

글루포시네이트 중독 후 심장독성의 다양한 임상경과를 보인 1례

김 선 태

원광대학교병원 응급의학과

A case of various clinical aspects associated with cardiotoxicity after glufosinate poisoning

Seon Tae Kim, M.D.

Department of Emergency Medicine, Wonkwang University School of Medicine, Iksan, Korea

Glufosinate-containing herbicides is a non-selective herbicide commonly used worldwide. As the use of them increased gradually since paraquat was banned in 2012, the number of suicides by their ingestion is also increasing continuously. Complications of glufosinate-containing herbicide poisoning include various central nervous system (CNS) toxicities such as convulsions, loss of consciousness, memory impairment, and respiratory depression, which may be accompanied by hemodynamic changes such as bradycardia and hypotension. However, it is very rare that arrhythmias other than bradycardia occurred and Takotsubo cardiomyopathy was combined due to cardiotoxicity. A 71-year-old female patient was transferred to our hospital after ingesting 500 mL of glufosinate-containing herbicide and receiving 5 L of gastric lavage at a local hospital. A few hours later, she presented stuporous mentality, respiratory depression, and convulsions, and was accompanied by hypotension and bradycardia. On the second day of admission, electrocardiogram (ECG) showed bradycardia and QTc prolongation with hemodynamic instability. Accordingly, we conducted the early treatment with continuous renal replacement therapy (CRRT) and the application of temporary cardiac pacemaker. An echocardiogram demonstrated decreased ejection fraction (EF) and Takotsubo cardiomyopathy on the third day of admission. Then, she was discharged safely with conservative treatment. At the follow-up after 1 year, Takotsubo cardiomyopathy, EF and QTc prolongation were recovered on echocardiogram and ECG. Because cardiac toxicity after glufosinate-containing herbicide poisoning may cause life-threatening consequences, caution is required while treating the patient. Therefore, if electrocardiogram changes are seen in the elderly with a large amount of glufosinate herbicide ingestion, additional cardiac function test through echocardiography should be concerned, and early treatment through CRRT or artificial cardiac pacing should be considered.

Key Words: Glufosinate, Poisoning, Cardiotoxicity, QTc prolongation, Takotsubo cardiomyopathy

서 론

글루포시네이트 제초제는 전세계적으로 흔히 쓰이는 비선택성 제초제로 특히 한국, 일본, 대만등의 아시아 지역에서 그 사용량이 증가하면서 중독 환자 또한 증가하고 있다¹⁾. 제초제 음독은 전세계적으로 가장 흔한 자살 시도 방법 중 하나로 국내의 경우 제초제를 통한 전체 자살 발생 건수는 2012년 파라쿼트(paraquat)의 판매가 금지된 후 점차 감소하였다²⁾. 그러나 파라쿼트의 대안으로 농가에서 글라이포세이트나 글루포시네이트의 사용이 증가하여 자살 목적으로 사용되는 제초제 중 글루포시네이트가 차지하는 비중은 점차 증가하고 있으며 사망환자 수 또한 증가하는 추세이다³⁾.

중독 증상은 초기에 오심, 구토 등의 일반적인 위장관 자극증상이 나타나고 지연성으로 경련, 의식저하, 기억력 장애, 호흡억제와 같은 중추신경계 증상이 특징적으로 발생하며 대량으로 음독한 경우 서맥, 저혈압을 동반한 순환부전이 발생하여 사망에 이를 수 있다⁴⁾. 기존의 임상 양상에 관한 연구에서는 신경학적 증상에 대한 보고가 주를 이루었으며 저혈압, 쇼크, 심정지와 같은 혈액학적 변화가 동반된 사례들이 보고된 바 있으나 직접적인 심장독성으로

책임저자: 김 선 태
전라북도 익산시 무왕로 895
원광대학교병원 응급의학과
Tel: +82-63-859-1072
Fax: +82-63-859-2129
E-mail: kst5478@naver.com

투고일: 2021년 11월 2일
1차 심사일: 2021년 11월 4일
게재 승인일: 2021년 11월 5일

부정맥, 심근병증을 동반한 임상 경과를 보인 사례는 보고된 바가 드물다⁵⁾. 이에 저자는 서맥과 저혈압이 동반된 다량의 글루코시네이트 제조제 음독 환자에서 교정 QT (QTc) 간격 연장과 Takotsubo 심근병증이 발생한 환자의 치료를 경험하여 문헌 고찰과 함께 보고하고자 한다.

증 례

우울증 외에 특이병력이 없는 71세 여자환자가 1시간 전 글루코시네이트 제조제(타랑®, 유피엘리미티드코리아, 한국) 500 cc를 음독한 후 쓰러진 상태로 귀가한 남편에 의해 발견되어 119를 통해 지역병원 응급실로 이송되었으며 5 L의 위세척을 시행하고 본원 응급실로 전원되었다. 본원 내원 당시 활력 징후는 혈압 140/90 mmHg, 맥박 69회/분, 호흡 20회/분, 체온 38°C, 산소포화도 91%이었고 의식은 기면 상태였다. 이학적 검사 및 신경학적 검사에서 특이소견은 관찰되지 않았다. 응급실에서 시행한 전혈구 검사 및 일반화학검사서 백혈구 12,470/ μ L, 중성구 11,170/ μ L로 소폭 증가되었으며, BUN/Cr 19.0/0.91 mg/dl, 혈청 삼투압농도 320 mOsm/kg, C-반응단백질 20 mg/L(참고치 0-5) 외에 특이소견은 관찰되지 않았다. 또한 CK, CK-MB, Troponin T와 같은 심장 효소검사는 정상 이었고, 심전도는 심박수 67회의 정상동성리듬으로 확인되었으며, 단순 흉부 방사선 촬영에서도 특이 소견은 관찰되지 않았다. 동맥혈검사에서는 pH 7.27, pCO₂ 35.0 mmHg, pO₂ 74 mmHg, HCO₃⁻ 16.1 mmol/L으로 경미한 저산소증과 대사성 산증이 관찰되었다.

보존적 치료 계획하에 초기 처치로 비강 캐놀라를 통해 분당 5 L의 산소를 공급하였고 생리식염수 수액 및 예방적 항생제로 목시플록사신(moxifloxacin) 400 mg과 파모티딘(famotidine)

20 mg, 프로파세타몰(propacetamol) 1 g을 정맥 투여하였다. 내원 6시간 후 의식이 혼미한 상태로 악화되고 자발호흡이 감소하였으며 동맥혈검사 상 pH 7.15, pCO₂ 58 mmHg, pO₂ 89 mmHg, HCO₃⁻ 20.2 mmol/L로 고탄산혈증 및 호흡성 산증이 관찰되어 기관 삽관 및 기계 환기를 시행하였고 중환자실에 입원하였다. 내원 7시간 후 전신강직간대경련(generalized tonic-clonic seizure)이 발생하여 로라제팜(lorazepam) 4 mg을 정맥 주사 후 경련은 중단되었으나 이후에도 의식의 회복없이 두 차례 반복되어 간질중첩증(status epilepticus)에 준하여 페니토인(phenytoin)을 20 mg/kg의 용량으로 1시간 동안 서서히 정주하였다. 그러나 이후에도 경련이 재발하여 미다졸람(midazolam)을 시간 당 0.1 mg/kg의 용량으로 지속 정주하였으며 이후 경련은 재발하지 않았다.

내원 8시간 후 혈압 78/51 mmHg, 심박수 51회/분 으로 감소하여 생리식염수 500 mL를 급속 정주하였으나 저혈압 및 동성 서맥(4-50회/분)이 지속되어 노르에피네프린(norepinephrine) 투여를 시작하였다. 내원 2일째 심전도(Fig. 1)에서 47회/분의 동성서맥과 QTc 간격 연장(492 ms)이 관찰되었다. 반복되는 발작과 혈액학적 불안정성을 보여 지속적 신대체요법(Continuous Renal Replacement Therapy, CRRT)을 시작하였다. CRRT 시행 중에 심박수가 31회/분까지 감소하여 마그네슘 지속 정주 및 아트로핀 0.5 mg을 투여하였으나 반응을 보이지 않았다. 경피적 체외 심박조율을 시도하였으나 서맥이 회복되지 않아 동기능 부전중후군에 준하여 임시박동조율기를 삽입하였다. 심박동조율 시행 후에도 동성 서맥(45-50회/분)은 지속되었으나 내원 3일째 노르에피네프린 투여를 중지하고 혈압 110/80 mmHg를 유지하여 24시간 만에 지속적 신대체요법을 중단하였다. 당일 시행한 심초음파(Fig. 2A, B)에서 47%의 심박축률을 보이며 Takotsubo 심근병증이 확인되었다.

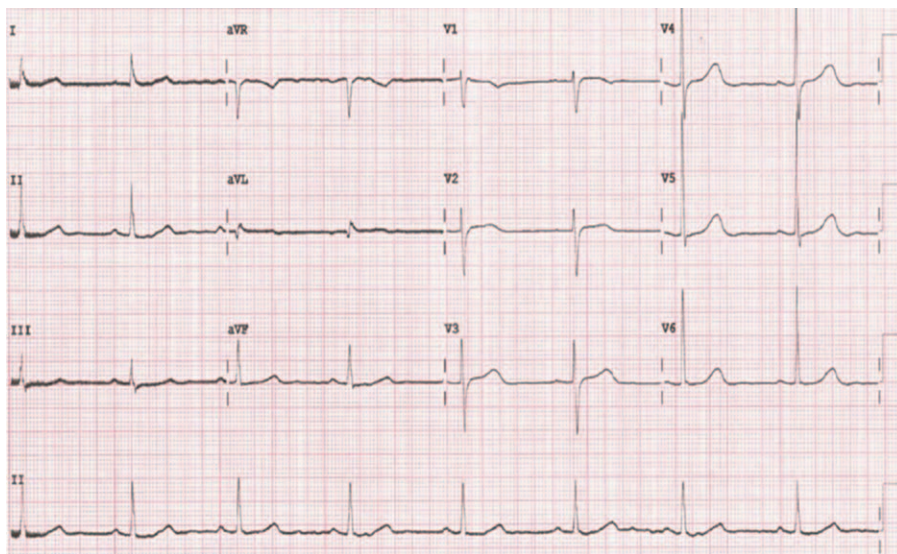


Fig. 1. The ECG shows sinus bradycardia (HR 47/min) and QTc prolongation (492 ms) with normal ST segment after 2 days of admission. ECG: electrocardiogram, HR: heart rate, min: minute, QTc: corrected QT, ms: milliseconds

내원 4일째 심전도(Fig. 3)에서 동성 서맥(4-50회/분)과 T파 역위, QTc 간격 연장(517 ms)이 관찰되었으나 혈압이 안정적으로 유지되어 심박동조율을 중지한 후 보존적 치료를 지속하였다. 내원 6일째 의식이 기면 상태로 호전되고 자가호흡 및 활력 징후가 안정적으로 유지되어 기계 환기를 해제하였으며, 내원 7일째 심박수를 포함한 활력징후가 안정되어 기관 삽관, 투

석도관 및 임시박동조율기를 제거하였다. 섬망 증세가 나타나 5일간 지속되었으며 관찰된 T파 역위는 퇴원시까지 지속되었다. 내원 16일째 음독 당시 전후의 기억력 소실을 제외하고 다른 신경학적 증후는 없었으며 활력 징후가 안정적으로 회복되어 보호자의 요청에 의해 요양병원으로 전원하였다.

1년 후 추적 관찰에서 환자는 음독 당시 상황에 대한 기억력

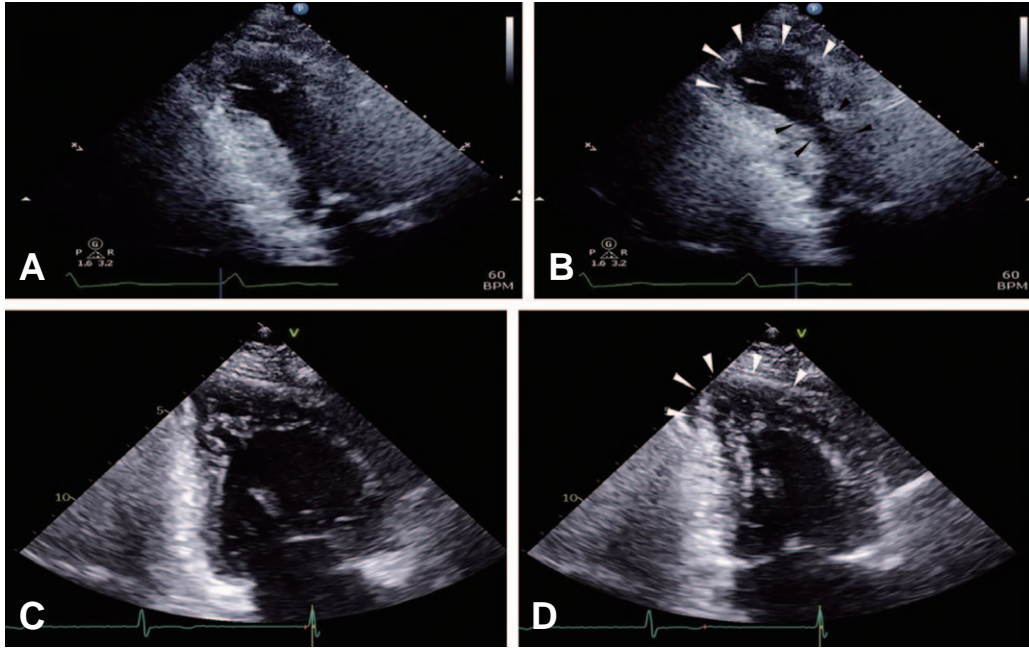


Fig. 2. TTE after 3 days of admission (A: diastole, B: systole) and 1 year follow-up (C: diastole, D: systole), Apical 2 chamber view. (A, B) TTE after 3 days of admission demonstrated LV apical akinesia (white arrowheads) with basal hyperkinesia (black arrowheads) so called “apical ballooning” and mildly reduced LV systolic function (EF=47.2% by Simpson’s method) (C, D) Follow-up TTE demonstrated completely improved apical ballooning (white arrowheads) and normalized LV systolic function (EF=58%, by Simpson’s method)
TTE: transthoracic echocardiography, LV: left ventricle, EF: ejection fraction

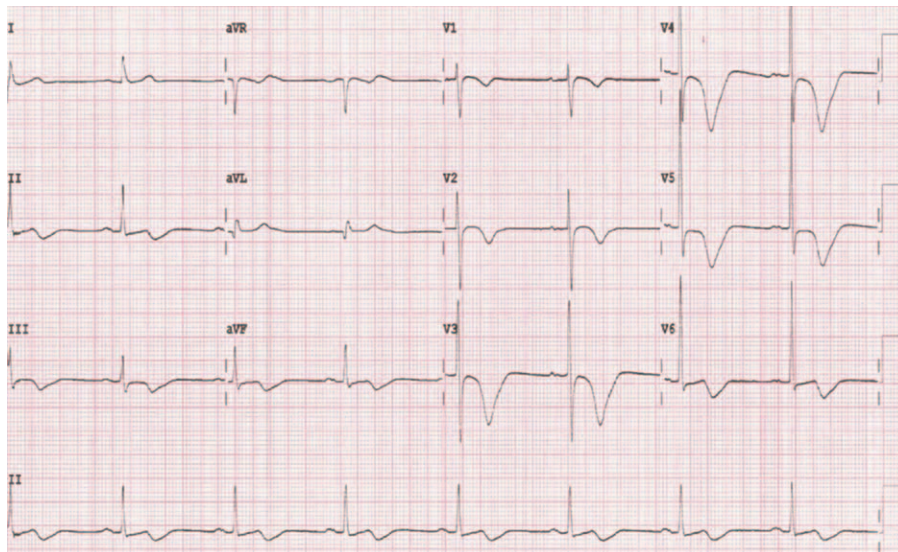


Fig. 3. The ECG shows sinus bradycardia (HR 47/min) and QTc prolongation (517 ms) with T wave inversion after 4 days of admission. ECG: electrocardiogram, HR: heart rate, min: minute, QTc: corrected QT, ms: milliseconds

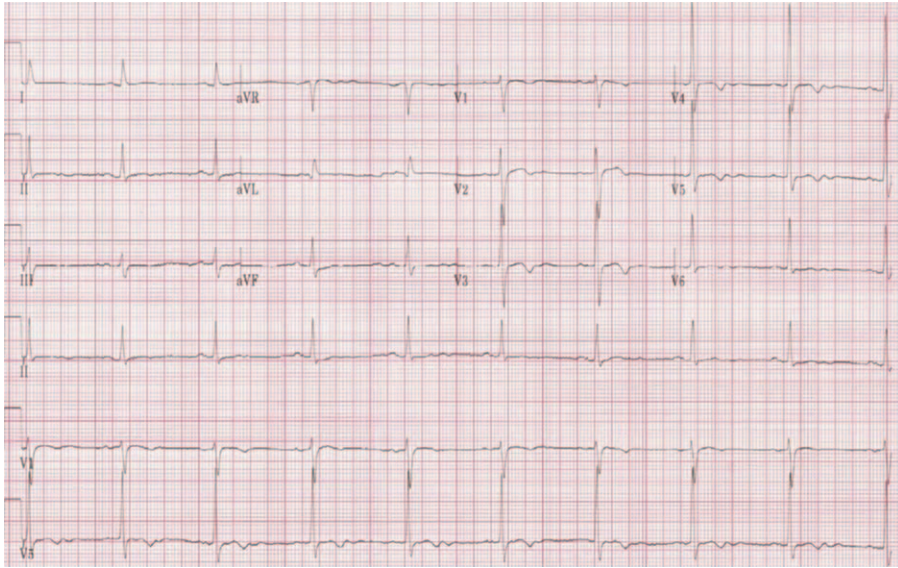


Fig. 4. On 1 year follow-up, the ECG shows sinus bradycardia (HR 55) and normalization of previous QTc prolongation (417 ms).
ECG: electrocardiogram, HR: heart rate, QTc: corrected QT, ms: milliseconds

장애는 남아있었으나 다른 신경학적 증상은 호소하지 않았고 이학적 검사에서 특이소견이 없었다. 환자의 심전도(Fig. 4)는 동성서맥(55회/분)과 T파 역위를 보였으나 QTc 간격 연장은 정상화되었고 심초음파(Fig. 2C, D)에서 Takotsubo 심근병증은 소실되고 심박출률은 58%로 회복되었다.

고 찰

글루포시네이트를 함유한 제조제는 국내에서 다양한 상품명으로 판매되고 있으나 1984년 일본에서 개발된 BASTA® (Bayer, Germany)가 전세계적으로 가장 잘 알려져 있으며 일반적으로 18%의 글루포시네이트 암모늄과 30%의 sodium polyoxyethylene alkyl ether sulfate (AES)와 같은 음이온 계면활성제, 증량제, 소포제, 착색제, 용제 등으로 구성되어 있다⁶⁾.

중독 증상은 크게 본제인 글루포시네이트에 의한 중추신경계 독성과 계면활성제인 AES에 의한 심혈관계 독성으로 발생한다. 글루포시네이트는 중추신경계에서 흥분성 신호 전달에 관여하는 글루탐산의 유사체로 정확한 작용 기전은 아직 밝혀지지 않았으나 글루타민 합성효소(glutamine synthetase)와 글루타민 탈탄산효소(glutamine decarboxylase)를 억제하여 글루탐산의 합성을 감소시킴으로써 경련, 의식저하, 기억력 장애, 호흡억제, 섬망, 발열과 같은 중추신경계 증상을 유발하는 것으로 알려져 있다⁷⁾. 혈액학적 변화의 주된 원인인 AES는 혈관을 확장시키고 말초 혈관의 저항성을 감소시켜 순환 혈류가 감소함으로써 혈압저하, 쇼크를 유발하고, 또한 직접적인 심장 독성작용으로 저용량에서는 심장 자극효과를 나타내며 고용량에서는 심장 억제작용을 통해 심장 수축력 및 심박출량이 감소하여 서맥 및 저혈압이 유발된다⁸⁾.

본 환자에서는 초기 발열, 의식저하와 함께 호흡억제가 나타

났으며 이후 경련, 간질 증첩증이 발생하였고 회복 후에는 기억력 장애, 섬망의 증상이 나타나 기존에 알려진 글루포시네이트에 의한 특징적인 중추신경계 독성 증상이 대부분 발생하였다. 또한 혈압 저하와 함께 QTc 간격 연장을 동반한 중증 서맥이 나타났으며 합병증으로 Takotsubo 심근병증이 발생하였다. 여러 선행연구에서 중추신경계 독성 증상과 동반하여 저혈압, 심정지와 같은 혈액학적 변화를 보인 사례는 다수 보고된 바 있으나 직접적인 심장 독성으로 서맥, QTc 간격 연장이 선행하고 Takotsubo 심근병증이 합병된 사례는 매우 드물다^{4,5,9)}. 특히 단일 환자에서 특징적인 중추신경계 증상의 대부분과 심혈관계 독성 증상이 동시다발적으로 나타나 다양한 임상 경과를 보이고 심장 합병증으로 Takotsubo 심근병증이 병발한 국내 사례는 보고된 바 없다. Lluís 등⁷⁾은 비교적 적은 용량(30-50 mL)의 글루포시네이트 제조제를 음독한 환자에서 동성 서맥이 8일간 지속되고 심실 빈맥이 발생한 사례를 보고한 바 있으며, Tominaga 등¹⁰⁾은 혈액학적 변화없이 지연성 심장 합병증으로 발생한 Takotsubo 심근병증의 사례를 보고하였다.

글루포시네이트 제조제 중독 후 심각한 독성작용을 유발하는 유의미한 예측인자는 다량 음독(18% 글루포시네이트 약 100 mL 이상)과 고령의 나이(60세 이상)로 알려져 있으며^{4,5)}, 사망률은 13.4-24.6%로 보고된 바 있다^{11,12)}. 본 환자의 경우 특이 기저질환은 없으나 71세로 나이가 많고 다량(500 mL)을 음독하여 이전 보고에서 나타난 바와 같이 심각한 임상 경과를 초래한 것으로 사료된다. 본 환자의 경우 기존 제품보다 많은 24.5%의 글루포시네이트가 함유된 제조제를 음독하였으며 구성상의 차이로 인해 독성 증상의 발생 양상과 중증도에 미치는 영향은 아직까지 확인된 바 없으나 일부 영향이 있었을 것으로 추정된다. 따라서 제조제 구성의 변화에 따른 중독 양상이나 중증도의 변화는 향후 추가적인 연구가 필요할 것으로 사료된다.

본 환자에서는 음독 후 수시간 후부터 혈압 저하를 동반한 동성 서맥이 지속되었으며 투석 전 심전도 상에서 QTc 간격이 492 ms로 연장되었고 입원 4일째와 5일째에는 각각 517 ms, 566 ms로 관찰되었다. 실험연구를 통해 고농도의 AES로 인한 직접적인 심장 독성 작용이 서맥을 유발하는 것으로 알려져 있으며 일부 환자에서 보고된 바 있으나 QTc 간격 연장을 보인 사례는 아직까지 보고된 바 없다⁸⁾. QTc 간격 연장은 Torsades de pointes (TdP)와 같은 치명적인 심실 부정맥의 가장 중요한 위험요인이며 표지자로 글루포시네이트와 함께 계면활성제의 비율이 높고 전세계적으로 널리 사용되는 글라이포세이트 중독 환자에서 심장 독성으로 가장 흔히 발생하는 심전도 변화이며 사망률의 강력한 예측인자이기도 하다¹³⁾. QTc 간격 연장이 발생하는 기전은 명확하지 않으나 심근의 구조적 손상과 교감 신경의 불균등한 자극에 의한 것으로 여겨진다¹⁴⁾. 임상적으로 TdP의 발생을 예측하고 중재적 시술을 계획하는 QTc 간격에 대한 명확한 기준은 없으나 QTc 간격이 남성은 450 ms 이상, 여성은 470 ms 이상이면 돌연심장사의 위험성이 있고, 500 ms 이상이면 TdP 발생 위험성이 높다고 알려져 있다^{15,16)}. 본 증례의 경우 초기 관찰된 QTc 간격 연장이 비록 500 ms 이상은 아니었으나 혈압저하를 동반한 중증 서맥이 관찰되고 경피적 심박동조율에도 반응하지 않는 등 혈액학적 불안정성을 보여 서맥((50회/분)에서 QTc 간격 연장이 과소 보정되는 경향을 고려할 때 조기의 중재적 시술이 필요하다고 판단하였다¹⁷⁾. 따라서 글루포시네이트, 계면활성제와 같은 독성 물질의 조속한 제거를 위해 지속적 신대체요법을 시행하였고 동기능부전증후군에 준하여 임시박동조율기를 삽입하였다. 결과적으로 환자는 혈액학적 징후가 안정되었으며 이는 조기에 시행한 투석, 인공 심박동조율과 같은 중재적 시술이 적절하였으며 예후 개선에 도움이 되었음을 시사한다.

본 환자는 QTc 간격 연장과 T파 역위와 같은 심전도 변화가 나타났을 때 즉시 심초음파 검사를 시행하였으며 심박출률 감소(47.2%)와 Takotsubo 심근병증을 확인하였다. Takotsubo 심근병증은 좌심실의 첨부가 풍선처럼 부푸는 현상으로 심장의 효율적인 수축과 이완이 이뤄지지 못해 폐부종, 심인성 쇼크 등의 심각한 합병증이 발생할 수 있다. 발병기전은 명확하지 않으나 신체적 혹은 정신적 스트레스가 유발 원인으로 알려져 있어 스트레스 유발 심근병증이라고도 한다. 본 환자는 고혈압 외에 진단받은 심장 질환이 없었던 점을 고려할 때 글루포시네이트 음독 후 발생한 경련, 쇼크로 인한 신체적 스트레스와 자살을 시도한 정신적 스트레스가 원인이 될 수 있을 것으로 생각되며 다량의 음독으로 인한 직접적인 심장 독성이 관여했을 것으로 추정된다.

Jeon 등¹⁸⁾은 심초음파를 시행했던 농약 중독환자 중 Takotsubo 심근병증을 보인 경우가 7.5%였으며, 이중 글루포시네이트 중독환자는 2.7%였음을 보고하였다. 그러나 농약 중독 시 혈액학적 변화는 비교적 흔하게 관찰되어 원인 감별의 목적으로 초기에 심초음파를 통한 적극적인 심장 기능 평가는 이뤄지지 않는

실정으로 전체 글루포시네이트 중독 환자에서 Takotsubo 심근병증의 확인된 발생률은 훨씬 적을 것으로 추정된다. 해당 연구에서 심전도 상 ST 분절 변화와 T파 역위가 관찰되었으나 음독 용량, 심초음파 검사 시기, 혈액학적 변화, 동반 증상 등과 같은 임상 경과를 통한 중증도는 확인할 수 없었다. 한편 Kim 등⁵⁾은 글루포시네이트 중독 후 발생한 합병증에 관한 연구에서 Takotsubo 심근병증을 보인 1례를 보고한 바 있다. 이처럼 글루포시네이트 중독에 의한 Takotsubo 심근병증의 사례는 매우 드물게 보고된 바 있으며 저혈압, 서맥, QTc 간격 연장과 같은 심장독성의 다양한 임상경과를 보인 사례는 아직까지 보고된 바 없다.

본 증례에서 환자의 심혈관계 독성 증상으로 저혈압이 처음으로 발생하였으며 이후 심전도에서 서맥이 나타났고 QTc 간격 연장과 T파 역위가 발생하였으며 심초음파에서 Takotsubo 심근병증을 확인하였다. Templin 등¹⁹⁾의 연구에 따르면 Takotsubo 심근병증에서 심전도 변화는 대부분 동성 리듬(92%)을 나타냈으며 ST 분절 상승은 43%, T파 역위는 41%, QT 간격 연장은 47%로 나타났다. 따라서 본 환자에서 Takotsubo 심근병증은 심초음파를 통해 확인하기 전부터 조기에 발생했을 가능성을 배제할 수 없으며 심장 합병증의 초기 변화로 QTc 간격 연장이 발생했을 것으로 추정된다.

심전도는 중환자실에서 집중치료 중인 경우에도 환자의 불필요한 이동없이 간편하고 안전하게 시행할 수 있는 검사로 글루포시네이트 중독 환자에서 동성 서맥 외에 초기에 없던 심전도 변화를 보인다면 심근경색, 심부전, Takotsubo 심근병증과 같은 심장 독성의 합병증 발생 가능성을 염두에 두고 심초음파와 같은 적극적인 심장평가와 심박동조율기와 같은 적극적 처치를 고려하는 것이 예후 개선에 도움이 될 것으로 사료된다. 또한 글루포시네이트 제초제 중독은 해독제가 따로 없어 대부분 위장관세척, 활성탄, 수액치료, 승압제, 기계환기, 항경련제 등의 보존적 치료를 주로 시행하며 아직까지 투석의 효용성은 명확하지 않으나, 고령의 환자가 100 mL 이상의 다량 음독으로 내원하였다면 투석 치료를 반드시 고려해야 할 것으로 사료된다.

결론

글루포시네이트 제초제 중독은 다른 농약과 마찬가지로 복용량, 나이, 기저질환에 따라 가벼운 위장관 증상부터 사망에 이르기까지 다양한 임상경과를 나타낸다. 본 증례처럼 중증 중독환자에서 동시다발적으로 증상이 발생할 수 있고 심장 독성에 따른 합병증이 발생할 수도 있다. 또한 각 증상에 맞는 보존적 처치를 시행하고 적극적인 평가와 함께 지속적 신대체요법, 인공 심박동조율과 같은 초기 중재술을 통해 완전한 회복을 보였다. 따라서 혈액학적 변화가 동반된 대량 음독환자에서 심장 독성의 조기 예측을 위해 간편하고 안전한 심전도 검사를 반복적으로 시행해 볼 것을 제안하며 심전도 변화에 대한 주의 깊

은 관심을 통해 심초음파와 같은 적극적인 심장 기능 평가를 계획하고 필요 시 조기에 중재적 시술을 고려해야 할 것이다.

ORCID

Seon Tae Kim (<https://orcid.org/0000-0003-3247-5548>)

REFERENCES

- Lee JH, Kim YW. Prognostic factor determination mortality of acute glufosinate-poisoned patients. *Hum Exp Toxicol*. 2019; 38(1):129-35.
- Kim H, Kwon SW, Ahn YM, et al. Implementation and outcomes of suicide-prevention strategies by restricting access to lethal suicide methods in Korea. *J Public Health Policy*. 2019; 40(1):91-102.
- Lee JW, Hwang IW, Kim JW, et al. Common Pesticides Used in Suicide Attempts Following the 2012 Paraquat Ban in Korea. *J Korean Med Sci*. 2015;30(10):1517-21.
- Mao YC, Hung DZ, Wu ML, et al. Acute human glufosinate-containing herbicide poisoning. *Clin Toxicol (Phila)*. 2012;50(5):396-402.
- Kim YK, Kim KH, Moon HJ, et al. Predicting Acute Intoxication of Glufosinate-containing Herbicides: A Comparative Study of a Group with Complication Versus the Others without Complication in Single Institution. *J Korean Soc Emerg Med*. 2016;27(1): 52-60.
- Ebert E, Leist KH, Mayer D. Summary of safety evaluation toxicity studies of glufosinate ammonium. *Food Chem Toxicol*. 1990;28(5):339-49.
- Lluís M, Nogué S, Miró O. Severe acute poisoning due to a glufosinate containing preparation without mitochondrial involvement. *Hum Exp Toxicol*. 2008;27(6):519-24.
- Koyama K, Koyama K, Goto K. Cardiovascular effects of a herbicide containing glufosinate and a surfactant: in vitro and in vivo analyses in rats. *Toxicol Appl Pharmacol*. 1997;145(2):409-14.
- Hwang IW, Jeong TO, Jin YH, et al. Clinical Aspects and Management of a Herbicide Containing Glufosinate Ammonium and Surfactant. *J Korean Soc Emerg Med*. 2004;15(2):75-9.
- Tominaga K, Izumi M, Suzukawa M, et al. Takotsubo cardiomyopathy as a delayed complication with a herbicide containing glufosinate ammonium in a suicide attempt: a case report. *Case Rep Med*. 2012. DOI: 10.1155/2012/630468.
- Koyama K, Andou Y, Saruki K, et al. Delayed and severe toxicities of a herbicide containing glufosinate and a surfactant. *Vet Hum Toxicol*. 1994;36(1):17-8.
- Hsiao JT, Pan HY, Kung CT, et al. Assessment of glufosinate-containing herbicide exposure: A multi-center retrospective study. *Am J Emerg Med*. 2021;50:232-236.
- Kim YH, Lee JH, Hong CK, et al. Heart rate-corrected QT interval predicts mortality in glyphosate-surfactant herbicide-poisoned patients. *Am J Emerg Med*. 2014;32(3):203-7.
- Piccirillo G, Magri D, Ogawa M, et al. Autonomic nervous system activity measured directly and QT interval variability in normal and pacing-induced tachycardia heart failure dogs. *J Am Coll Cardiol* 2009;54:840-50.
- Straus SM, Kors JA, De Bruin ML, et al. Prolonged QTc interval and risk of sudden cardiac death in a population of older adults. *J Am Coll Cardiol* 2006; 47: 362-7.
- Isbister GK, Page CB. Drug induced QT prolongation: the measurement and assessment of the QT interval in clinical practice. *Br J Clin Pharmacol*. 2013 Jul;76(1):48-57.
- Chan A, Isbister GK, Kirkpatrick CM, et al. Drug-induced QT prolongation and torsades de pointes: evaluation of a QT nomogram. *QJM*. 2007;100(10):609-15. DOI: 10.1093
- Jeon U, Park S, Park SH, et al. Clinical characteristics of stress cardiomyopathy in patients with acute poisoning. *Sci Rep*. 2018; 8(1):223.
- Templin C, Ghadri JR, Diekmann J, et al. Clinical Features and Outcomes of Takotsubo (Stress) Cardiomyopathy. *N Engl J Med*. 2015;373(10):929.