는 일반폐기물과 의료폐기물의 혼합 배출을 줄여 의료폐기물의 배출량 및 처리비용을 감소시킬 수 있다.

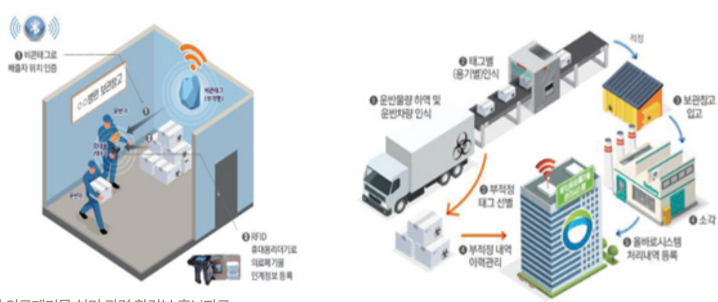
	South Korea	WHO	EU	USA	Japan
Terminology	Medical waste	Health-care waste	Health-care waste	Medical waste	Infectious waste
Classification of medical wastes			EWCº code		
Sharps	Sharps	Sharps	18 01 01/ 18 02 01	Contaminated sharps/ Unused sharps	Infectious industrial
Body parts and organs including blood bags and blood preserves	Body parts and fluids/ Blood contaminated/ Pathological test	Pathological	18 01 02	Bulk human blood/ pathological wastes	Infectious municipal
Waste whose collection and disposal is subject to special requirements in order to prevent infections	Infectious	Infectious	18 01 03*/18 02 02*	Isolation/Cultures and stocks of infectious agents and associated biological/animal wastes	Infectious industrial/ Infectious municipal
Wastes whose collection and disposal is not subject to special requirements in order to prevent infection	General	Infectious	18 01/04/ 18 02 03		Infectious municipal
(e.g,dressings, plaster casts, linen, disposable, clothing, diapers contaminated with blood etc.)					

Chemicals consisting of or containing dangerous substance	Biological/Chemical	Chemical	18 01 06*/18 02 05		
Chemicals other than those mentioned in 18 01 06*	Biological/Chemical	Chemical	18 01 07/ 18 02 06	Small volumes of chemical hazardous waste	
Cytotoxic and cytostatic medicines	Biological/Chemical	Cytotoxic	18 01 08*/ 18 02 07*	Antineoplastic drug	
Chemicals other than those mentioned in 18 01 08*	Biological/Chemical	Pharmaceutical	18 01 09/ 18 02 08	Small volumes of chemical hazardous waste	
Amalgam waste from dental care		Chemical	18 01 10		
EU Proposal: COM(2003) 32 final		Radiological		Low-level radioactive waste	

표 1 각국 의료폐기물의 정의 및 분류체계 비교

폐기물 종류		보관시설	전용 용기(도형 색상)	배출자 보관기간
격리의료폐기물		◦ 조직물류 폐기물과 성상이 같은 폐기물 - 전용 냉장 시설(4°C 이하) ◦ 그 밖의 폐기물 - 밀폐된 전용 보관창고	상자형(합성수지)/붉은색	7일
위해의료 폐기물	조직물류	전용 냉장 시설(4°C 이하) ※ 치아 및 방부제에 담긴 폐기물은 밀폐된 전용 보관창고	상자형(합성수지)/노란색	15일(치아 60일)
	손상성	밀폐된 전용 보관창고	상자형(합성수지)/ 노란색	30일
	병리계	밀폐된 전용 보관창고	0.6 봉투형/검은색 상자형(골판지)/노란색	15일
	생물화학	밀폐된 전용 보관창고	봉투형/검은색 상자형(골판지)/노란색	15일
	혈액오염	밀폐된 전용 보관창고	봉투형/검은색 상자형(골판지)/노란색	15일
일반의료폐기물		밀폐된 전용 보관창고	봉투형/검은색 상자형(골판지)/노란색	15일

표 2 국내 의료폐기물 종류별 보관 방법 및 기간



*2022년 의료폐기물 처리 관련 환경부 홍보자료

그림 1 무선주파수인식방법으로 관리되는 국내 의료폐기물의 처리 과정

Future Perspectives

한국의 경우, 독특하게 의료폐기물 '전용소각로' 제도를 운용하고 있다[5]. 2018년 기준, 15개의 소각로가 가동 중이나, 의료폐기물이 집중적으로 발생하는 수도권은 3개뿐이어서, 의료폐기물이 지방으로 이동하여 소각이 되기까지 이동 거리가 긴 편이다[6]. 따라서 의료폐기물의 전용 소각장 증설 및 효과적인 지역적 배치가 논의되어야 하며, 의료폐기물 처리 방법의 다각화와 관련된 규정에 대한 검토가 필요하다.

참고문헌

1. WHO. Safe Management of Wastes from Health Care Activities; Prüss, A., Giroult, E., Rushbrook, D., Eds.; WHO: Geneva, Switzerland, 1999.
2. South Korea: Wastes Control Act of 1999. Available online: https://www.me.go.kr/eng/web/main.do.
3. Oh SE, Park S, Ahn H, Ji K, Kim P, Hong YS, et al. A Survey on the current state of medical waste treatment and the opinion of medical waste managers about on-site treatment of the general hospitals in Korea. Korean Public Health Research. 2016; 42(3):13-22.
4. Piccoli GB et al. Eco-dialysis: the financial and ecological costs of dialysis waste products: is a 'cradle-to-cradle' model feasible for planet-friendly haemodialysis waste management? Nephrol Dial Transplant. 2015 Jun;30(6):1018-1027.
5. Ministry of Environment. Medical waste classification and management methods. 2014.
6. SE Oh et al. A Study on the Spatial Distribution of Medical Waste Generation and Treatment in Korea. J Environ Health Sci. 2015; 41(6): 449-457.

Key Messages

2.2 투석실의 의료폐기물 감소를 위해서는 제조 단계부터 폐기물을 줄이기 위한 환경친화적 설계가 중요하며, 이는 투석기기, 소모품뿐만 아니라 투석시스템 전체로 확대해 나갈 것을 제안한다.

2.2.1 투석실 의료폐기물의 효과적인 감소를 위해, 제조사는 투석기기, 소모품에 환경친화적 설계를 적용할 것을 제안한다.

2.2.2 투석액공급시스템은 중앙투석액공급시스템이 개별투석액공급시스템에 비해 의료폐기물 발생 측면에서 이점이 예상되나, 임상적 안전성 측면을 같이 고려해야 한다.

Current Issues

일반적으로 제품의 환경에 대한 영향은 70%가 설계단계에서 결정된다. 특히 투석실은 배출되는 물품들이 혈액과 접촉하여 대부분 의료폐기물로 분류되기 때문에, 폐기물 배출을 최소화하기 위한 설계가 매우 중요하다. 환경친화적 설계(Design For Environment)란, 제품의 기본적 기능은 유지하면서, 제품의 모든 과정에 거쳐 환경부하를 최소화할 수 있는 설계를 의미하며, 친환경 소재의 선택, 소형화, 경량화, 3R의 용이성 등이 특징에 포함된다. 최근 글로벌 기업의 환경, 사회, 지배구조(Environmental, Social and Governance, 이하 ESG) 경영 선언 및 국가 차원의 ESG 법제화 움직임이 가시화되면서, 제조사에서도 친환경 제품 생산에 관심을 기울이고 있다.

F사의 6008 CARE system 투석기는 혈액/투석액라인을 올인원 카세트시스템(All-in-one cassettsytem)으로 단순화하였고, 바이오핀과 같은 경량 재질의 플라스틱을 사용하여 100 g 가량 무게를 줄였고, 투석 후 혈액라인을 포함한 필터, B액의 자동배출기능(Auto-emptying)을 강화하여 투석 후 폐기물의 최종 무게를 최대한 줄일 수 있도록 고안되었다. 또한 라인의 소재면에서도 환경호르몬으로 분류되고 있는 Di-EthylHexy Phthalate (DEHP) 가소제를 사용하지 않은 Poly Vinyl Chloride (DEHP-free PVC)를 사용하여 환경

에 유해하다고 알려진 PVC 사용량도 기존 모델에 비해 22 %를 감소시켰다[1, 2].

B사의 AK98 모델은 소형화를 통하여 기존 Artis Physio Plus 모델에 비해 50% 정도 가볍게 설계되었으며, 전체 포장재 부피도 33 kg에서 16 kg로 51%로 감소시키는 한편, 기계의 효율을 높여 부품 교체 주기도 50%가량 연장했다[3]. 이외에도 A액(Acid concentrate), B액(Bicarbonate concentrate)의 용기를 플라스틱 통에서 비닐백 형태로 변경함으로써 내용물을 비우기 쉽고 접을 수 있는 제품도 출시되었다[4]. 이들은 제조사의 친환경적 설계가 의료폐기물을 줄이려는 종사자의 노동과 상관없이 의료폐기물의 양을 얼마나 효과적으로 줄일 수 있는지 잘 보여주는 예이다.

투석액 공급 방식은 크게 중앙투석액공급시스템(Central Dialysis fluid Delivery System, 이하 CDDS)과 개별투석액공급시스템(Single-patient Dialysis fluid Delivery System, 이하 SPDDS)으로 나뉜다[5]. 국내에서 중앙투석액공급시스템은 약 12%를 차지하는 것으로 보고되고 있으나 대부분 A액만을 공급하는 중앙농축액공급시스템(Central Concentrate Delivery System, 이하 CCDS)을 사용하고 있다. 이탈리아의 연구에 따르면 1년간 환자의 85%에서 중앙농축액공급시스템으로 11,000 건의 투석을 시행한 결과 11,470 kg의 플라스틱과 7,150 kg의 A액을 줄여 25,220 유로를 절감하였고, 59,180 kg의 재료의 운반 및 보관을 줄일 수 있었다고 보고하였다[6]. 이처럼 중앙농축액공급시스템 사용은 개별투석액공급시스템과 비교해 A 투석액 용기, 연결 라인, 포장지 등의 소모품을 줄인다는 점에서 의료폐기물 감소에 효과적이며, 투석액 운반과 보관과 관련된 에너지 측면에서도 추가적인 이점이 예상되지만 감염, 시스템 불안정, 초산 혼합 시 흡인 등의 이슈가 있는 상태로 사용에 있어서 임상적 안정성 측면이 함께 고려되어야 한다.

Statements

투석실에서 배출되는 폐기물은 대부분 혈액과 접촉하여 의료폐기물로 분류되기 때문에 재활용 또는 재사용이 어렵다. 따라서 의료폐기물로 분류되는 제품은 제조 단계부터 소형

화, 경량화하여 전체 배출량을 줄이고, 친환경 소재를 적용하여 소각 시 환경 오염 물질을 최소화하여야 한다. 또한 포장도 개별 포장을 최소화하여 전체 부피를 줄이고, 소재도 재활용할 수 있는 플라스틱과 종이를 사용해야 한다. 이러한 친환경적 설계는 투석 기계, 소모품뿐만 아니라 투석시스템 전 과정에 확대 적용되어야 한다. 또한 환경친화적 투석시스템의 발전을 위해, 의료진, 제조사간의 긴밀한 협조와 노력이 지속되어야 한다.

Future Perspectives

환경친화적 설계의 경우, 제조사의 개발 비용으로 인해 환경적 가치와 경제적 가치의 상충 문제가 발생할 수 있다. 따라서 친환경 제품에 대한 사회 인식의 제고가 필요하며, 국가 차원의 지원이 필요하다.

참고문헌

1. J Sun et al, Design for environment: methodologies, tools, and implementation. Journal of Integrated Design and Process Science 7(1):59-75.
2. MZ Hauschild, J Jeswiet, L Alting - Design for environment—do we get the focus right?. CIRP Annals, 2004.
3. https://renalcare.baxter.co.kr/sites/g/files/ebysai2776/files/2021-10/Baxter_%E1%84%8C%E1%85%A6%E1%84%91%E1%85%AE%E1%86%B7%20Portfolio.pdf.
4. Schleser A, Fleck N, Tsobanelis T(2016) The impact of disposables towards more eco-friendly and less costly haemodialysis(abstract). Nephrol Dial Transpl 31:i494–i494. https://doi.org/ 10.1093/ndt/gfw194.16.
5. Schmitz M, Loke O, Fach B, Kalb K, Heering PJ, Meinke D, Rawer P, Galle J, Kozik-Jaromin J(2016) Efects of citrate dialysate in chronic dialysis: a multicentre randomized crossover study. Nephrol Dial Transpl 31:1327–1334. https://doi.org/ 10.1093/ndt/gfv347.
6. Paolo Lentini, Luca Zanoli, Antonio Granata, Roberto Dell'Aquila. In-house preparation and centralised distribution of acid dialysate concentrate: consideration on a practical experience Nephrology Dialysis Transplantation, 32(suppl 3):716, 2017.

Key Messages

2.3 투석실 폐기물의 재활용을 위해서 해당 지역의 지침에 따라 투석실 일반폐기물 중 재활용이 가능한 품목을 분류하고, 실제 재활용이 될 수 있도록 관련 종사자 교육을 강화할 것을 제안한다.

2.3.1 투석 관련 폐기물의 재활용을 촉진하기 위해서 실제 의료 현장을 바탕으로 한 재활용 가능 품목을 명확히 하고, 처리 방법에 대한 표준화된 프로토콜을 마련할 것을 제안한다

2.3.2 투석실의 재활용 물품에 대한 올바른 분류, 처리에 대한 종사자 교육을 강화하고, 지속적인 모니터링을 시행할 것을 제안한다.

Current Issues

투석실에서 발생하는 전체 폐기물 중, 국내 지침상 의료폐기물에 해당하는 환자의 혈액 및 체액과 접촉된 바늘, 주사기, 라인, 투석 필터, 소독 물품 등을 제외하면 A액 용기, B액 용기, 소독제 용기, 포장지, 포장 상자 등의 플라스틱과 종이류가 일반폐기물로 분류될 수 있다.

이탈리아의 한 연구를 보면, 투석 1회당 플라스틱 310~730 g, 종이류 223~736 g의 비위해성 의료폐기물이 발생하였고, 그중 플라스틱은 22.9~28.1%만이 재활용할 수 있는 것으로 보고하였다[1]. 일반적으로 재활용으로 분리수거가 된 플라스틱의 약 10%가 실제 재활용 공정을 거치는 것을 볼 때, 이는 매우 미미한 양이다. 이러한 플라스틱의 낮은 재활용률은 일차적으로 분류가 까다롭고, 이차적으로 다양한 재질과 성상으로 인해 일괄적인 재활용 공정이 어렵고, 같은 재질끼리 모았다고 하더라도 잉크, 접착제, 첨가제 때문에 재활용이 불가한 경우가 많기 때문이다[2]. 따라서 현재 플라스틱은 재활용률을 높이기 위해, 레진 식별 코드(Resin Identification Code)를 사용하여, 재질에 따라 PET, HDPE, PVC, LDPE, PP, PS, OTHER로 분류하고 있으며 [표 1], 제품의 하단이나 뒷면에 코드를 명기하고 있다. 투석실 일반폐기물의 효과적인 재활

용을 위해서는 종이류는 오염되지 않게 주의하여 이물질을 제거하여 배출하고, 플라스틱류는 레진 식별 코드에 따라 같은 재질, 색깔로 분류하고 이물질을 제거하여, 재활용이 가능한 상태의 물품량을 늘려야 한다.

국내 간호사를 대상으로 한 연구에서는 의료폐기물에 대한 지식 정도가 높은 간호사일수록 의료폐기물에 대한 태도가 긍정적이고 실천 정도도 높았으며, 실천에 영향을 미치는 요인들로는 연령, 학력, 근무 부서, 직책, 의료폐기물 교육 유무 등이 유의한 상관관계를 나타냈다고 보고하였다[3, 4]. 이는 투석실 의료 종사자들에 대한 의료폐기물 분류 및 처리에 대한 지속적인 교육, 홍보가 얼마나 중요한지 보여준다.

Statements

국내 투석실에서 발생하는 전체 의료폐기물과 일반폐기물 중 재활용 가능 품목에 대해 표 2와 같은 기준을 제시한다. 실제 국내 투석실에서 사용된 A액 용기는 좋은 재활용 자원이지만 병원에서 자체적으로 회수 업체를 선정해 위탁 폐기 또는 재활용하는 등 처리 방법이 일정하지 않다. 따라서 재활용이 가능한 투석실 물품을 명확히 해야 할 뿐만 아니라, 처리 방법에 대한 표준화된 프로토콜 또한 마련되어야 한다. 또한 실제 재활용을 촉진하기 위해 분류 및 처리에 대한 종사자 교육을 강화하고 지속적인 모니터링을 시행해야 한다.

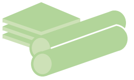
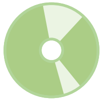
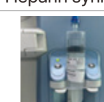
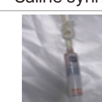
Polymer Name	Polyethylene terephthalate	High-density polyethylene	Polyvinyl chloride	Low-density polyethylene	Polypropylene	Polystyrene	OTHER
Resin Identification Code(RIC)	1 PETE	2 HDPE	3 PVC	4 LDPE	5 PP	6 PS	7 OTHER
Abbreviation	PETE	HDPE	PVC	LDPE	PP	PS	Other or O
Common products	Beverage bottles, Plastic water bottles, Sauce bottles	Milk jugs, Shampoo bottles, Flower pots Grocery bags	Pipes, Siding, Flooring Rain gutters	Plastic bags, Plastic wrap, Ziplock bags Bubble wrap	Yogurt cups, Juice bottles, Straws, hangers	To-go containers	CD case
							
Recycling	Commonly recycled	Commonly recycled	Hard to Recycle	Hard to Recycle	Commonly recycled	Hard to Recycle	NOT Recyclable
Reusability	Should not be used to store water, drinks	Can be reused to store water, drinks	Should not be used to store water, drinks	Can be reused to store dry food	Can be reused to store dry food	Should not be used to store water, drinks	Should not be used to store water, drinks
Recycled into	Clear plastic bottles, Clothing, Carpets	Plastic bottles, Furniture, Ropes	Flooring, Traffic cones, Credit cards	Bins, Floor tiles	Storage Bins, Brooms	Décor products	Can not be recycled

표 1 레진 식별 코드(Resin Identification Code)

Waste		Container (color)		Items		
Medical waste for Quarantine		Liquid: Plastic (red)	Solid: Plastic (red)	All waste generated from medical treatment of patients quarantined to protect others from infectious diseases as defined in Article 2, Paragraph 1 of the Act on Prevention and Control of Infectious Diseases (e.g: COVID-19, measles, chickenpox, disseminated herpes zoster and active tuberculosis, VRE, CRE etc)		
						
Hazardous medical waste	Tissues	Liquid: Plastic (yellow)	Solid: Corrugated cardboard (yellow)	Red cell blood	Fresh frozen plasma	Platelet
						
	Injurious			Fistular needle	Syringe needle	
						
	Pathological			Blood culture bottle		
						
	Biochemical			Heparin		
						
	Blood-contaminated			Line and dialyzer	Heparin syringe	Saline syringe
						

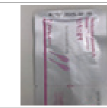
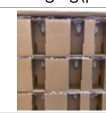
Waste	Container (color)			Items		
General medical waste	Liquid: Plastic Solid: Corrugated cardboard (yellow)	Liquid: Plastic (yellow)	Solid: Corrugated cardboard (yellow)	Disposable Technician gown	Disposable Poly glove	Disposable Latex glove
						
				Disinfecting wipe	Disposable Povidone-Iodine Swabsticks	Sterile Gauze
						
General Waste	Recyclable			Acid concentrate Container	Disinfectant Container	
						* Container body: HDPE(2) Container cap: PP(5)
				Packaging(paper)	Packing(plastic)	
						
	Non-recyclable			B-cartrige	Bibag	
						* The container of Bicart is recyclable, but it is difficult to empty the content, it is classified as general work-palce waste

표 2 의료폐기물 관리 및 재활용 가능한 투석실 물품

Future Perspectives

앞서 언급한 것처럼, 플라스틱 재활용률을 높이는 것에서 투석실의 분리수거만으로는 한계가 있다. 이를 보완하기 위한 다양한 방법에 대한 논의가 필요하다. 2022년 국내 한 제조사에서는 ESG의 일환으로, 재활용 전문 업체와 협약을 통해 혈액투석액 용기를 무상 수거하여 화장품 용기로 업사이클링을 추진하였고, 현재 사용되고 있는 월 21만 통이 전체 회수되었다고 가정할 때, 연간 1,416 t의 절감 효과가 발생할 것으로 기대하고 있다[5]. A액 용기의 경우, HDPE, PP 재질로 우수한 재활용 가능 플라스틱이다. 또한 B 카트리지의 경우, 용기는 재활용이 가능한 PP 재질이나 내용물을 비우기 어려워 일반폐기물로 버려지고 있다. 따라서 투석실 폐기물 중 재활용이 용이한 물품과 관련해 생산자책임재활용제도(Extended Producer Responsibility, 이하 ERP)를 적용하여 관리하는 방법도 논의해 볼 수 있다. 또한 투석실 폐기물 발생량과 재활용률을 수치화 하고, 이를 모니터링할 수 있는 지표에 대한 연구도 추후 필요할 것이다.

참고문헌

1. Piccoli GB et al. Eco-dialysis: the financial and ecological costs of dialysis waste products: is a 'cradle-to-cradle' model feasible for planet-friendly haemodialysis waste management? Nephrol Dial Transplant. 2015 Jun;30(6):1018-27.
2. J Hopewell et al. Plastics recycling: challenges and opportunities. hilos Trans R Soc Lond B Biol Sci. 2009 Jul 27; 364(1526): 2115–21262.
3. Yang KY (2007) Method and Current Status of Medical Waste Treatment, Unpublished master's thesis, Ajou University, ; pp.1-53.
4. SJ Yoo et et al. A Study of Nurses' Knowledge, Attitude and Practice Regarding Medical Waste (Busan and Kyongnam Province University Hospitals) The Korean Society of Health Service ManagementVol.11 No.1 pp.79-89.
5. http://www.monews.co.kr/news/articleView.html?idxno=312378.

Key Message

2.4 투석 관련 물품의 재사용은 감염으로 인해 극히 제한적이나, 경제 여건에 따른 의료 제공 확대 측면에서 투석 필터의 재사용을 고려할 수 있다. 하지만 엄격한 소독 기준을 준수해야 하며, 이에 대한 안전성과 비용-편익 분석에 대한 연구가 수반되어야 한다. 또한 사용되는 소독약의 환경에 대한 영향도 평가가 되어야 할 것이다. 투석 필터의 재사용은 고체 폐기물을 감소시키는 효과를 거둘 수 있는 반면, 액체류 폐기물의 증가와 그에 따른 환경오염의 위험도를 갖는다.

Current Issues

과거에는 비용 절감을 통해 의료 제공을 확대하자는 측면에서 투석 필터를 재사용하였으나, 현재는 감염, 소독제 노출의 위험성 등으로 많은 나라에서 투석 필터 재사용을 금지하고 있다. 하지만 아직도 개발도상국가에서는 투석 필터 재사용이 필요한 상황이며, 50년간의 임상 경험을 토대로 미국 의료기기 개발협회(Association for the Advancement of Medical Instrumentation, 이하 AAMI)의 소독 기준을 맞춘 필터의 재사용은 안전할 가능성이 높다는 일반적 합의도 있는 상황이다[1]. 실제 엄격한 소독 기준을 적용한 투석 필터의 재사용은 환자의 이환율과 사망률을 높이지 않는다는 연구 결과도 있어[2], 국가의 경제적 사정에 따라 투석 필터 재사용은 고려될 수 있다.

Statements

국내에서는 투석 필터, B액 카트리지 등의 투석 관련 물품은 감염의 위험성으로 재사용을 권고하지 않는다. 하지만 국가의 경제적 사정에 따라 투석 필터의 재사용은 의료 제공 확대 측면에서 조심스럽게 고려될 수 있다. 하지만 투석 필터의 재사용은 엄격한 소독 기준을 준수해야 하며, 해당 지역 소독 기준에 따른 안전성에 대한 연구가 수반되어야 한다. 또한 현재 저개발국가의 투석 필터 재사용은 환경적인 이점보다는 비용 절감이 주목적으로, 비용-편익에 대한 체계적인 분석을 통해 투석 필터 재사용 유지 정책을 지속할지 결정해야 한다.

Future Perspectives

최근 제조 기술의 발전에 따라 수명이 길고 재사용이 가능한 투석 필터 개발에 대한 연구가 이루어지고 있다[1]. 추후 결과에 따라 투석 필터 재사용이 의료 비용 절감뿐만 아니라 환경적인 측면에서 재논의될 수 있을 것이다.

참고문헌

1. American National Standards Institute/Association for the Advancement of Medical Instrumentation(ANSI/AAMI). ANSI/AAMI RD: 2008/(R)2013 - Reprocessing of Hemodialyzers. Washington.
2. T. Christopher Bond et al. Dialyzer Reuse with Peracetic Acid Does Not Impact Patient Mortality. Clin J Am Soc Nephrol. 2011 Jun; 6(6): 1368–1374.
3. Isabella Carvalho Ribeiro et al. Clinical and microbiological effects of dialyzers reuse in hemodialysis patients. J Bras Nefrol. 2019 Jul-Sep; 41(3): 384–392.
4. Ashish Upadhyay. Dialyzer reuse: is it safe and worth it? J Bras Nefrol. 2019 Jul-Sep; 41(3): 312–314.

3장 혈액투석에서의 에너지 절약을 위한 제안

Current Issues/Background

혈액투석은 많은 에너지, 물, 자원을 소모하며 반복적으로 이루어지는 치료 과정으로, 한 보고에 따르면 투석 1세션 당 12~19 kHw의 전력 소모가 발생한다[1]. 또한 혈액투석은 복막투석에 비해 더 많은 에너지가 소모된다[2, 3]. 유럽 혈액투석 에너지 소비 보고서에 따르면 1,500~4,500 kWh/year/patient이고 8,250,000 kWh/year, 전 세계적으로는 5,000,000,000 kWh/year로 추산한다. 이는 일반가정에서 사용하는 전력량 3,700 kWh/year와 비교하였을 때 22만 배 더 큰 수치이다[4]. 우리나라 인산기념사업회 보고에 따르면 혈액투석 환자 107,015명, 즉 91.7%가 주 3회 투석을 받고 있었고, HDF 등이 아닌 일반투석의 비율은 87.7%이었다. 2023년 한 해 우리나라 인공신장실에서 사용된 투석 필터는 최소 19,860,000개 이상으로, 이와 동일한 투석 세션을 또는 그 이상이 집행될 것으로 추정된다. 우리나라에서 시판 중인 일반 혈액투석기의 시간당 전력소모량은 0.68 kWh~2.5 kWh, 한 세션 당 3.1~10 kWh로 새롭게 투석을 시작하거나 SLED 등 특수 상황을 고려하지 않았을 때 한 세션을 4.5시간으로 계산하면, 전체 에너지 소모량은 최소 48,873,067.6644~179,680,395.825 kWh(1,800,000,000 kWh)로 예상된다[5]. 2022년 우리나라 1인당 에너지 소비량은 연간 10,652 kWh인 것에 비교하였을 때, 투석 환자 1인당 연간 평균 1,030.32 kWh의 추가 에너지 소비량을 발생시켜 투석 환자 1인이 늘어나면 약 10%씩 에너지 소비량이 늘어나는 효과가 나타나는 셈이다. 실제로 얼마나 많은 에너지가 투입되는 치료인지 상황에 대한 적극적인 모니터링을 통해 낭비되는 에너지를 최소화하고, 투석기 운용 시간을 최적화하여 불필요하게 낭비되는 에너지를 줄이고, 그 외의 모든 전기 기기와 설비를 중앙 제어하는 방안이 제시된 바 있다[4]. 우리나라 현실에서 가능한 혈액투석에서의 에너지 절약 실천 방안을 모색하는 것이 필요하다.

Key Messages

3.1 투석실 설비의 에너지 최적화를 고려한다.

3.1.1 혈액투석실의 조명, 냉난방, 단열 등 에너지 효율을 극대화할 수 있는 시설을 적극적으로 설치하고 활용하도록 권고한다.

3.1.2 가능한 혈액투석 관련 시설에는 재생 에너지를 최대한 활용하여 전원을 공급하는 것을 적극적으로 고려하고 검토한다.

3.1.3 혈액투석실에서 사용되지 않는 에너지를 감소시킬 수 있는 방법(탈의실의 센서등 설치, 사용하지 않는 기계 전력 차단 관리, 투석실 미운영 시간 전체 전력 차단 마스터 스위치 적용)을 적극적으로 적용하고 관리하는 것을 제안한다.

Current Issues

혈액투석 시설에서 전기 에너지의 소모를 줄이기 위한 구체적인 조치는 아직 마련되어 있지 않다. 하지만 모든 투석 시설에서 투석 기계, 진료를 위한 컴퓨터 장비, 조명, 난방 및 에어컨 등의 다양한 전기에너지를 사용하고 있기에 이미 가정과 산업현장에서 시행하고 있는 여러 환경친화적인 전략을 활용하고 적용할 수 있을 것으로 보인다.

투석실은 면역력이 약한 투석 환자들이 이용하기에 적절한 온도를 유지하는 것이 필수적이다. 따라서 투석실이 위치하는 빌딩의 단열재와 창호 시스템을 보강하여 에너지를 절감하는 것은 매우 중요하며, 에너지 소비 효율이 높은 조명과 난방 시스템을 선택하는 것 또한 중요하다. 추가로 냉난방 시간을 일정 시간에만 진행하는 타이머를 이용하고 공조기를 이용해 전체적인 효율을 증가시키는 방안도 고려해 볼 수 있다.

기존의 백열전구를 저전력 소비 전구인 LED로 교체하는 경우 약 75%의 에너지를 감소시킬 수 있는 보고가 있다. 따라서 혈액투석실의 조명설비를 저전력 전구로 교체하는 것을 권고하며, 낮 동안에는 최대한 자연광을 이용하고 움직임 센서를 활용한 조명을 활용하는 등 개인의 노력 없이도 에너지 절약이 가능하도록 시스템을 구축하는 것이 필요하다[6].

그 외에도, 컴퓨터 사용의 최소화, 자동 전원 차단, 대기전력 저감 프로그램의 적극적인 사용, 절전모드 활용 등의 방안을 적절히 차용하여 기존의 가정 및 다른 산업에서 진행하고 있는 방안을 혈액투석실에서도 동일하게 적용할 수 있도록 할 수 있으며, 탈의실과 같이 계속 사용하지 않는 공간의 조명은 사용시에만 작동될 수 있도록 하는 센서등의 설치나, 사용하지 않는 기계들은 전력공급을 중단할 수 있는 시스템의 도입, 투석실을 운영하지 않는 시간대에 전력공급 유지가 필요하지 않은 설비에 대한 전력공급을 하나의 스위치로 간단하게 조절할 수 있는 시스템의 도입이 고려될 수 있다.

이산화탄소 발생량이 많은 석유, 석탄 등을 이용한 에너지 사용을 줄이고, 태양열, 수력 등과 같이 이산화탄소 배출량이 적은 청정에너지나 재생가능에너지를 많이 사용하는 것은 온실가스 배출을 줄이기 위한 중요한 노력 중 하나이다. 실제로 전 세계적으로 이러한 재생에너지의 사용을 최대한 활용하려는 노력이 가속되고 있다. 하지만 우리나라의 청정에너지 사용 비중은 2018년 기준으로 40.6% 정도로 같은 기간 영국(54.8%), 독일(54.9%) 등 기타 선진국에 비해서는 낮은 편이므로, 재생 에너지에 대한 적극적인 활용을 추가로 고려해 볼 수 있겠다[7].

혈액투석 투석 한 세션 당 12~19 kHw의 전력 소모가 발생하는 것으로 추산되고 있다. 또한 역삼투 과정에서도 원수펌프, 정수펌프, 순수 배송펌프, 열소독 등의 과정에서 많은 전력이 사용되고 있기 때문에, 이러한 전력 사용과 관련된 탄소 발자국의 발생은 끊임없이 문제가 될 수 있다. 지역에 따라 전력 사용에 대한 탄소 발자국의 예측량은 차이가 있을 수 있는데, 일례로 대체에너지를 활용하는 지역에서의 탄소 발자국은 화석연료를 사용하여 전력을 생산하는 지역의 탄소 발자국보다 낮게 측정되고 있다.

태양광 발전을 위한 설비 등을 설치하면 태양광 발전 시스템의 크기에 따라 다르겠으나, 연간 1 kWh당 1.5 t의 이산화탄소 환산량(CO_2 Equivalent)을 감소시킬 수 있다[6]. Agar et al이 발표한 연구에 따르면 투석실에 3 kWh의 태양광 발전 시설을 설치하면 전력 소비를 91% 줄일 수 있다. 보통 설비에 투자한 비용을 보전하려면 7~8년 정도의 시간이 필요하

지만, 그 이후에는 더 이상의 태양광 발전을 위한 추가적인 비용이 들어가지 않는다는 장점을 언급한 바 있다[1]. 최근에는 태양열 발전시설을 포함한 재생에너지 생산설비 관련 설치비용이 감소됨으로써 그 비용을 보전하는데 필요한 시간도 감소되고 있다. 그 외 지열발전이나 바이오매스 발전으로 난방을 시도해 볼 수 있겠으나, 국내의 경우 지역별로 사용 가능 여부가 다를 수 있어 이러한 발전 방식이 가능한 곳에서는 재생에너지의 사용을 적극적으로 고려해 볼 수 있겠다.

국내 투석실의 경우 대부분 일반적인 빌딩을 빌려 운영하는 경우가 많아 지붕을 활용할 수 있는 호주나 뉴질랜드 등의 타 국가에 비해 적극적인 활용은 어려울 것으로 보인다. 그렇지만, 청정에너지 및 재생 가능 에너지를 사용할 수 있는 투석실에서는 이를 적극적으로 활용할 수 있도록 독려하는 것이 필요하다.

Statements

혈액투석설비 및 투석실 전기설비의 활용에 있어 저전력 기구의 사용을 적극적으로 추진하고 사용 효율을 높이면서도 불필요한 사용을 줄이기 위한 지침을 만들어 지키도록 노력해야 한다. 또한 혈액투석 치료에 활용되는 전력 사용에 있어 가능하면 재생에너지를 활용할 수 있도록 지속해서 투석 치료 의료진에게 홍보하는 노력이 필요할 수 있겠고, 나아가 정부의 정책 및 지원이 뒷받침되도록 노력하는 것이 필요하겠다.

Key Messages

3.2 투석과 관련된 모든 구성원이 적극적으로 에너지 절약에 참여할 수 있도록 권고한다.

3.2.1 기업: 에너지 효율을 극대화하기 위한 여러 방법이 기존 투석기기에 적용되어 있으나, 추가적인 최적화 모델 개발을 위해 노력한다.

3.2.2 학회 및 정부: 에너지 절약에 최적화된 혈액투석실의 설계와 사용, 친환경보고 시스템(Eco-Reporting System)을 확산시킬 수 있도록 표준화된 지침 등을 제안한다.

3.2.3 환경 보존 문화를 확산하고 각 개인의 환경 인식을 변화시키기 위해 에너지 보존 및 탄소 중립과 관련된 문제에 대한 교육을 환자 및 직원 교육 프로그램에 포함시키는 것을 제안한다.

Current Issues

친환경투석을 위해 의료진의 노력과 더불어, 투석 중 사용되는 에너지의 대부분을 차지하는 투석기기의 개선을 위한 투석기기 회사들의 노력과 관심이 매우 필요한 상태이다.

혈액투석기기를 생산하고 있는 여러 회사에서도 이와 관련하여 지속적인 기기 개발 노력이 있었다. 이를 통해 기존 기계 대비 30%의 투석액 사용을 줄이고 특별 프라이밍을 적용하여 연간 11,500 kg의 물 사용량을 줄일 수 있도록 하였다는 결과를 보고한 바 있다. 또한, 투석에 이용되는 도관과 소모품의 배송 및 폐기 효율을 높이기 위해 폴딩 시스템을 고안하고 소모품의 포장을 가볍게 바꾸는 등의 노력을 지속하고 있다. 또한 효율적인 열 교환을 위해 투석 기계 내부의 수로 설계를 개선하여 최대한 투석 시 발생하는 에너지의 활용을 극대화하고자 지속해서 개선 방안을 마련하고 있다.

의료진 역시 에너지 효율을 극대화한 투석기기의 선택을 우선적으로 고려하여 투석기기 관련 회사들이 친환경 투석에 지속적인 관심과 참여를 갖도록 독려하는 것이 필요하겠다.

프랑스에서는 2005년부터 친환경보고 시스템을 도입하여 전기 및 물의 사용량, 투석

관련 치료에서 발생하는 폐기물의 양을 핵심성과지표(KPIs)로 정하여 보고하도록 하였다. 2005년부터 약 15년간 이 수치를 추적 관찰하였을 때, 전기 에너지 사용량은 29.6% (23.1 kWh/session에서 16.26 kWh/session), 물 사용량은 52% (801 L/session에서 382 L/session)로 감소하였다. 이러한 감소량의 대부분은 대부분 투석 기술 발전으로 인해 투석 기기 및 물 관련 시스템의 지속적인 개선을 통해 얻을 수 있었다. 투석 후 발생하는 폐기물의 배출량은 1.8 kg에서 1.1 kg까지 감소하였는데, 이는 의료진의 교육을 통해 얻은 결과이다. 최종적으로 감소한 이산화탄소 배출량은 102,440 t에 달하는 것으로 알려져 투석실에서의 친환경보고를 핵심성과지표(KPI)로 적용하여 이산화탄소 배출량에 큰 감소를 끌어냄을 알 수 있었다[8].

호주와 뉴질랜드에서는 환경적으로 지속가능한 혈액투석실을 구성하도록 투석실의 전기에너지, 정수시스템에 대한 다양한 제언을 담아 2022년 가이드라인을 제작하여 배포한 바 있다. 혈액투석을 시행하는 의료진들이 설비 준비 및 관리, 치료 과정에 있어서 참고할 수 있는 좋은 지침으로 차후 실질적 효과에 대한 평가가 있을 것으로 기대한다.

투석 치료를 시행하는 의료진 교육 또한 치료 과정에서 사용되는 에너지를 줄이고, 효율적으로 사용하는 데 도움이 될 것이라 기대한다. 1992년 유엔기후변화협약(the United Nations Framework Convention on Climate Change, 이하 UNFCC)은 “교육은 기후변화에 대한 적절한 세계적 대응을 위해 중요한 요소”임을 언급하였다[9]. 기후변화와 탄소 배출에 대한 해결책은 주로 실제로 탄소 배출을 어떻게 줄이느냐에 대한 전략에 초점이 맞춰져 있으나, 이 전략을 성공적으로 진행하기 위해서는 해당 과정을 수행하는 관련인들에게 기후변화와 환경 문제에 대한 교육이 반드시 필요하다. 실제로 기후변화와 환경에 관한 교육을 수강한 이후 개인의 탄소 배출에 미치는 장기적인 영향을 평가하였을 때, 교육을 들은 개인의 이산화탄소 배출이 연간 2.86 t 감소하는 것으로 확인되었다[10]. 또한 2050년까지 탄소 배출량 감소를 가장 많이 줄일 수 있을 것으로 생각되는 방법을 조사하였을 때, 기후 변화에 대한 교육을 시행하는 것이 조림, 해상풍력 이용, 전기자동차 사용, 건물 단열,

LED 조명 사용 등을 제치고 태양광 활용 다음으로 효율적인 방법이라는 보고가 있다. 이는 교육이 탄소 배출량을 줄이는 데 큰 잠재력을 갖고 있음을 시사한다[11]. 특히 전 세계적으로 혈액투석 환자와 혈액투석에 종사하는 의료진이 계속해서 증가하는 가운데, 환경에 대한 인식을 높이고 실제 탄소 배출량을 줄일 수 있는 중요한 방안 중 하나로 '교육'이 고려되어야 한다.

Statements

투석 치료 과정에서 에너지 소모를 줄이기 위해서는 여러 투석 설비 제조사의 노력을 통한 설비 효율화의 증대가 필요하며, 치료 과정에서의 에너지를 측정하고 보고하는 시스템을 제도화하여 관리하는 방안이 마련되어야 한다. 또한 치료에 참여하는 의료진의 교육을 통해 에너지 관리의 필요성 및 탄소 배출량 감소의 중요성에 대해 인식하고 이를 관리하도록 하는 것이 필요하다.

Future Perspectives

아직 투석 시 사용되는 에너지 현황에 대한 구체적인 통계가 없어 현 상황에 대한 파악이 우선이다. 그리고 에너지 절약을 위한 다양한 방안을 적용하였을 때 어떤 효과가 나타나는지에 대해서도 국내에서 연구된 바가 없다. 향후 이러한 에너지 소비를 줄이기 위해 노력할 때, 어느 정도의 에너지 사용량 및 이산화탄소 배출량이 감소하는지, 실제로 탄소 발자국을 확인하는 작업이 필요할 것이다. 인공신장실 설비를 친환경 설비로 변경 적용이 가능한지에 대한 현실적이고 제도적인 고민도 필요할 것이다. 즉 친환경투석을 위한 국내에서의 표준화된 지침 및 규제 제정을 고민하고, 타 국가에서 시도되고 있는 친환경보고 시스템의 핵심성과지표(KPI) 도입, 투석실에 관한 지침 등의 제정을 통해 국내의 투석실에서 지속가능한 투석을 시행할 수 있도록 이끌어나가는 것이 필요하다.

참고문헌

1. Agar JW, Perkins A, Tjipto A. Solar-assisted hemodialysis. Clin J Am Soc Nephrol. 2012;7(2):310-4.
2. Barraclough KA, Agar JWM. Green nephrology. Nat Rev Nephrol. 2020;16(5):257-68.
3. Barraclough KA, McAlister S. Assessing the 탄소 발자국 of Hemodialysis: A First Step Toward Environmentally Sustainable Kidney Care. J Am Soc Nephrol. 2022;33(9):1635-7.
4. TOWARDS GREEN DIALYSIS: GOOD PRACTICE GUIDE. 2023.
5. Trends in epidemiologic characteristics of end-stage renal disease from 2022 KORDS(Korean Renal Data System). 2023.
6. <ESD Guidelines for Kidney Care Facilities.pdf>.
7. 에너지통계연보. 2019.
8. Bendine G, Autin F, Fabre B, Bardin O, Rabasco F, Cabanel JM, et al. Haemodialysis therapy and sustainable growth: a corporate experience in France. Nephrol Dial Transplant. 2020;35(12):2154-60.
9. Sands P. The United Nations framework convention on climate change. Rev Eur Comp & Int'l Envtl L. 1992;1:270.
10. Cordero EC, Centeno D, Todd AM. The role of climate change education on individual lifetime carbon emissions. PLoS One. 2020;15(2):e0206266.
11. Hawken P. Drawdown: The most comprehensive plan ever proposed to reverse global warming: Penguin; 2017.

4장 혈액투석에서의 탄소 발자국 감소를 위한 제안

Key Message

4.1 혈액투석 치료과정에서 탄소 발자국의 감소를 위해 재생에너지 활용을 적극적으로 고려할 것을 제안한다.

Current Issues

혈액투석 투석 한 세션 당 12-19kHw 의 전력소모가 발생하는 것으로 추산되고 있다. 또한 reverse osmosis 과정도 원수펌프, 정수펌프, 순수배송펌프, 열소독 등의 과정에서 많은 전력이 사용되고 있어, 이러한 전력 사용과 관련된 carbon footprint의 발생은 지속적으로 문제가 될 수 있다. 지역에 따라 이러한 전력 사용에 대한 carbon footprint의 예측량은 차이가 있을 수 있는데 일례로 대체에너지를 활용하는 지역에서의 carbon footprint는 화석연료를 사용하여 전력을 생산하는 지역의 carbon footprint보다 낮게 측정되고 있다.

Statements

혈액 투석 치료에 활용되는 전력 사용에 있어 가능하면 재생에너지를 활용할 수 있도록 지속적으로 투석치료 의료진에게 홍보하는 노력이 필요할 수 있겠고, 나아가 이에 대한 정부의 정책 및 지원이 뒷받침되도록 노력하는 것이 필요하겠다.

Key Message

4.2 혈액투석 치료 과정에서 탄소 발자국의 감소를 위해 환자와 의료진에게 대중교통을 적극적으로 활용하도록 교육할 것을 제안한다.

Current Issues

일반적으로 혈액투석은 주 3회 치료를 시행하여야 한다는 점을 감안할 때, 환자가 병원에 오는 이송 과정에서의 배출물 문제도 지속해서 제기될 수 있다. 이송 과정의 배출물은 지역이나 교통량에 따라 다를 수밖에 없어 아직 국내에서의 데이터가 제시되지는 못한 상태이다. 다만, 차후 이에 대한 데이터가 축적되는 경우 이로 인한 부담이 확인될 것이며, 그를 효과적으로 감축하기 위한 노력도 구체화할 수 있을 것으로 여겨진다.

Statements

환자가 치료를 받으러 오가는 과정과 의료진의 출퇴근에 있어서도 가능하면 탄소 발자국을 줄일 수 있도록 대중교통을 활용하는 노력을 기울이도록 하고, 이러한 중요성에 대해 알려서 보다 많은 환자 및 의료진의 참여를 이끌 수 있도록 노력하는 홍보 및 증진책이 필요할 수 있겠다.

Future Perspectives

혈액투석의 방법에 따라 탄소 발자국을 줄일 수 있는 방법이 있는지 연구가 필요할 수 있다. 2007년 영국에서 진행했던 소규모비교연구에서는 재택혈액투석을 시행하는 것이 일반적인 투석실기반 혈액투석(Facility based Hemodialysis)에 비해 탄소 발자국을 줄일 수 있다는 결과가 발표된 바 있다(0.207 vs 1.404 tons of CO_2 Eq patient per year). 하지만 대부분의 차이는 환자가 이송하는 데 절감되는 배출량으로 계산된 것이므로, 실제

물, 에너지, 폐기물 사용량의 비교가 훨씬 정밀하게 진행되어야 하며, 이를 통해 이득 또는 손실이 정확히 측정되어야 할 것이다.

재택혈액투석의 경우 투석실기반 혈액투석보다 기계 이용 효율이 낮으며, 많은 경우 긴 시간을 보다 자주 시행하여야 해서 전력, 물의 사용 및 폐기물 생산에 있어서 실제 영향을 더욱 면밀히 파악할 필요가 있다.

외국에서의 재택혈액투석을 통한 치료 비율이 증가하고 있고, 차후 한국에도 도입할 수 있는 방법이기 때문에 이러한 에너지 손실을 최소화할 방법에 대한 지속적인 연구가 필요하다. 또한 이송 거리를 최소화하는 노력도 필요할 수 있으므로 네트워크 활성화를 통한 최소 이송 거리 치료 기관 안내 홍보나, 공유 차량 활용, 이송 거리가 특히 먼 지역에서 가정치료의 활성화 등의 여러 방법을 고려해 볼 수 있다.

참고문헌

1. James R: Dialysis and the environment: comparing home- and unit-based haemodialysis. J Ren Care 2007;33:119–123.

복막투석

5장 복막투석에서의 물 절약을 위한 제안

6장 복막투석에서의 폐기물 감소를 위한 제안

7장 복막투석에서의 탄소 발자국 감소를 위한 제안

복막투석 Key Messages

5.1 복막투석액의 생산과정에 있어 물 자원을 더욱 효율적으로 사용할 수 있는 방법을 적극적으로 고려해야 한다.

5.2 복막투석 치료 과정에서 물 자원을 더 효율적으로 사용하기 위해서 치료 과정에서 사용되지 않고 버려지는 투석액이 없도록 하는 방안을 적극적으로 모색할 것을 제안한다.

6.1 복막투석에서 나오는 환경위해물질들을 낮추기 위한 노력이 필요하다.

6.1.1 복막투석백 제조 시 사용되는 PVC 사용을 최소화하기 위하여 가급적 PVC-free, 생분해성 소재를 사용하여 투석백을 제조할 것을 제안한다.

6.1.2 기존 PVC 재질의 복막투석백의 재활용률을 증대시키기 위해, 수거시스템을 활용한 재수거의 최대화를 제안한다.

6.2 복막투석 배포 시 사용되는 배송 상자는 종이로 제작되어야 하며 재활용 수거함에 버려서 재활용 한다.

7.1 복막투석액 배송 과정에서 발생하는 배출물로 인한 탄소 발자국의 감소를 위해 운송을 최소화하기 위한 방법을 적극적으로 고려해야 한다.

7.2 복막투석액 배송 과정 효율화를 높이는 방법을 지속해서 모색하고, 배송 과정에 환경친화적 차량을 이용하는 것을 적극적으로 고려해야 한다.

5장 복막투석에서의 물 절약을 위한 제안

Key Message

5.1 복막투석액의 생산과정에 있어 물 자원을 더욱 효율적으로 사용할 수 있는 방법을 적극적으로 고려해야 한다.

Current Issues

복막투석은 혈액투석에 비해 적은 투석액을 치료에 활용한다는 점에서 물 자원의 사용에 있어서는 더 유리한 방법이라고 할 수 있다. 분당 500 ml/min을 사용하여 주 3회 4시간 혈액투석을 진행하였을 때 주당 총 360 L의 물 자원을 사용하는 데 비해, 하루 10 L의 투석액을 사용하는 복막투석의 경우 주당 70 L를 사용하게 된다고 할 수 있다. 또한 복막투석액의 경우는 대량으로 생산되고 있어 혈액투석의 경우와 마찬가지로 역삼투 과정을 이용하여 원수를 생산하고 있으나 이 과정에서 버려지는 물자원은 혈액투석에 비해 매우 적은 양이다. 단지 다량으로 생산되는 과정을 감안한다면 버려지는 물자원을 최소화하고 소모를 줄일 수 있는 방법이 고려되어야 한다.

Statements

복막투석액의 생산 처리 과정에서 물 자원을 더욱 효율적으로 사용하는 것이 필요하므로, 혈액투석에서와 마찬가지로 역삼투 과정에서의 막효율성을 높여 반류수를 줄이는 방법에 대해서 고려가 필요하다. 또한 발생한 반류수의 경우에는 재처리 방안 마련 및 기타 용도로 재활용할 방법을 마련하는 것이 필요하다.

복막투석액을 생산하는 시스템의 경우 다량의 생산라인을 집약적으로 운용하고 있기

때문에, 개별 혈액투석실에서 진행하는 것보다 반류수를 모아 다른 목적으로 활용하는 것이 더 효과적일 것으로 기대된다. 반류수의 경우 산업용수나 주변 농경지의 농업용수로 활용한다거나, 복막투석 생산 설비 시설 내의 화장실, 수도용수 및 정원관리 등에 재사용이 가능하다.

Key Message

5.2 복막투석 치료 과정에서 물 자원을 더 효율적으로 사용하기 위해서 치료 과정에서 사용되지 않고 버려지는 투석액이 없도록 하는 방안을 적극적으로 모색할 것을 제안한다.

Current Issues

복막투석의 경우 환자의 잔여 신기능 및 체중에 따라 요구되는 투석액의 양이 다양한데 현재는 지속외래복막투석(Continuous Peritoneal Dialysis, 이하 CAPD), 자동복막투석(Automated Peritoneal Dialysis, 이하 APD) 각각의 방법에 대해 1 표준용량의 한 가지 투석액만 제공되고 있으므로 하루 투석 스케줄에 따라 투석 치료를 진행할 때 사용 후 버려지는 투석액이 상당한 것이 현실이다. 따라서 제공되는 복막투석액의 용량을 다변화하여 버려지는 물 자원을 줄일 수 있도록 하는 방법을 모색하는 것이 필요할 것으로 여겨진다.

또한 1 kg의 플라스틱 백이 제조되는데 180 L의 물이 사용되는 것으로 추정된다. 복막투석액 1백의 무게는 약 155 g 이므로 플라스틱 사용에 따른 물 사용량은 하루에 치료에 사용되는 백의 숫자에 따라 84~140 L의 추가적인 물 사용량이 존재하는 것으로 계산된다(하루 3~5 bag/day). 따라서 플라스틱 백의 사용 숫자를 줄이는 것도 물 자원의 보존에 도움이 될 수 있다.

한국의 경우에는 복막액의 경우 산정특례 보험 적용을 통해 10%의 자기 부담금만 발생

하게 되나 배액백의 경우 의료 재료로 구분되고, 여기에는 투석 산정특례가 적용되지 않으므로 복막액백 1개의 가격보다 배액백의 환자 부담금이 높다는 문제가 발생한다. 따라서 주간 투석액을 주입하지 않는 야간집중복막투석(Night Intermittent Peritoneal Dialysis, 이하 NIPD)을 시행할 때나 여러 시술 전 배액만 시행하여야 하는 경우 배액백만 사용하는 것이 이상적이나, 현재 의료 환경에서는 복막투석액에 포함된 배액백을 사용하고 연결된 투석액은 사용하지 않고 버림으로써 발생하는 물 자원의 낭비가 진행되고 있는 현실이다.

Statements

복막투석 치료 과정에서의 효율적인 물 자원 사용을 위해서는 투석 후 버려지는 투석액이 없도록 하는 것이 필요하므로, 복막투석 액의 포장 단위를 다양하게 하여 각각의 환자에서 버려지는 투석액 없이도 투석 치료를 유지하도록 하는 것이 필요하다. 또한 배액백의 의료수가 적용을 통해 실제 치료현장에서 활용함으로써 불필요한 복막투석액의 낭비를 막아야 할 필요가 있다.

Future Perspectives

향후 증기 압축 증류(Vapor Compression Distillation) 등 현재의 역삼투 장치 외에 고효율 순수 생산 시스템의 개발을 적극적으로 추진하려는 노력을 기울여야 한다. 증기 압축 증류의 경우 주로 해수 담수화에 사용되는 공법으로 무기염을 제거한 순수를 생산하는 방법이라는 점에서는 역삼투 장치와 같은 원리라고 할 수 있다. 따라서 반류수를 줄일 수 있는 시스템 설계에 집중적인 노력이 필요하다.

참고문헌

1. Barraclough KA, Agar JW, Green Nephrology, Nat Review Nephrol, 2020(16)257-263.
2. Deka. Tackling the giant goliath of bad water. http:// www.dekaresearch.com/slingshot-2/(2017).

6장 복막투석에서의 폐기물 감소를 위한 제안

Key Messages

6.1 복막투석에서 나오는 환경위해물질들을 낮추기 위한 노력이 필요하다.

6.1.1 복막투석백 제조 시 사용되는 PVC 사용을 최소화하기 위하여 가급적 PVC-free, 생분해성 소재를 사용하여 투석백을 제조할 것을 제안한다.

6.1.2 기존 PVC 재질의 복막투석백의 재활용률을 증대시키기 위해, 수거시스템을 활용한 재수거의 최대화를 제안한다.

Current Issues

복막투석은 혈액투석에 비해 투석 1회당 발생하는 폐기물의 양은 적을 것으로 생각되지만, 매일 투석을 시행하여야 하므로 1년 동안 환자 1인당 총 폐기물의 양은 복막투석이 혈액투석에 비해 좀 더 많은 것으로 보고되고 있다. 또한 복막투석의 경우, 약 80% 이상의 탄소배출이 투석액 포장 및 플라스틱 투석백 사용과 관련된 것으로 보고되고 있어, 이를 최소화하기 위한 노력이 시급하다.

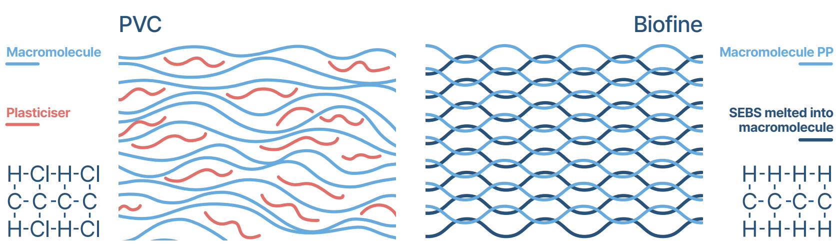
한국 환경공단 자료에 따르면, PVC는 염소와 여러 물질이 첨가되어 제조 과정에서 다이옥신과 장기 체류 오염물질 등이 공기, 토양으로 유출되고, 매립 혹은 소각 시에도 다이옥신과 중금속을 배출하는 것으로 알려져 있다. 즉 PVC는 재활용되지 않고, 처리 시 소각 및 매립 시에도 유해 물질 배출을 많이 하므로 그린피스에서는 PVC를 가장 유해한 플라스틱으로 분류하여 사용을 억제토록 하고 있다. 따라서 가급적 PVC가 들어있지 않은 생분해성 소재들을 이용한 투석백 제조가 절실하다.

국내의 한 복막투석에서 현재 활용되는 Biofine® 재질은 PVC와 가소제가 들어있지 않

은 소재로서 염소 성분이 포함되어 있지 않아, 소각 시 환경 유해 물질이 나오지 않고 재사용이 가능하다는 장점이 있다.

실제 Biofine 기반 제품과 PVC 기반 제품을 비교한 결과, 지속외래복막투석 환자의 경우 일회용품 폐기물의 양을 1년간 최대 88 kg, 자동복막투석의 경우 최대 29 kg까지 줄일 수 있는 것으로 보고되었다.

또 다른 국내 복막투석 회사에서도 2025년 말~2026년 초 PVC가 들어있지 않은 소재의 국내 사용을 목표로 현재 허가 관련 업무를 진행하고 있어 환경친화적인 방향으로 진화가 지속될 것으로 기대된다.

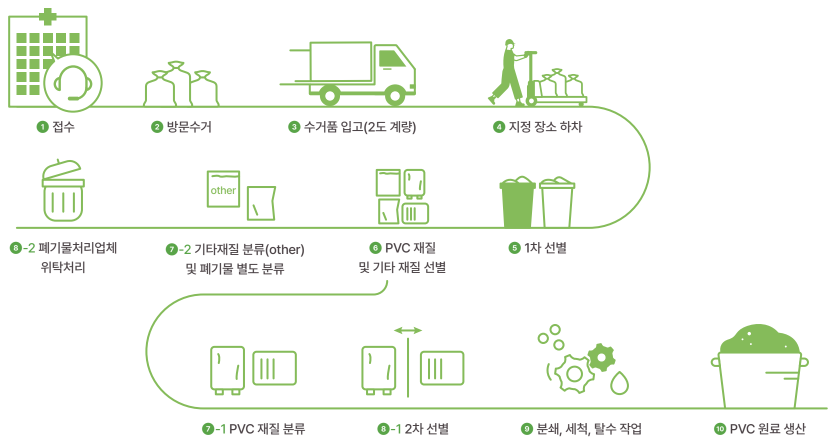


[그림 1]

실제 재활용이 가능한 소재라고 하더라도 다른 생활폐기물과 섞어 수거하는 것보다는 재활용이 가능한 단일 성분의 투석백만을 모아 수거하는 것이 재활용의 효율을 매우 높일 수 있을 것이라 기대한다. 현재 국내의 한 복막투석 회사에서는 PVC 소재의 투석백을 전량 수거하여 공정 과정을 거쳐 재활용할 수 있는 것은 재활용하고, 재활용이 불가한 것은 최소로 줄여 폐기 처리하고 있다.

수거 및 공정 과정은 아래 그림 2와 같다. 우선 선별자가 수작업을 통해 PVC 백을 직접 선별한다(1차 선별). PVC 백은 부드러운 연질성을 지니고 있으며, 질긴 재질로 이루어져 있어 재질이 딱딱하고 빳빳한 기타 포장재와는 다르게 원료로 재사용이 가능하다. 2차 선별까지 진행된 후에 PVC 백은 분쇄-세척-탈수 순으로 기계화 작업 후 분쇄되어 다시 PVC

원료로 이용된다. 이 과정을 통해 현재 국내에서는 2차 선별된 PCV 백의 87% 이상이 재활용되고 있다. 연간 재활용되는 양은 250,000 kg 이상인 것으로 확인된다. 단 현재 이 과정은 수도권 및 경상북도 및 경상남도 영남 지역만 가능하여 차후 전국으로 확대하는 것이 필요하다.



[그림 2]

Statements

치료 전반에 걸쳐 환경친화적인 소재 활용도를 높이고, 생분해성 투석백의 사용 활성화를 포함하여 사용한 복막투석백의 적극적인 수거를 통해 재활용률을 높이는 것이 필요해 보인다.

Key Message

6.2 복막투석 배포 시 사용되는 배송 상자는 종이로 제작되어야 하며 재활용 수거함에 버려서 재활용 한다.

Current Status

외국에서는 복막투석액의 배송에 사용되는 포장 상자가 배송 중 파손되는 것을 막기 위해 비닐, 양털 등을 종이 상자에 접착하여 제작함으로써 차후 재활용이 불가능해지는 문제가 있다. 현재 국내의 경우 안정적인 배송 시스템이 정착되어 있어 모든 포장 상자는 종이로 만들어져 있고, 따로 상자 안에 충전재를 사용하지 않아, 환자가 분리하여 배출하면 100% 재활용이 가능한 상태이다. 이러한 안정적 배송 시스템 및 재활용 소재의 활용을 지속하는 것이 중요하다.

Future Perspectives

아직 투석방법(CAPD, APD, CCPD)에 따른 폐기물의 양을 직접적으로 비교한 자료는 매우 부족한 실정이다. 기존 연구자료에 의하면 하루 4번 교환하는 지속외래복막투석(CAPD)에 비해 투석용기기를 이용한 자동복막투석(APD)을 이용할 때 살균캡(Disinfection cap)의 사용량은 감소하나(4 cap → 1 cap), 기계 사용에 따른 도관(Tubing system) 사용 및 배액백(Drainage set) 사용이 추가로 필요하게 된다. 또한 기계 사용에 따른 전기 사용량이 추가로 들 것으로 예상된다.

현재로서는 가능하다면 복막기계투석 시 투석액 사용량을 줄여보는 것이 복막투석 관련 폐기물을 줄이는 방법으로 고려해 볼 수 있을 것으로 여겨진다. 따라서 투석 효율이 충분히 보장될 수 있는 잔여 신기능이 좋은 환자에서 점진적 증량 복막투석(Incremental PD)을 시행해 볼 수 있다. 향후 점진적 증량 복막투석과 표준복막투석 폐기물의 양, 연간 처리비용 및 탄소 배출량 비교 분석하는 연구가 필요하겠다.

참고문헌

1. PLASTIC WASTE REDUCTION IN DIFFERENT PERITONEAL DIALYSIS STRATEGIES: THE IMPACT OF DISPOSABLE CHOICE ON CARBON FOOTPRIN NDT, Volume 34, Issue Supplement_1, June 2019, ERA/EDTA poster presentation.
2. Fresenius Medical Care. Biofine.Data on file: F00011465 MT-EN(BG 05.22).
3. Green nephrology. Nat Rev Nephrol 2020 May;16(5):257-268.
4. Green nephrology and eco-dialysis: a position statement by the Italian Society of Nephrology. J Nephrol 2020 Aug;33(4):681-698.
5. Green Nephrology. Kidney Dial 2022:2(3):454-458.
6. Sustainability inz dialysis therapy: Japanese local and global challenge. Renal Replacement Therapy(2021) 7:42.
7. Incremental Versus Standard(Full-Dose) Peritoneal Dialysis Kidney Int Rep. 2022 7(2): 165–176.

7장 복막투석에서의 탄소 발자국 감소를 위한 제안

Key Message

7.1 복막투석액 배송 과정에서 발생하는 배출물로 인한 탄소 발자국의 감소를 위해 운송을 최소화하기 위한 방법을 적극적으로 고려해야 한다.

Current Issues

복막투석의 경우 혈액투석에 비해 투석 치료 과정에서 발생하는 탄소 발자국의 양은 적은 것으로 추산되고 있다. 나라 및 집계 방법에 따라 차이가 있기는 하나 혈액투석 치료에서 발생하는 것으로 추산되는 탄소 발자국의 경우 영국에서는 혈액투석 치료를 받는 환자 1인당 연간 탄소 발자국 계산량 3.8 tons CO_2-Equivalent (tCO_2-Eq)로 보고된 바 있고, 미국의 경우에는 9.18 tCO_2-Eq로 보고된 바 있다. 지역별 차이의 주요 원인은 환자 및 의료진이 투석 치료 장소인 병원까지 이동하는 거리의 차이에서 기인하는 것으로 여겨진다. 호주 연구에서는 1인당 10.2 tCO_2-Eq의 발생이 예측된다고 보고된 바 있는데, 이는 투약 약제에 의한 영향을 합산하였기 때문에 수치가 증가한 것이며 실제 혈액투석 치료가 미치는 영향을 보다 정확히 파악하는데 도움이 되는 자료로 여겨진다.

이에 비해 복막투석의 경우 관련 연구가 매우 낮은 제한점이 있기는 하지만 중국에서 보고된 연구의 경우 연간 1인당 탄소 발자국 배출량은 1.4 tCO_2-Eq로 보고되었다. 하지만 이 연구에서 투석백의 운송에 대해서는 정확하게 계산하지 못하였다는 한계점이 있었다. 호주에서의 최근 연구는 보다 정확한 계산을 위해 노력하였고, 복막투석에서의 탄소발자국 발생은 혈액투석에 비해 낮은 측면을 보이며 CAPD의 경우가 APD보다 적다는 것을 제시하였다. 즉 복막투석 치료에 있어 중요한 탄소 발자국의 발생 요인은, 투석액과 투석 치료에

필요한 부속품의 운송 과정에서 발생하는 배출물에 의한 것으로 생각되며, 이와 관련된 탄소 발자국의 문제 개선이 요구된다.

해상 통로를 통한 복막투석액의 이송에는 한 환자의 투석액을 1,000 km 이송할 때마다 매년 1 tCO_2-Eq가 발생하는 것으로 추정된다. 마찬가지로 육로를 통한 이송의 경우에도 거리에 비례하여 탄소 발자국의 발생이 증가한다. 호주에서 발표된 자료에 따르면 Perth에서 치료받는 환자가 Sydney에서 배송받는 경우 (4,000 km) 하루 배송에만 3.1 tCO_2-Eq이 발생한다고 추산하였다.

Statements

복막투석 치료에서의 탄소발자국 발생은 혈액투석 치료에 비해 적다는 이점을 갖기는 하지만, 이를 줄이기 위한 노력은 다각도로 진행되어야 할 것이다. 관련 폐기물을 줄이고 재사용하는 노력과 함께 운송에 관련된 부분을 효율적으로 감소시키기 위한 여러 노력이 지속되어야 하겠다.

Key Message

7.2 복막투석액 배송 과정 효율화를 높이는 방법을 지속해서 모색하고, 배송 과정에 환경친화적 차량을 이용하는 것을 적극적으로 고려해야 한다.

Current Issues

현재 복막투석 치료 과정에서 해외 운송 과정 외에도 복막투석액 및 소모품을 각 가정으로 배송하여 치료에 활용될 수 있도록 하는 과정에서의 탄소 발자국 발생이 상당한 문제가 될 수 있다. 복막투석액의 국내 운송은 투석 회사에서 특정 배송 업체와의 계약을 통해

진행하고 있다. 매년 환자 비율과 배송량 등을 다양하게 분석하여 동선의 최소화, 배송 시스템의 최적화를 위해 배송되는 요일을 지역적으로 정하여 진행하고 있어, 최대한 효율적으로 유지될 수 있도록 노력하고 있다.

Statements

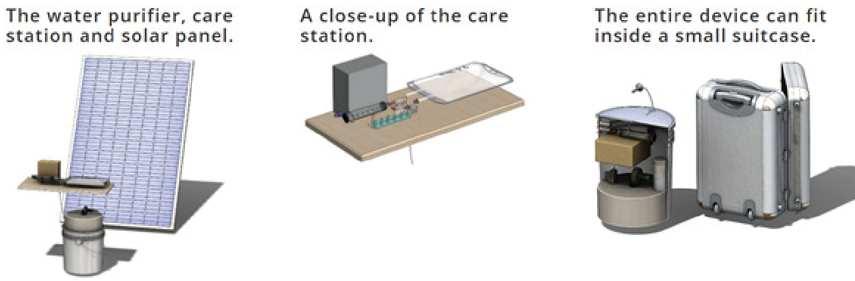
이제부터라도 복막액의 배송과 관련해서 이동 동선과 환자 불편을 최소화하는 방법이 지속해서 논의되어야 하고, 지역별 물류센터 등의 도입을 통해 배송 단위를 효율화 할 수 있는 방법도 고려될 수 있을 것으로 보인다.

추가로 복막액을 운송하는 차량의 배출물을 최소화할 수 있도록 천연가스 혹은 전기차로 운송할 수 있는 체제를 도입할 수 있도록 노력해야 한다.

Future Perspectives

복막투석액을 개별 가정에서 생산하는 시스템의 도입이 가능하게 되면, 물 자원의 사용 효율화와 배송에 드는 배출물의 감소에 도움이 될 수 있다.

현재 호주에서는 증발 원리를 차용하여, 가정에서 수돗물을 증류시켜 정제된 증류수를 만들고 일정한 백에 채집한 후, 전해질과 포도당을 혼합하여 복막투석액을 직접 만들도록 고안된 Ellen Medical Device의 임상연구가 진행 중이다. 이는 2016년 Affordable Dialysis Prize를 받고 세계 콩팥의 날에 소개된 공법으로, 가정에서 태양열을 활용한 소규모 증발 기구를 이용해 순수를 생산하고 이를 멸균된 백에 전해질 및 포도당 파우더와 함께 채집함으로써 투석액을 만들어 내는 방법이다. 현재는 시제품 업그레이드를 진행하고 있으며, 일반 가정에서 실제로 만든 투석액의 적합성을 평가하기 위해 예비 연구(Pilot study)가 진행되고 있다(Sydney, Australia). 곧 그 결과를 보고할 예정이어서 이후 상용화된다면 복막투석액에 투입되는 자원 절감 및 탄소 발자국의 감소에 중요한 역할을 할 것으로 기대한다.


The water purifier, care station and solar panel.
A close-up of the care station.
The entire device can fit inside a small suitcase.

[그림 1]

참고문헌

1. https://noharm-global.org/sites/default/files/documents-files/5961/HealthCaresClimateFootprint_092319.
2. Agar. Green Dialysis: The Environmental Challenges Ahead. Seminar Dial 2015.
3. Chen et al. The carbon footprints of home and in-center peritoneal dialysis in China. Int Urol Neph, 2017.
4. Dhl-carboncalculator.com.
5. https://www.ellenmedical.com/.
6. TALBOT, B, Davies, S, Burman, J et al Kidney International Reports (2023) 8, S350.
7. McAlister, Scott; Talbot, Ben; Knight, John; Blair, Susan; McGain, Forbes; McDonald, Stephen; Nelson, Craig; Knight, Richard; Barraclough, Katherine A. The Carbon Footprint of Peritoneal Dialysis in Australia. Journal of the American Society of Nephrology ():10.1681/ASN.0000000000000361, April 26, 2024. | DOI: 10.1681/ASN.0000000000000361

지속성 신대체요법

8장 지속성 신대체요법에서의 물 절약을 위한 제안

9장 지속성 신대체요법에서의 폐기물 감소를 위한 제안

10장 지속성 신대체요법에서의 에너지 절약을 위한 제안

지속성 신대체요법 Key Messages

8.1 기관별로 지속성 신대체요법(CKRT) 시행 시 투석량 전달률을 확인하여 투석량이 20~25 mL/kg/hr로 전달되도록 조절하기를 권고한다.

9.1 지속성 신대체요법(CKRT) 투석막 사용 시간 24시간 경과에 따른 일괄적 교체에 대한 재고 필요성을 제안한다.

9.2 지속성 신대체요법(CKRT) 투석막 키트에서 재활용 가능한 물품(포장재, 지지대, 투석액 주머니)은 분리배출하여 재활용할 수 있도록 제도적 개선을 위한 노력이 필요하다.

9.3 지속성 신대체요법(CKRT) 투석막 수명 증가를 위해 국소 구연산염 항응고요법(Regional Citrate Anticoagulation) 도입을 제안한다.

10.1지속성 신대체요법(CKRT)의 불필요한 중단을 피하여 불필요하게 반복적으로 시행되는 프라이밍 횟수를 줄일 수 있도록 적극적으로 노력할 것을 권고한다.

8장 지속성 신대체요법에서의 물 절약을 위한 제안

Key Message

8.1 기관별로 지속성 신대체요법(CKRT) 시행 시 투석량 전달률을 확인하여 투석량이 20~25 mL/kg/hr로 전달되도록 조절하기를 권고한다.

Current Issues

Rhee[1], Lee[2] 등의 보고에 따르면 대한민국에서 주로 처방되는 투석량은 35~40 mL/kg/hr이며, 지속성 신대체요법 시행 시 실제로 전달되는 투석량은 대략 30~40 mL/kg/hr로 기관별 차이는 있으나 투석량 전달률은 90% 이상으로 추정된다. 지속성 신대체요법 시행 시 불필요하게 높은 투석량 처방은 불필요한 물 사용량 증가(Dialysate fluid, Replacement fluid)로 이어진다.

ATN 연구[3], RENAL 연구[4] 결과 투석량을 20~25 mL/kg/hr 이상 증가시킨다고 하더라도 추가적인 생존률의 개선은 없었기 때문에 현재 국제신장학회(KDIGO) 2012 가이드라인은 지속성 신대체요법 시행 시 투석량 20~25 mL/kg/hr가 전달될 것을 권고하고 있다. 다만, 임상 현장에서는 실제로 지속성 신대체요법 적용 시 여러 이유(이송, 검사, 필터 교체 등)에 의해 지속성 신대체요법을 중단하는 시간인 Down time을 고려해야 하므로 이보다 높은 투석량을 처방할 수 있다고 기술하고 있다[5].

국내 단일기관 자체 의료질향상활동(Quality Improvement, 이하 QI) 보고에 따르면, 투석량을 30~35 mL/kg/hr로 처방하였을 때 전달된 투석량은 평균 31.1 mL/kg/hr (전달률 89~90%) 로 하루 평균 1인당 53.6 L의 투석액이 소비되었으나, 처방량 25~30 ml/

kg/hr로 줄인 이후 전달된 투석량은 평균 27.4 mL/kg/hr로 1인당 하루 투석액 소비량은 46.8 L 로 감소하였다. 이를 통해 환자 생존율에 영향 없이 1인당 하루 약 6.8 L의 투석액 소모를 줄일 수 있었다.

Statements

대한민국 의료기관에서 지속성 신대체요법 시행 시 처방되는 투석량은 국제신장학회 권고보다 최고 2배 더 높은 것으로 추정된다. 환자 생존에 이점이 없는 불필요하게 높은 투석량 처방은 불필요한 투석액 사용량 증가뿐만 아니라 투석액의 무균가공 과정, 포장, 배송에 소모되는 탄소 발자국을 높이는 요인으로 작용하므로 기관별 투석량 전달률을 확인하여 적정한 투석량이 제공될 수 있도록 투석량 처방을 조절할 것을 권고한다.

9장 지속성 신대체요법에서의 폐기물 감소를 위한 제안

Key Message

9.1 지속성 신대체요법(CKRT) 투석막 사용 시간 24시간 경과에 따른 일괄적 교체에 대한 재고 필요성을 제안한다.

Current Issues

대한민국 건강보험 급여 기준에 따라 지속성 신대체요법 투석막 키트는 하루 1개 급여 적용이 되고 있다. 대한민국 건강보험심사평가원 통계자료를 이용한 분석 결과에 따르면 투석막 필터 1개당 사용 시간은 길게 추산하더라도 23~24시간으로 추정된다. 현재 지속성 신대체요법 시행에서 투석막 교체는 투석막의 응고에 따른 막횡단 압력(Transmembrane Pressure) 상승으로 투석막의 수명이 다하여 교체하는 경우도 있으나, 지속해서 사용할 수 있는 투석막임에도 불구하고 건강보험 급여 기준에 따라 일괄적 교체가 이루어지는 경우도 있다.

Statements

지속성 신대체요법 투석막 키트 수입 허가증에 따르면 적절한 여과기 성능을 보장하기 위해 24시간에 한 번 교체가 제안되어 있고, 72시간 이내에는 반드시 교체하도록 기술되어 있다[6]. 그러나 실제로 외국에서의 지속성 신대체요법 투석막 사용 시간은 35시간 이상으로 대한민국보다 긴 것으로 보고되어 있으며 Acute Disease Quality Initiative (ADQI) 합의문에서는 투석막 수명이 60시간 이상으로 지속된 투석막의 비율이 전체 사용량의 60% 이상이 되도록 하는 것을 표준지침으로 권고하고 있다[7]. 지속성 신대체요법 투석막 사용

시간이 72시간 이내이면서 투석막 기능에 문제가 없다고 판단된다면 24시간 경과에 따른 일괄적 교체를 자제하는 것이 지속성 신대체요법 시행에 따른 폐기물(투석막, 혈액회로, 포장재, 지지대 등) 배출을 감소시켜 탄소 발자국을 줄이는데 도움이 될 것이다.

Key Message

9.2 지속성 신대체요법(CKRT) 투석막 키트에서 재활용 가능한 물품(포장재, 지지대, 투석액 주머니)은 분리배출하여 재활용할 수 있도록 제도적 개선을 위한 노력이 필요하다.

Current Issues

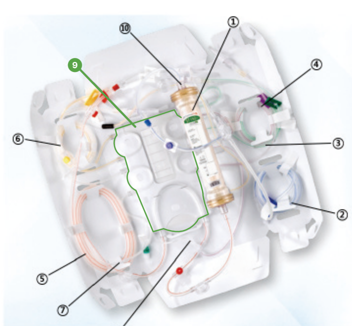
지속성 신대체요법에서는 투석 1회당 상당한 양의 의료폐기물이 발생하며, 혈액에 오염된 투석막, 혈액회로뿐 아니라 사용 중 혈액에 오염되지 않는 지지대나 투석액 주머니 등 다양한 제제들이 포함된다[그림1]. 이는 위해성의료폐기물, 일반폐기물이 혼재된 상황으로, 의료폐기물 지침에 따른 체계적인 분류가 이루어지지 않으면 일반폐기물이 위해성의료폐기물로 간주하여 재활용할 수 없을 뿐만 아니라 특수처리가 필요한 위해성의료폐기물의 물량 증가 및 처리비용 증가가 발생하게 된다.

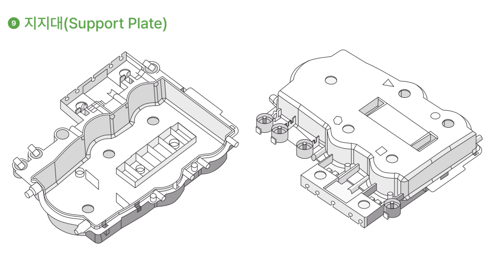
투석막 및 혈액회로, 지지대, 포장재로 구성된 지속성 신대체요법 투석막 키트의 총 무게는 제조사나 막 면적에 따라 차이는 있으나 일반적으로 772~920 g이다. 이는 대부분 폴리에틸렌, 폴리카보네이트, 폴리우레탄, 폴리염화비닐 성분으로 구성되어 있다. 이 중 폴리에틸렌 테레프탈레이트 성분인 지지대는 209 g으로 전체 무게의 22~27%를 차지하며, 환자의 혈액과 접촉이 없어 오염물질로부터 분리만 되면 재활용이 충분히 가능할 것으로 생각된다[6].

투석액 주머니의 무게는 비어 있는 상태에서 개당 62 (5 L bag) ~ 76 (10 L bag) g이다. 투석액 주머니는 의학적으로 오염되지 않은 물품이며, 순수 폴리올레핀 성분으로 고품질의 재활용이 가능한 물품이라고 이전 연구에서 보고된 바 있다[8]. 투석액 주머니에 있는 연결 부분(Connector)은 다른 유형의 플라스틱으로 재활용에 적합하지 않으므로 분리배출 시에 제거해야 한다.

Statements

투석막 키트에서 지지대가 차지하는 비율이 상당하다. 제조 과정에서부터 위해성의료폐기물이 될 부분(환자의 혈액, 체액, 여타의 분비물과 직접적으로 접촉)과 일반폐기물로 재활용할 수 있는 부분이 배출 과정에서 쉽게 분리될 수 있도록 제조공법의 변화가 필요하다. 또한 오염되지 않은 지지대, 투석액 주머니는 일반폐기물로 분리배출이 가능하게 하는 제도적 개선을 위한 노력이 필요하다.





<table>
<tr><td>1</td><td colspan="2">여과기(①)
(Hemofilter/Dialyzer)</td><td>각 회로와 연결되어 순환하는 혈액 중 노폐물을 제거</td></tr>
<tr><td rowspan="8">2</td><td rowspan="8">회로</td><td>혈액반환회로(②)</td><td>투석을 마친 혈액을 환자에게 재주입 시켜주는 회로</td></tr>
<tr><td>투석액주입회로(③)</td><td>투석액 백과 투석기까지 연결된 회로</td></tr>
<tr><td>대체용액회로(④)</td><td>대체용액 주입 시 연결회로</td></tr>
<tr><td>혈액접근회로(⑤)</td><td>체외 순환을 위해 환자에게서 나온 혈액을 투석기까지 연결시켜주는 회로</td></tr>
<tr><td>배액방출회로(⑥)</td><td>5 리터 백과 투석기에 연결되어 투석을 마치고 방출되는 액을 통과시키는 회로</td></tr>
<tr><td>전혈액펌프회로(⑦)</td><td>혈액펌프 전에 환자접근회로에서 투석액을 추가로 주입할 때 사용되는 회로</td></tr>
<tr><td>항응고회로(⑧)</td><td>혈액이 응고되어 막하는 것을 지연시키기 위한 회로</td></tr>
<tr><td>3</td><td colspan="2">지지대(⑨)</td><td>구성된 제품을 효과적으로 보관 유지시켜주는 판</td></tr>
<tr><td>4</td><td colspan="2">스크루 커넥터(⑩)</td><td>필터 양 끝부분에서 회로와 연결되는 부분</td></tr>
</table>

그림 1 지속성 신대체요법 투석막 키트 구성요소

Future Perspectives

의료폐기물 중 재활용이 가능한 일반폐기물을 규정하고, 이들의 처리 과정을 명시하여 재활용할 수 있도록 하는 제도적 보완이 필요하다.

Key Message

9.3 지속성 신대체요법(CKRT) 투석막 수명 증가를 위해 국소 구연산염 항응고요법(Regional Citrate Anticoagulation) 도입을 제안한다.

Current Issues

대한민국 건강보험심사평가원 통계자료에 의하면 2022년 한 해 지속성 신대체요법을

시행 받은 환자 수는 13,841명, 사용한 투석막의 개수는 104,631개로, 1회 치료 당 투석막은 평균 7~8개 소모되었다. 매 투석일당 부과되는 행위 수가료 생성 회수 122,595회를 기준으로 하면 환자 1인당 평균 8~9일간 지속성 신대체요법을 시행 받은 것으로 추정되며, Down time을 1일당 5% 로 두어 투석막 수명을 가장 길게 추산하더라도 최대 23~24 시간이 산출된다. 이는 Zarbock 등의 보고에서 국소 구연산염(Citrate) 제제 사용 시 평균 투석막 수명 시간인 35~42 시간보다 현저히 짧다[9].

Statements

국소 구연산염 항응고요법(Regional Citrate Anticoagulation)은 출혈 위험의 증가 없이 필터 수명을 증가시켜 KDIGO 가이드라인에서 지속성 신대체요법 운용 시 가장 먼저 권고하는 항응고 방법으로, 외국에서는 지속성 신대체요법시 주된 방법으로 사용하고 있다. 구연산염을 사용하지 않고 있는 대한민국의 경우 지속성 신대체요법 1회당 투석막 키트 사용 개수는 독일 대비 1.5~1.8 배 많을 것으로 추산된다. 대한민국에서 구연산염 항응고제 사용이 가능하게 되어 이를 통해 투석막 수명을 늘릴 수 있다면, 현재 투석막 소모량의 30~45%를 절감할 수 있다.

Future Perspectives

지속성 신대체요법 운용을 위한 국소 구연산염 항응고요법이 국내에서 사용될 수 있도록 의약품 분류 개선과 행정 제도 개선을 위한 노력이 필요하다.

10장 지속성 신대체요법에서의 에너지 절약을 위한 제안

Key Message

10.1 지속성 신대체요법(CKRT)의 불필요한 중단을 피하여 불필요하게 반복적으로 시행되는 프라이밍 횟수를 줄일 수 있도록 적극적으로 노력할 것을 권고한다.

Current Issues

지속성 신대체요법 프라이밍에 사용되는 전력 소모량은 작동에 사용되는 전력 소모량에 비하여 33% 많다{프라이밍 시 시간당 평균 120 W, 작동 시 시간당 평균 90 W[그림 1]}. 투석막의 교체가 잦아질 경우 투석막 키트 소모량이 높아질 뿐만 아니라 프라이밍의 횟수가 높아지므로 전력 소모량 또한 증가하게 된다. 지속성 신대체요법 시행 중 중단하였다가 다시 프라이밍을 하게 되는 이유는 다양한데, Rhee 등의 보고에서는 영상 검사, 시술, 수술 등을 위한 이송이 50.8%로 가장 흔한 원인이었으며, 투석막 응고에 의한 교환이 19.9%이었다[10].

프라이밍 시 작동 시

그림 1 지속성 신대체요법 시행 중 전력 소모량의 실제 측정 결과

Statements

투석막 응고에 따른 교환에 의해 반복적으로 시행되는 프라이밍을 줄이기 위해 구연산염 항응고제 도입을 제안한다. 또한 지속성 신대체요법 시작 전 환자에게 위해가 되지 않는 범위 내에서 환자의 이동과 검사 일정 등을 미리 조정하기를 권고한다.

Futrue Perspectives

향후 지속성 신대체요법 기계의 개량을 통해 기계 내 에너지 저장량을 최대한 늘려서 지속성 신대체요법 시 전원 연결이 되지 않아도 비교적 긴 시간 동안 이동이 용이할 수 있도록 성능을 개선할 필요가 있다.

참고문헌

1. Rhee H, Jang GS, Kim S, et al. Worsening or improving hypoalbuminemia during continuous renal replacement therapy is predictive of patient outcome: a single-center retrospective study. J Intensive Care 2022;10:25.
2. Lee J, Kim SG, Yun D, et al. Consulting to nephrologist when starting continuous renal replacement therapy for acute kidney injury is associated with a survival benefit. PLoS One 2023;18:e0281831.
3. Network VNARFT, Palevsky PM, Zhang JH, et al. Intensity of renal support in critically ill patients with acute kidney injury. N Engl J Med 2008;359:7-20.
4. Investigators RRTS, Bellomo R, Cass A, et al. Intensity of continuous renal-replacement therapy in critically ill patients. N Engl J Med 2009;361:1627-1638.
5. Section 5: Dialysis Interventions for Treatment of AKI. Kidney Int Suppl (2011) 2012;2:89-115.
6. 의료기기 수입 허가증, Prismaflex ST60 set 외 2건, 인공신장기용 혈액여과기 (수허 08-904호)
7. Rewa OG, Tolwani A, Mottes T et al. ADQI Consensus Meeting Members on behalf of ADQI XXII. Quality of care and safety measures of acute renal replacement therapy: Workgroup statements from the 22nd acute disease quality initiative (ADQI) consensus conference. J Crit Care. 2019 Dec;54:52-57.
8. N. Hunfeld, J. C. Diehl, S. Van Der Zee, D. Gommers, E. M. van Raaij, The Green Intensive Care: From Environmental Hotspot to Action, ICU Management & Practice 3 - 2023.
9. Zarbock A, Kullmar M, Kindgen-Milles D, et al. Effect of Regional Citrate Anticoagulation vs Systemic Heparin Anticoagulation During Continuous Kidney Replacement Therapy on Dialysis Filter Life Span and Mortality Among Critically Ill Patients With Acute Kidney Injury: A Randomized Clinical Trial. JAMA 2020;324:1629-1639.
10. Rhee H, Berenger B, Mehta RL, Macedo E. Regional Citrate Anticoagulation for Continuous Kidney Replacement Therapy With Calcium-Containing Solutions: A Cohort Study. Am J Kidney Dis 2021;78:550-559 e551.

지속가능한 신장치료 권고안

발행일 : 2024. 6. 3.

발행인 : 임춘수

발행처 : 대한신장학회 지속가능한신장치료특별위원회

주소 : (06022) 서울시 강남구 압구정로 30길 23 미승빌딩 301호

전화번호 : 02-3486-8736

웹페이지 : www.ksn.or.kr

이메일 : ksn@ksn.or.kr

디자인 및 제작 : 에그피알 02-318-8317

대한신장학회
THE KOREAN SOCIETY OF NEPHROLOGY