

급성 방사선증후군과 국소 손상의 평가 및 치료

한국전력 한일병원 방사선보건연구소

김 종 순

급성 방사선증후군의 평가 및 치료

전신 또는 넓은 신체 부위에 고선량을 받으면 급성방사선증후군과 같이 복합적 임상증상이 나타난다.

급성 방사선증후군은 전신 또는 광범위 신체부위가 단일조사로써 100 rad (1 Gy) 이상의 선량에 노출되었을 때 나타나며 주로 조혈계, 위장관계, 심혈관계, 중추신경계 등 4가지 장기에 손상이 발생한다.

손상정도는 표 1과 같이 선량과 선량률에 따라 다르다. 일반적으로 흡수선량이 500 rad (5 Gy) 미

만일 때는 조혈계 손상에 의한 증상이 발현된다. 선량이 150 rad (1.5 Gy) 미만일 때는 자연회복 될 확률이 높지만, 800 rad (8 Gy)를 초과하면 집중치료를 하더라도 생존율은 현저하게 떨어진다.

급성방사선증후군은 모든 골수세포에 손상을 입히지만 제일 처음 손상이 되는 혈액세포는 순환혈액 중의 림프구이다. 50 rad (0.5 Gy)를 초과하는 급성 전신피폭이 있는 지 24시간 후에 림프구는 감소하므로 그러한 소견은 유용한 생물학적 선량평가치이다(표 2). 림프구수가 큐빅 밀리미터 당 500개 이하일 때는 회복이 거의 불가능하다. 과립구는 피

표 1. 급성전신피폭 후 선량효과 관계(엑스선 혹은 감마선)

전신 선량 rad (Gy)	임상 및 실험실 소견
5-25 (0.05-0.25)	무증상, 통상적 혈액검사는 정상 염색체이상 보임.
50-75 (0.50-0.75)	무증상, 소수에서 백혈구 및 혈소판 약간 감소.
75-125 (0.75-1.25)	10-20%에서 2일 안에 전구증상(식욕부진, 오심, 구토, 피로)을 유발하는 최소 급성피폭선량, 상당수에서 백혈구 및 혈소판 약간 감소.
125-200 (1.25-2.00)	일시적 무력감 증상발현, 대부분에서 조혈계 변화 보임 48시간 안에 림프구 50% 감소.
240-340 (2.4-3.4)	대부분 환자에서 중증 무력증상, 치료하지 않으면 50% 사망률, 48시간 안에 림프구 75%이상 감소.
>500 (>5)	2주안에 위장관계증후군으로 급성방사선증후군 진행 대부분 피폭자에서 출혈, 사망.
>5000 (>50)	심혈관계, 위장관계 및 중추신경계 합병증으로 24-72시간 안에 사망.

표 2. 피폭 48시간 후 림프구 수와 예후평가 관계

절대 림프구수/mm ³	예후 평가
1500-3000	정상
1000-1500	중등도 손상; 예후 좋음
500-1000	중증 손상; 예후 보통
100-500	극히 중증 손상; 예후 나쁨
100 미만	치명적

폭 후 처음엔 증가하지만 과립구와 혈소판수 모두 피폭 후 초기 몇 주 동안 급격히 감소하여 보통 30일 경에 최저치에 이른다. 그러므로 조혈계 사망은 보통 피폭 후 30일경에 출혈 및 감염 등의 원인으로 발생한다. 골수기능이 자연회복 되는 경우는 피폭 후 60일경에 확실해진다.

전신피폭 선량이 500 rad (5 Gy)를 초과하면 위장관계에 손상을 입힌다. 위장관 점막에 손상을 주어 궤양, 장벽의 괴사, 복막염 등이 발생하고, 다양한 병인성 세균이 혈류 내로 유입되며 체액의 손실과 마비성 장폐쇄증이 발생한다. 선량이 1,300 rad (13 Gy)를 초과하면 회복은 극히 불가능하다.

전신 또는 상부 체간 피폭선량이 5,000 rad (50 Gy)를 넘으면 심혈관계와 중추신경계에 변화가 오는데 보통 두 기관을 결부시켜 신경혈관 증후군이

라고 한다. 진정한 중추신경계 증후군의 특징은 즉각적인 중증 신경계 변화가 발생하여, 경련과 함께 수 분 내지 수 시간 안에 사망에 이른다. 단기간에 2,000 rad (20 Gy)를 초과하는 선량에 노출되면 8 시간에서 48시간 사이에 혈관계 이상이 초래되어 저혈압성 쇼크, 무산소성 경련, 혼수 및 사망에 이른다.

급성 방사선증후군의 임상경과는 다음의 4가지 경로, 1) 전구기, 2) 잠복기, 3) 질병 발현기, 4) 회복 또는 사망(표 3) 등을 밟는다. 전구기에는 오심, 구토, 무력감, 식욕부진 및 설사 등이 발생하며 그러한 증상들은 일단 발생하면 한 시간에서 3일 정도 지속될 수 있다. 이러한 증상들의 발현시간이 전신피폭선량을 평가하는 유용한 임상 평가치가 될 수 있고 실제로 체르노빌 사고 때 환자 분류에 이용되었다. 전구증상의 기전은 잘 모르지만 자율신경계의 변화와 일정부분 관련이 있을 것으로 생각된다.

잠복기는 전구기가 지나고 증상발현이 없는 소강 시기이다. 전신 피폭선량이 400 rad (4 Gy) 미만일 때 전구기 증상은 48시간 안에 수그러들고 그 이후에 잠복기가 1주에서 3주정도 이어진다. 선량이 높아 600 rad (6 Gy) 정도 되면 잠복기는 위장관 증상이 발현되기 전에 일주일 내로 짧게 지속된다(표 4).

표 3. 급성방사선증후군의 임상경과

급성방사선증후군	대략의 기간(조혈계증후군)
피폭	수분/수시간
전구기	1-4일
잠복기	2-3주
질병 발현기	2 또는 3주에서 6주까지
회복기	8-15주

표 4. 임상적 방사선손상군(developed by Thoma and Wald)

그룹	임상징후(치료 안 했을 때)	추정선량(rad)	
I	대부분 무증상 가끔 경미한 전구증상 및 검사치 변화	150	
II	경증 급성방사선증후군 일과성 전구증상으로 오심 및 구토 경증의 검사실 및 임상적 조혈계 손상 증거	400	조혈계
III	중증 경과 중증 조혈계 합병증 상위선량 군에서 상당수 위장관계 손상 보임	400-600	조혈계
IV	급성방사선증후군의 가속 형태 임상증상에서 위장관계 합병증이 저명 조혈계 합병증 정도는 피폭 후 생존기간과 관련	600-1,500	위장관계
V	심혈관계 및 중추신경계 손상과 함께 전격성 경과	>5,000	신경혈관계 심혈관계 뇌

첫 24시간에서 48시간에 걸쳐 측정된 림프구수, 피폭과 관련지는 오십, 구도의 정확한 발현시간을 알아내는 것으로 환자의 예후를 추정하게 되며, 환자의 생존은 의학적 치료정도 뿐만 아니라 동반된 손상의 유무에 의존한다. LD50/60은 피폭 후 60일 내에 환자 중 절반이 사망하는 중앙 선량이다. 보통 다음과 같이 3가지 값이 주어지는데, 필수적인 응급치료만 하는 최소한의 치료에 대한 값은 250~350 rad (2.5~3.5 Gy)이고 항생제, 역격리, 수혈 등 보존적 치료 시에는 450 rad (4.5 Gy)로 증가하며 집중치료 및 골수이식 등 가능한 치료 시에는 1,100 rad (11.0 Gy)까지 높아진다.

또 다른 진단적/선량평가 기법은 말초 림프구의 세포유전학적 분석이다. 방사선량과 이상염색체 형성과는, 특히 이중심체형, 선량반응관계가 성립한다. 이 기술은 소량의 혈액 10 ml만으로 분석이 가능하며 림프구를 배양하여, 분열시키고, 세포분열 중기에 고정하여 현미경 관찰을 하는 것이다. 반면에 위와 같이 세포분석은 시간이 소요되는 작업이어서 전 과정이 끝나는 데 일주일이 걸린다. 또 다른 난점은 결과적으로 나타나는 염색체 이상이 방사선의 유형, LET 및 선량률에 영향을 받는다는 것이다. 그러므로 정확한 선량평가를 위해서 중성자, 엑스선, 감마선 등 피폭선원과 급성 또는 만성피폭 여부를 알아야 하지만 그와 같은 제약에도 불구하고 급성 피폭 수주 또는 수개월 후에 신뢰할 만한 선량측정이 가능하다는 장점이 있다. 염색체이상의 분포와 유형은 방사선피폭이 고르게 분포하였는가 또는 부분적이었는가를 말해준다. 염색체이상의 유형으로 방사선피폭이 최근에 또는 여러 해 전에 일어났는가를 알 수 있다. 이중심체형 염색체이상은 히로시마와 나가사키 원폭생존자에서 아직도 발견되고 있다.

전신 방사선피폭에 의한 손상을 치료할 때는 초기에 기도유지, 호흡 및 혈액순환 유지에 초점을 맞추어야 하고 혈압, 혈액 가스, 전해질, 소변 검사는 가능한 한 빨리 시행해야 한다. 백혈구 분획을 포함한 혈구수 측정, 염색체 분석을 위한 혈액채취(헤파린 처리) 및 HLA 적합성 검사를 위한 혈액채취도 가능한 한 속히 수행해야 한다. 오심, 구토와

같은 전구기 초기 증상은 diphenhydramine, nebutal, lorazepam 또는 perphenazine과 같은 약으로 치료할 수 있다. 발열은 acetaminophen으로 다스린다. 통증 또는 복부경련 환자는 morphine sulfate를 투여하고, 위장관 출혈이 있으면 simethicon 또는 sucralfate를 투여한다.

조혈계 증상과 그 합병증은 다음과 같이 치료한다. 말초혈액에서 적혈구 수, 혈소판 수 또는 과립구 수가 심하게 감소된 환자는 성분수혈이 필요하다. 빈혈은 치료를 요하는 중대한 문제가 아니지만 만약 수혈을 하게되면 수혈 전에 적혈구 및 HLA 적합성 검사를 하고 적혈구 성분(packed, 세척, 또는 동결적혈구)을 수혈하도록 한다. 혈소판이 큐빅 밀리미터당 2만개 이하 시는 심한 출혈이 유발되므로 그 이상을 유지하도록 해야하며 혈소판은 HLA 항원을 가지고 있으므로 감작될 수 있다. 과립구 수혈은 큐빅 밀리미터당 500개 이하 시에, 특히 그람 음성 세균에 의한 감염이 확인 될 때까지는 사용하는 것을 자제한다. 수혈전 혈액제제는 림프구 면역성에 의한 부작용을 줄이기 위해 5,000 rad의 방사선을 조사시킨 후 사용한다. 모든 공여혈액은 cytomegalovirus에 대한 항체검사를 실시하는 한편 폐혈증에 대한 예방이 중요하다. 위장관은 항생제(gentamicin, vancomycin, nystatin)를 사용하여 관찰하도록 하고 점막(구강, 여성생식기)은 nystatin suspension이나 betadine washes로 감염을 예방하도록 한다. 기회감염을 예방하기 위해 환자를 역격리 환경에 두고 모든 음식 및 용품 들을 멸균시켜 사용하며 acyclovir나 trimethoprim-sulfamethoxazole 등의 항생제를 사용한다.

급성 방사선증후군 환자들에 대한 골수이식은 많은 관심사였으나 체르노빌 사고 환자들을 치료한 의사들의 의견은 회의적이다. 즉 골수이식을 시행한 환자 중에 두 사람만이 생존하였고 이들 두 사람 모두에서 거부반응이 일어났으나 본인의 골수가 재생된 경우였다. 다시 말해서 골수이식은 극히 어려운 작업이므로 가능한 한 모든 항원들에 대해서 완전히 일치하는 골수를 얻도록 해야하며 환자 자신의 골수를 완전히 제거하는 것이 중요하다. 대부분의 방사선 사고는 불균일하게 피폭이 일어나기

때문에 환자의 전체 골수가 완전히 제거되었는지 알기가 어렵다. 즉 골수천자를 장골극과 흉골에서 하는 경우 세포를 얻지 못할 수 있지만 척추 뼈에서는 세포를 얻을 수도 있다. 이때는 방사성 핵종을 이용한 골수스캔이 도움이 될 수 있다. 자기 골수가 10%만이라도 남아 있으면 골수이식이 아닌 적절한 의학적 치료로써 골수는 재생 가능하다. 한편 골수 자극물질이 치료적 역할을 할 수 있다. recombinant erythropoietin은 피폭 후 적혈구 전구세포 자극에 유용하고 colony stimulation factor는 과립구, 단핵구, 대식세포 등에 대해 역할을 해왔으나 실제 방사선사고 환자에서의 유용성에 대해서는 임상적으로 증명되지 않았고 연구 중이다.

국소 방사선 손상의 평가와 치료

전신피폭과 국소 피폭의 구분은 흡수선량의 gradient에 따라한다. 예를 들어 급성 방사선증후군 같은 전신증상을 일으킬 정도로 고선량 방사선을 체간에 받은 경우는 전신피폭으로 분류하고, 매우 높은 선량을 신체의 아주 적은 부위(또는 사지)에 받았으나 나머지 신체부분은 상대적으로 낮은 흡수선량을 받았을 때는 국소 방사선손상이라 한다. 방사선사고 기록상 과반수는 심한 국소 손상이고 그 중 3분의 2가 iridium-192 또는 cobalt-60과 같은 산업용 밀봉선원에 의한 피폭이다. 피부 또는 손에 고선량 국소 방사선 피폭은 동반된 전신피폭의 이환율과 사망률을 증가시킨다.

표 5는 국소 방사선 손상 평가에 주로 쓰이는 항목들이다.

대부분의 국소 방사선 손상은 손에 발생하고 두 번째로 흔한 곳은 대퇴부와 둔부이다. 거의 모든 산업용 방사선촬영 선원은 접촉시 1,000 rad/min/Ci의 선량률을 낸다. 선량률은 거리를 두면 급격히 떨어지므로 1 cm 떨어진 거리에서 선량은 접촉선량의 1~10%이다.

국소 방사선피폭 사고에서 처음 1~2주 안에 가장 많이 호소하는 증상은 자극감, 압통 또는 소양감이다. 피폭 후 10일에서 30일 사이에는 수포가 형성되고 궤양이 발생한다. 궁극적인 임상경과는 예

너지와 방사선의 투과 및 총 흡수선량에 달려 있다. 종종 베타선에 의한 국소 손상은 이식으로 치료하는데 손상 받은 피부 표면은 감마선과 유사하게 보일지라도 궁극적으로 절단이 필요할 수 있다.

초기 선량 평가는 임상징후로 한다. 홍반의 출현, 또는 피부 발적과 함께 동통 등이 두세 시간 안에 발생하면 흡수선량은 5,000 rad를 넘는다. 다른 방사선 효과와 마찬가지로 1도 화상에 해당하는 홍반의 출현은 선량과 선량률에 의존하고 장기간에 걸쳐 피폭 받는 경우에 피부 영향은 감소한다. 600~800 rad의 X선이나 감마선을 받은 후 1~2일에 피부 발적이 나타나며 홍반은 피폭 후 첫 주에 증가하고 둘째 주에 열어진다. 1,000~1,500 rad의 급성 피폭 시는 전성 탈피가, 1,500~2000 rad의 피폭 시에는 습성 탈피가 발생한다. 탈피는 표피를 투과하는 2도 화상과 같은 손상형태이다. 2,000 rad를 초과하면 궤양이 생겨 서서히 치유되지만 3,000 rad를 초과하면 괴사를 초래하여 괴저에 빠진다. 국소 방사선에 의한 피부손상의 치료는 총 선량과 방사선의 투과량에 달려있다. 경증의 홍반은 거의 치료가 필요 없지만 찰과상을 일으킬 정도의 제염, 자극성 용액, 자외선 노출 같은 자극은 피하는 것이 중요하다. 전성 탈피는 가려워지므로 부드러운 로손을 바르도록 하고 딱 끼는 옷은 피한다. 일반적으로 연고의 사용은 피한다. 중증 국소 방사선 손상은 극심한 동통이 수반되고, 장시간의 회복기를 거치므로 비중독성 진통제를 쓰도록 한다. 베타선에 피폭 받은 경우 피부이식이 필요할 수 있다. 그러나

표 5. 국소 방사선 피폭 평가 항목

병력청취 및 이학적 검사
지속적인 말초 혈액검사
혈액 림프구의 염색체 분석
정자 수 측정(45일 전, 60일 후)
사고의 재연
빈번한 칼라사진 촬영
슬릿 램프 눈검사
골스캔
중성자 피폭 평가를 위한 혈액, 모발, 금속 채취
발광검사 시계

그 기저부의 혈관분포에 따라 모든 중요한 임상적 결정을 내리게 된다.

탈모도 국소 손상을 평가하는 하나의 지표이다. 일시적 탈모는 단일 조사선량 300~500 rad에 피폭 후 2~3주만에 발생하며, 선량이 700 rad를 초과하면 모낭에 손상을 주어 재생이 안된다. 전신 모발은 방사선에 의한 탈모에 있어서 민감도가 다르며 두발 및 수염이 가장 민감하고 흉벽, 액와부, 복부, 눈썹, 속눈썹 및 치골부위 체모는 덜 민감하다.

혈액학적 상태평가는 국소 피폭이 의심되는 경우에도 필요하며 계속적인 혈구수 측정이 무엇보다 중요하다. 즉 전신선량평가지표가 되고 국소 피폭 증강효과와 전신피폭에 관한 임상적 결정을 내리는 지표가 된다. 염색체 이상 측정도 유용한 검사이다. 림프구의 염색체이상 분포를 관찰하여 균질성 및 비균질성 피폭을 구분할 수 있다. 정자수 측정은 특히 방사선원을 주머니 안에 넣어 뒀을 때 국소 방

사선 손상 평가에 중요하다. 고환에 흡수선량이 500~900 rad이면 영구불임이 된다. 정자수 감소는 저선량에서도 볼 수 있으며 30~60 이내에는 나타나지 않는다. 남성에서 일시불임은 150~400 rad의 단일조사로 발생한다.

상부 몸통과 두부에 사고가 발생하면 급성이든 만성이든 눈에 대한 평가가 중요하다.

3,000~7,000 rad의 분할조사로 망막증이 발생하고, 4,000~7,000 rad의 분할조사로 시신경병증이 생긴다. 두 가지 모두 혈관손상에 의해 발생한다. 백내장은 눈에 대한 가장 흔한 지발성 병변이고 수정체의 후극에서 시작된다. 백내장의 발생은 선량, 시간, 나이에 의존한다. 단일조사로 200 rad 또는 분할조사로 400 rad이면 수정체 혼탁이 초래되고 단일조사로 750 rad이면 백내장이 발생한다. 그 잠복기는 6개월에서 35년으로 평균 2~3년이다.