내부오염 평가 및 치료

한국전력 한일병원 방사선보건연구센터
김 은 실

내부 흡수선량을 줄이기 위한 2가지 일반적 과정을 거친다. 첫째, 흡수와 내부 침착을 줄이고 둘째, 방사성 핵종의 제거와 배출을 증가시킨다. 우선적으로 피부와 상처에 방사능오염을 제거해야 한다. 내부오염을 치료함에 있어서 의사가 부딪치는 난점은 오염치료가 신속해야 하고 특이적이어서 가장 효과적이어야 한다는 것이다. 사고 초기에는 방사성 물질의 수용성 여부, 화학적 성상 또는 입자의 크기를 거의 알지 못하지만 그러한 요소가 체내 분포, 궁극적 피폭선량이나 위해를 결정지으므로 내부오염의 치료는 교육받은 데로 추정에 근거하여 적어도 환자에게 손해가 미치지 않는 기술들을 사용해야 한다.

관련된 방사성 핵종, 피폭준위, 섭취 방법 등을 알아내야 하고 그에 따라 치료방법을 달리하여 의심이 가는 내부오염 경로를 따라 즉각적으로 좀더 구체적인 치료과정에 들어가며, 환자가 안정되는 데로 가능한 한 빨리 상처 부위와 입주위를 제염하는 것이 중요하다.

옥소와 삼중수소, 부식성 또는 산성용액를 제외한 대부분의 방사성 핵종은 정상적인 피부를 통과하지는 않는다.

흡입에 의한 내부오염도 흔하다. 피폭 후 수분내에 코구멍을 swab한 시료에서 흡입 여부를 알 수 있으며, 물에 적신 면봉으로 swab하도록 한다. 그러나 주위 안면이 오염되어 있을 경우 측정에 오류를 범하기도 한다. 게다가 코 안에서는 자체적으로 한시간 내에 입자들을 제거하는 작용이 있으므로 시료채취가 즉시 이루어지지 않은 경우는 오염물질 흡입가능성을 배제하지 못한다. 플루토늄인 경우 nasal swab에서 분당 500개 이상 알파붕괴가 일어나면 치료를 요하는 피폭이다.

입자크기는 흡입된 물질의 분포에 중요하다. 입자가 작으면 폐포에 침착하지만 입자가 아주 큰 경우는 코, 후인두, 기관 등에 침착된다. 현재로서 폐에 침착된 방사능 물질의 제거를 자극하는 효과적인 방법이 없이 일반적으로 정상 섬모운동에 의존하고 있다. 기관지-폐세척은 반감기가 긴 방사성 핵종의 다량 부하 시에 추천되는 방법이고 실시 전에 전문가의 조언을 구하도록 한다.

경구섭취에 의한 내부오염은 덜 흔하다. 모든 흡입은 어느 정도 경구섭취를 유발하는데 기관에서 섬모에 의한 입자제거 과정에서 삼켜지기 때문이다. 경구로 섭취가 된 경우는 즉시 코, 입, 인두, 위를 세척하고, 100 ml 물에 10 gram의 하제를 처방하도록 한다.

사고 초기 처치에서 체내 방사성 핵종의 정확한 측정은 매우 어렵다. 외부 오염이 되 있을 때 오염이 피부에 또는 체내에 있는지 구분하기도 어렵다. 방사성 옥소, 방사성 세슘, 코발트와 같은 감마선을 방출하는 핵종에 대해서는 감마 카메라로 국소화 및 대략 정량화가 가능하며 폐나 위와 같은 위치 선정도 할 수 있다.

방사성 옥소 섭취는 갑상선 probe로 갑상선에 대해서 직접 계측한다. 내부 침착에 대한 가장 결정적인 측정방법은 전신 계측기, 흉부 계측기로 평가하는 것이다. 그러나 표면오염이 있는 경우는 직접 계측한 값의 해석이 복잡해지며 실제로 전신계측기는 극히 예민도가 높다. 의학적 치료가 필요한 유해 용량의 방사성 핵종에 오염된 경우는 높은 예민도 때문에 계측기 사용에 제약이 따른다. 그러므로 의학적으로 내부 침착이 심하다고 의심이 되는 경우 전신계측을 위해서 치료를 지연시키는 것은 유용하지 않다.

소변, 대변 분석도 할 수 있다. 첫 24시간 검사결과는 핵종배설이 안될 수도 있고 방광 내에 먼저

있던 소변과 희석되어 결과 해석이 매우 어렵다.

위장관 흡수를 줄이고 제거를 촉진하는 방법으로 수분 내에 장을 비우는 phosphosoda 관장을 할 수 있다. Prussian Blue (ferric ferricyanide)는 cesium, thallium, rubidium의 대변배설을 촉진하므로 FDA 공인은 받지 못했으나 응급치료제로 사용되어 왔다. 1 gram의 PB를 하루 세 번, 수일간(최고 3주까지) 투여할 수 있으며, 사람에서 PB는 cesium-137의 생물학적 반감기를 절반으로 줄여준다. 1987 브라질 Goiania 사고에서 PB는 성인에게 하루 10 gram까지 투여해도 무방하였다.

Aluminum 함유 제산제는 strontium의 장내 섭취를 줄인다. aluminum phosphate gel 100 ml를 방사성 strontium 섭취 후 즉시 복용하면 장내 흡수를 85% 줄일 수 있다. radium과 strontium 섭취 시에 barium sulfate를 투여하면 불용성 복합체를 형성해서 장내 흡수가 감소한다.

방사성 핵종의 차단과 희석도 하나의 치료법이다. 다량의 안정 핵종을 투여하여 방사성 핵종의 섭취를 차단하는 방법으로 흔히 potassium iodide에 의한 방사성 옥소의 갑상선 섭취차단은 하루 130 mg씩 2주간 투여한다. 피폭 후 수분 내에 즉시 투여하면 갑상선 섭취를 90%까지 차단할 수 있다. 투여가 6시간 정도 지연되면 섭취 차단은 50%로 감소한다.

안정형 strontium은 방사성 strontium의 희석제로 쓰이며 strontium lactate 정(300 mg)을 하루 2~5회 투여한다. phosphates는 strontium의 장내 흡수를 감소시키고 phosphorus-32를 희석시키는 데에 쓰인다.

삼중수소에 대해서는 다량의 수액을 주사하여 희석시키고 반감기를 10~12일에서 6일 이하로 줄일 수 있다.

Turnover를 증가시키는 물질을 투여하거나 이미 조직에 침착된 방사성 물질은 이동을 촉진하는 방법으로 배출을 증가시킬 수 있으므로 피폭 즉시 투여하는 것이 가장 효과적이지만 수주 또는 수개월 후에도 효과가 있다. Propylthiouracil 또는 Methimazole은 부작용이 있지만 갑상선에서 방사성 옥소의 유효 반감기를 25%까지 줄일 수 있다.

방사성 strontium은 ammonium chloride를 경구투여함으로써 이동이 촉진되고 동시에 calcium gluconate 주사로 그 효과가 상승된다. 피폭즉시 치료를 시작하면 방사성 strontium은 40~80%가 이동된다. Ammonium chloride는 위점막을 자극하고 구토를 유발 할 수 있다. 이뇨제를 써서 chlorine, potassium, hydrogen의 배설을 촉진시킨다. 부갑상선 호르몬으로 phosphorus의 소변배설을 촉진시킨다.

체액 속에 있는 중금속 이온에 대해서는 피폭직후 착화제를 투여하여 배설을 촉진시키는 방법이 널리 이용된다. calcium DTPA (diethylenetriamine pentacetic acid)와 zinc DTPA가 사용되며 초우란원소 계열, 즉 plutonium, californium, americium, curium 등과 희귀 중금속, cerium, yttrium, lanthanum, promethium, scandium 등의 제거에 쓰인다. zirconium, niobium 제거에도 쓰인다. 권장용량은 하루 한번 1 gram을 주사하거나 분무하는 것이다. 착화제의 치료효과는 방사성 핵종의 화학적 성상에 달려있으며 즉시 투여하면 용해성 플루토늄을 30~40%까지 줄일 수 있다. 상대적으로 불용성인 플루토늄은 착화제 투여효과가 적다.

체내 피폭선량 평가(Internal Dosimetry)

1. ICRP2 (1959) 방법에 의한 평가

향골성 핵종을 제외한 모든 방사성 핵종은 쉽게 평형상태에 도달하며 핵종에 따라 결정장기에 선별적으로 많이 침착된다. 그러므로 결정장기에 따라 피폭량을 평가하며 결정장기에 대한 피폭량이 제한치를 넘지 않도록 인체 침투를 막아야 한다.

2. ICRP30 (1979) 및 MIRD 방법

ICRP26의 개념에 의거하여 체내피폭량을 평가하며 모든 방사성물질이 침착된 선원장기들을 고려하여 표적장기가 받는 피폭을 합산한다.

선원장기와 표적장기의 구분 후 선원장기에서 방출되는 각종 방사선의 에너지가 표적장기에 얼마만큼 흡수되는지 계산한다. 표준화되어 간편한 방법 중 하나가 MIRD 방법이다

3. 방사선 체내피폭량 측정

1) 체외계측법(whole body counting method)

중차폐체형 전신계수기, 간이형 전신계수기, 폐 모니터(Pu-239의 폐 부하량 측정) 등으로 인체에 섭취된 방사성물질에서 체외로 방사되는 방사선을 계측하는 것으로 체내 방사성물질의 핵종, 양, 잔류 등을 측정한다.

2) 바아오어세이법(Bioassay method)

방사성물질이 체내로 섭취되어 장기와 조직에 침착된 후 신체의 신진대사에 의하여 여러 경로를 경유하여 몸 밖으로 방출되므로 방사성물질에 대한 화학적인 분석조작으로 방사능을 측정하여 체내에 있는 양을 측정한다. 시료채집, 화학분리, 측정시료 제작, 방사능계측 등의 과정을 거친다.

중성자피폭에 대한 평가

중성자 피폭사고는 보통 임계사고에서 발생한다. 원자로나 핵무기 제조공장에서 발생할 수 있고 중성자 피폭과 실질적인 감마선 피폭을 유발하며 다음의 4가지 방법으로 평가한다.

1) 혈액에서 Na-24 분석
2) quick sort 방법
3) 모발에서 phosphorus-32 분석
4) 금속물질의 활성도(jewelry)

중성자 피폭으로 안정 핵종이 활성화되므로 그렇게 유도된 방사능을 측정하는 것이 중성자선량평가 원리이다. 중성자에 의한 전신선량 10 rad는 혈액 중의 sodium-24 용량을 측정함으로써 알 수 있고 10 cc 혈액으로 분석 가능하다. quick sort 방법은 Guiger 계수기 형태의 선량측정기를 복부에 대고 측정하는 것이므로 복부 표면에 방사능이 없어야 하고 다른 원인으로 인한 내부 방사능이 없어야 사용 가능하다.

중성자 선량이 신체부위에 국소화 되면 모발에서 phosphorus-32 활성을 분석하여 선량을 평가할 수 있다. Phosphorus-32는 천연 sulfur-32에 중성자 조사로 생긴다. 1 gram의 모발을 신체의 다른 부위에서 채취하여 분석할 수 있다. 금속물질, 필름 뱃지 삽입물, 벨트버클, 금속 단추, 구두 못, pocket change, 반지, 안경, 시계 줄, 펜 등을 검사하여 중성자활성을 본다. 전문가가 분석해야 하고, 초기 검사와 처치에서 이러한 물품들을 수집하고, 인지해 두는 것이 중요하다.