

전이성 척추종양에 대한 고주파 열 용해술 후 척추 성형술 혹은 풍선 성형술의 병용 치료법

고신대학교 의과대학 복음병원 정형외과학교실

장재호 · 김재도

서 론

전이성 척추종양에 대한 고주파 열 용해술(RFA, Radiofrequency Thermal Ablation) 후 척추 성형술(PV, Percutaneous Vertebroplasty)의 병용 치료법은 추체의 병변 부위에 경피적으로 고주파 열 에너지(High Frequency Thermal Energy)를 가하여 종양세포를 파괴 한 후, 골 시멘트(Polymethylmethacrylate)를 삽입하여 통증을 감소시키고 척추체의 안정을 얻기 위한 방법이다. 전이성 척추종양에 대한 고주파 열 용해술과 척추 성형술은 2000년 Dupuy DE 등¹⁾과 1989년 프랑스의 Kaemmerlen P 등⁹⁾에 의해 각각 시작되었으며 2002년 Grönemeyer DH 등⁵⁾이 이 두 방법을 병용하여 사용하기 시작 하였다.

전이성 척추종양은 주로 척추체에 전이 되며, 단독 혹은 인접한 두 개의 추체 전이의 경우에 최근 후방 도달법을 이용한 전 척추 절제술 후 다 분절 고정술 등의 수술 기법의 발달로 인해 척추종양에 의한 통증은 감소 시키고, 추가적인 추체 붕괴 및 신경손상을 방지 하며 생존율의 증가의 결과를 얻을 수 있었다. 그러나 이러한 수술적 방법은 대상이 고령이거나, 동반된 합병증 등으로 인하여 수술에 견딜수 없거나, 다분절 침범의 경우에는 적응증이 되지 않

으며, 풍부한 경험을 가진 시술자가 아니면 시행할 수 없어 주로 방사선 치료에 의존하였다. 그러나 방사선 단독 치료는 통증의 감소 효과가 낮고, 추가적인 추체의 붕괴를 방지 할수 없는 단점이 있다. 이에 합목적인 고주파 열 용해술과 척추 성형술의 병용 요법은 종양 괴사율을 증가 시키는 상승효과, 용해술 후 골 시멘트의 주입의 용이함, 유출 부작용의 감소 및 추가적인 척추 안정성을 도모 할 수 있다는 이점이 있어 제한 적으로 증가 하고 있는 고식적인 치료법이다.

이에 이 병용 요법의 적용 가능성, 시술방법, 안정성 및 합병증을 줄이기 위한 온도 조절 및 온도 감시 방법에 대하여 저자의 경험과 문헌 고찰을 통해 검토하여 보았다.

적응증 및 금기증

일차적인 적응증으로는 고령, 병발된 합병증 및 인접하지 않은 2분절 혹은 3분절 이상의 다발성 병변 이거나, 1년 이하의 여명이 예상되고, 종양의 크기가 5~6 cm 이하이나 수술적 절제가 불가능한 척추 전이암이 대상이며, 2주 이상의 방사선 치료나 약물 치료법으로 통증이 조절 되지 않거나, 방사선 치료에 저항성이 있는 흑색종, 육종, 신장암으로부

※통신저자: 장 재 호
부산광역시 서구 압남동 34
고신대학교 복음병원 정형외과학교실
Tel: 051) 990-6467, Fax: 051) 243-0181, E-mail: drjang@hanafos.com

터의 전이성 척추종양이 있을때, 그리고 이차적인 척추 불안정성이 예상될때 적용 할 수 있다. 반면에 신경근 증상이 있거나, 척수 신경 손상, 신경관에 1 cm 이내로 근접하여 있는 종양, 전립선암 유방암으로부터 전이된 골형성성 전이암 및 병변부위에 동반된 감염, 혈액 응고장애 등의 내과적 질환이 병발하여 있는 경우 제외된다.

수술전 준비

단순 방사선 검사상 척추 전이암이 의심되는 환자에서 동위원소 검사, CT 및 MRI검사를 통하여 병변 부위를 결정하고 침생검으로 확인한다. 고주파 발생기(Radionics®, Burlington, MA), 식염수 관류장치 및 온도센서 표시기를 준비하고(Fig. 1), 병변의 크기와 맞으며 식염수 관류가 가능한 전극(Pick Tip Electrode, 16G)을 준비한다(Fig. 2).

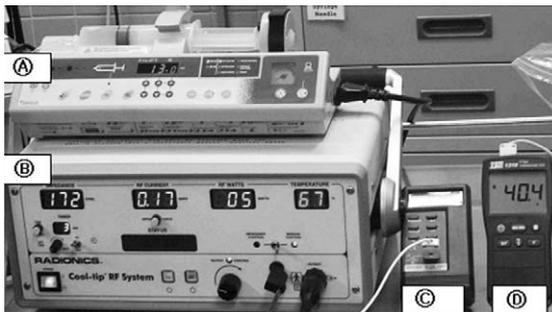


Fig. 1. Radiofrequency Generator (Radionics®, Burlington, MA) and Temperature Displayer. (A) NaCl perfusion pump. (B) Radiofrequency generators and internal temperature displayer. (C) 1st remote temperature displayer. (D) 2nd remote temperature displayer.



Fig. 2. Pick Tip Electrode (Perfusion Tip)

온도센서는 전극의 끝으로 부터 1 cm 근처 추체내, 추체의 후방부, 추경부, 신경공내 및 전 경막강내에 삽입 할 수 있으며 종양의 위치에 따라 2~4개를 준비한다. 식염수 관류는 10~20%의 NaCl을 사용하며 시술부위의 최대 온도는 식염수의 농도와 양에 의해 결정되고 주로 식염수의 농도와 비례하여 상승한다. 10% NaCl의 경우 91.4°C, 15% NaCl 은 93.8°C, 38.5%의 NaCl은 최대 102.9°C의 온도를 얻을 수 있고¹⁰⁾, 저자는 예상 최대온도 92°C 까지 얻을수 있는 11%의 NaCl을 사용하였다. 풍선 성형술 및 척추 성형술을 위하여 골 시멘트(Zimmer®, Osteobond)와, 풍선 카테터(IBTs : Inflatable Balloon Tamps), 압력계 및 시술 추체당 2개의 11 Gauge 척추 성형술 바늘(VPN, Vertebroplasty Needle, Trocar and Sheath)을 준비 하였다.

수술 방법

환자를 복외위로 눕히고 시술 부위는 국소마취 혹은 경막외 마취를 하며 영상 증폭장치를 이용하여 치료할 병변추체를 결정한다. 양측 척추경 도달법으로 첫 번째 척추 성형술 바늘을 병변 부위에 삽입한 후 trocar를 제거한다. 병변의 크기와 맞게 노출된 전극을 sheath를 통하여 병변에 삽입하고 sheath를 후퇴하여 노출 전극과 전극 후방 1 cm 지점에 부착된 첫 번째 온도 센서가 병변과 추체내에 위치하게 한다. 두 번째 바늘을 통하여 두 번째 온도 센서를 추체의 후방 피질골 전면이나 추경부에 위치하고, 20 cm 이상 긴 천자 바늘을 통한 후외방 도달법으로 병변에 인접한 추간공에 세 번째 센서를 위치한다(Fig. 3). 병변이 추체 중앙부 후면에 위치한 경우 측방 도달법으로 추간공을 통하여 네 번째 온도 센서를 전 경막강에 위치한다. 고주파 발생기의 저항과 온도, 식염수 관류기를 통한 식염수 주입량을 조절하면서 평균온도 65°C 이상 평균 시술시간 15분 이상 가열한다. 저자의 경우 추체당 시술시간은 10~30분(평균 15±4.3분), 온도는 55~92°C(평균 72±9°C), 골 시멘트 주입량은 3~10 ml(평균 4.1±2.9 ml)였다. 병변의 부위가 3 cm 이상인 경우 3~5회 정도 부위를 달리 하여 시술하고, 전극을 제거한 후 sheath를 통하여 병변의 크기보다 1~2 ml 많은 골 시멘트를 주입 하였으며 척추체 높이 소

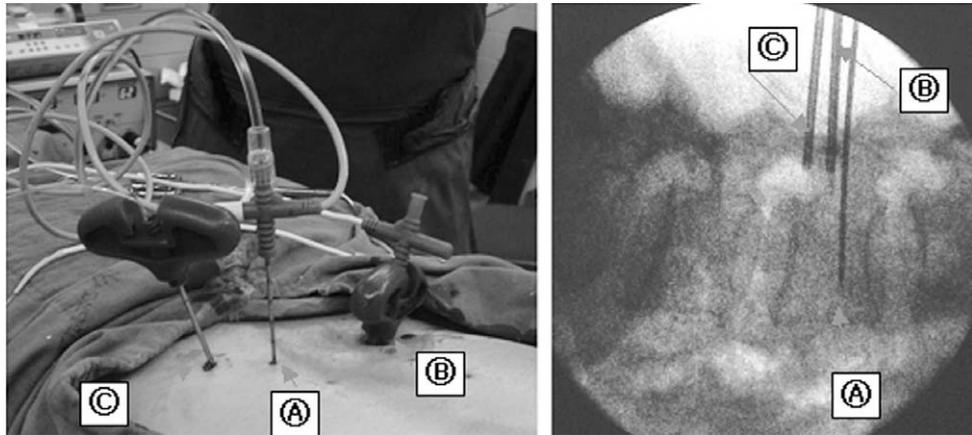


Fig. 3. Insertion of Electrode and Temperature Sensors. (A) Electrode and internal temperature sensor. (B) 1st remote temperature sensor in the posterior margin of vertebral body. (C) 2nd remote temperature sensor in the intervertebral foramen.

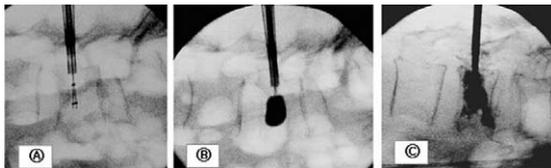


Fig. 4. Kyphoplasty. (A) Insertion of inflatable balloon tamps. (B) Ballooning. (C) Insertion of bone cement.

실을 20%이상의 병적골절을 보이는 경우는 풍선 성형술을 시행 하였다(Fig. 4). 환자는 수술 후 1시간 침상 안정후 거동 시켰으며 술전과 수술 당일, 2일간 정맥 항생제를 사용하였고, 수술 다음날 퇴원 하였다.

고주파의 이해와 임상적 적용

고주파는 200~1200 KHz의 파형을 가진 교류전류 에너지를 말하며 인체에 전기적 쇼크를 일으킬 수 있는 저주파 에너지(50~60 Hz)에 반하여 전극을 통하여 인체에 적용 하였을때 안정적으로 지혈, 절단 및 열 용해가 가능하고 시술의 크기와 시간을 조절 할 수 있는 장점이 있다. 의학적으로 이용되는 대표적인 고주파는 Bovie이며, 이와 같이 저암페어(0.1~0.5 A) 고전압(500~3000 V)을 이용하여 전극 인접조직에만 응고 피사를 유도 하는 방법으로는 윤상인대 성형술(IDET, Annuloplasty), 미세

신경절제술(Microneurotomy), 미세 건절제술(Microtenotomy) 등이 있으며, 고 암페어(0.5~2 A) 저 전압(110 V) 을 이용하여 더 깊이(5~6 cm) 조직을 용해 할 수 있는 고주파를 이용하는 방법은 근 골격계 종양에 대한 고주파 열 용해술(RFA, Radiofrequency Thermal Ablation), 수핵 성형술(Nucleoplasty) 등이 있다. 전극에 고주파 전류를 통과하면 노출 전극에 인접한 생체 조직은 이온의 진동을 일으키고 이에 의한 마찰열이 60~100°C 에 이르면 비가역적 세포손상, 즉 단백질 응고 및 세포 괴사가 일어난다. 이때 온도와 조직과의 관계를 보면 40°C 까지는 세포가 항상성을 유지하며, 42~45°C 에서는 세포가 방사선 치료나 약물치료에 쉽게 파괴되고, 46°C 이상 60분 유지하면 회복할 수 없는 손상, 50~52°C에서 4~6분 경과시 세포의 괴사, 60~100°C 에서는 거의 즉각적인 세포괴사를 초래하며 105°C 이상에서는 세포의 증발, 탄화에 의한 절연작용이 일어나 오히려 응고조건에 방해가 된다. 종양세포의 괴사를 위하여는 이론적으로 병변부 위 전체가 60°C 이상의 열에 노출되어야 한다.

전극에 고주파를 통과 하였을때 발열 양상은 초기 2~3분 동안은 전류가 흐르기 쉬운 전극의 양 끝이 가열 되어 전극에 수직으로 조직의 괴사가 일어난다, 괴사된 조직은 전기 저항이 증가 하면서 양끝의 온도가 점차 낮아지며 이때 전류는 다시 저항이 적은 전극의 중앙부에 더 많이 흐르게 되어 중앙부 온도가 상승하면서 전극을 중심으로 타원형으로 가열

된다. 이후 2~3분이 더 지나면 전극의 길이의 90~100% 직경의 원 모양으로 조직이 가열된다. 고주파 발생기에서 출력 조절의 원칙은 1 cm 직경의 전극은 10와트에서 시작하여 30와트까지, 2 cm 직경의 전극인 경우 20와트에서 60와트, 3 cm 직경의 전극은 30와트에서 시작하여 90와트까지 온도를 감시 하면서 서서히 올린다. 일반적으로 단극형 전극(Monopolar Electrode)를 사용하고 식염수 관류를 하지 않으면 45~50°C까지의 온도상승만 기대할 수 있으나 10~20%의 NaCl 관류를 병행하여 90~100°C까지 가열할 수 있다¹⁰⁾. 이외에도 양극 전극(Bipolar Electrode), 다극 전극(Multipolated Electrode)을 이용하거나 내부 순환 냉각형 전극을 사용하여 조직 용해의 범위를 넓힐 수 있다. 내부 순환 냉각형 전극이나 다극형 전극은 길이의 조절이 어렵고 가격이 비싸 저자는 관류형 Pick Tip 전극을 사용하였다.

고주파 열 용해술, 척추 성형술의 효과 및 기전

전이성 골 종양에서 발생하는 통증은 기전이 완전히 밝혀지지는 않았지만, 종양의 팽창으로 인한 골막과 관절 주위의 통각 수용체의 자극, 종양이 분비하는 TNF- α , Interleukin, PGE1, PGE2에 의한 통증의 유발과, 병적 골절이나 미세 골절에 의한 척추 불안정이 추체내의 통각 수용체의 자극등에 의한다고 보고 되고 있으며, 고주파 열 용해술 시술 후 통증 감소의 기전은 종양세포의 열 괴사와 종양 주위 골 조직내, 골수 모세혈관벽에 분포한 통각 수용체의 열 파괴에 의한 것으로 보고 되었다. 골 시멘트에 의한 발열의 효과는 최대 90°C까지 상승하며 60°C이상 평균 1~2분 이내 이므로 열에 의한 충분한 종양조직 괴사는 기대하기 어려우며, 통증의 감소는 통증 감각 신경섬유의 열, 화학적 파괴와 미세 골절의 안정화에 의한 것으로 알려져 있다.

15명(17 척추)의 증례와 1년 이상의 추시 관찰이 가능했던 Nakatsuka 등에 의한 치료 효과와 생존율에 대한 보고를 보면 수술 후 검사한 MRI 소견상 종양 괴사율은 14~100%(평균 71 \pm 24%) 였으며 종양의 크기가 5 cm 이하의 경우에 5 cm 이상의 경우 보다 유의하게 증가 하였다(78 \pm 23% vs. 59 \pm 22% ; P<.0001). 통증의 감소는 술전 8.4 \pm 2.4

에서 시술 후 1주만에 1.1 \pm 1.8(P<.0001) 으로 감소 하였고, 5명에서 3~12개월(평균 4.9개월)만에 통증이 재발 하였으며, 2명은 국소재발, 3명은 다른 부위에서 재발 하였다. 6명이 수술 후 6.3 \pm 5개월에 사망 하였으며 누적 1년 생존율은 60.1%였다¹¹⁾.

합 병 증

흔히 발생하는 합병증인 피부의 열손상은 병변에 위치한 전극과 피부의 거리가 멀어 발생하지 않았으며, 전극의 통로가 되는 척추 성형술 바늘과 전극의 노출부위가 닿아 전류가 바늘로 흐르면 피부 화상의 위험이 있을수 있고, 접지용 패드가 작으면 신체 접지 부위에 화상의 위험이 있어 넓은 접지 패드를 대퇴 후면 양측에 부착 하였다. 열에 의한 신경의 손상에 관하여는 저자 마다 다르나 45°C 이상, 10분 이상 신경근이나 척수가 열에 노출 되었을때 신경손상을 초래 한다고 하였으나²⁾, 저자의 경우 적극적인 신경관 온도 감시로 손상이 없었다. 골 시멘트의 주입으로 인한 신경공으로의 누출은 없었으며 분절 정맥과 기저척추 정맥을 통한 전, 후방으로 누출이 한례에서 있었으나 증상이나 기능적 결손은 보이지 않았다.

고 찰

전이성 척추종양 치료의 임상적 목표는 통증의 감소와 신경학적 손상의 회복에 있다. 적용 가능한 치료법으로는 수술적 치료법, 냉동 치료법, 호르몬 치료법, 항암 화학요법, 방사선 동위원소를 이용한 항암 약물요법, 방사선 치료법, 비스포스포네이트 치료법, 고주파 열 용해술, 척추 성형술 및 통증에 대한 약물 치료법등이 있다. 이들중 가장 많이 적용되는 방법은 방사선 치료 및 통증 약물치료 이며 수술적 치료는 10%미만에서 적용되고 있다. 비 수술적 치료법으로는 신경학적 손상의 회복은 기대하기 어려우며 통증의 감소가 치료목표이고 반면에 최근 10여년 동안에 발전된 수술 방법으로 후방 도달법에 의한 전 척추 절제술 후 다분절 고정술 법이 통증의 감소, 신경학적 손상의 회복, 추체의 이차적 병적골절 방지 및 생존율 증가에 좋은 결과가 보고 되고 있어 점진적으로 증가 하는 추세에 있다. 방사선 치료는 여전히 전이성 척추종양 치료의 대표적인 방법으

로 전체의 60%를 차지 하나 통증의 감소 효과가 10~14일 이후에서 가능하며 최대 치료 효과는 12~20주에 나타 나므로 통증의 즉각적인 감소를 기대 하기 어렵고 신경손상의 회복율도 50% 미만으로 보고 되고 있어⁷⁾, 즉각적인 통증의 감소 효과와 척추의 추가적 붕괴도 방지 할 수 있는 좀더 적용하기 쉬운 비 수술적 치료가 필요 하게 되었다.

고주파 열 용해술과 척추 성형술의 병용 치료법은 골 종양세포의 괴사와 통증의 감소가 목적이며, Grönemeyer 등은 골 시멘트의 온도가 80~90°C 까지 상승하여 항암 효과가 있다고 하였으나⁵⁾, Nakatsuka 등은 종양세포 괴사에 관하여 시술 후 평균 71%의 괴사율을 보인다 하였고 종양의 크기가 5 cm 이상 인 경우에서 5 cm 이하의 경우보다 유의 하게 국소 종양이 재발하는 것으로 보아 종양의 괴사는 골 시멘트 주입효과 보다 RFA의 효율성과 관계 한다고 보고 하였다¹¹⁾.

종양 내 혹은 주위 조직에 혈관이 발달하면 혈관의 열 대류현상에 의해 열 감소효과(heat sink effect)가 생기며 2 mm 이하 굵기의 혈관은 영향을 주지 않으나 3 mm 이하는 3%, 3~5 mm에는 50%, 5 mm 이상 굵기의 혈관 주위에서 종양은 100% 살아 남아서 RFA에 의한 종양괴사의 효율이

감소 하게 된다. 또 조직에 열을 가할때 각 조직은 자체의 절연효과를 보이며 Dupuy 등은 돼지의 척추에서 전극으로부터 1 cm 떨어진 온도 센서에서의 온도 측정 결과 해면골 내에서는 13.4±4.5°C, 피질골 내에서는 25.7±7.0°C, 피질골 건너편에서는 11.2±2.0°C 의 절연효과를 보인다 하였다¹⁾(Fig. 5).

시술 시간에 대하여 Goldberg 등은 인체의 간 조직에서는 시술 12분에 최대 효과를 보인다 하였고^{3,4)}, Dupuy 등은 전이성 골암에서는 시술 동안의 조직의 저항에 따라 시술 시간이 달라지며 전류를 낮추어도 저항이 감소 하지 않을때 치료를 종료 하는 시기로 보았다¹⁾. 척추 전이암에서의 시술 시간은 명확한 가이드 라인은 없으나 보고된 시술자들의 치료 시간과, 골 종양조직 파괴를 위한 온도측측 문헌 들에 근거하면 65°C에서는 15~30분, 72°C에서는 10분 이상이 적절하다 하겠다.

가장 심각한 합병증은 신경손상이며, Froese 등의 보고에 의하면 생쥐에서 신경근이나 척수에 45°C이 상의 열이 10분이상 가하여 지면 세포독성 효과가 나타난다고 하였고²⁾, Dupuy 등은 인체에서 추체의 온도를 최대한 올렸을때 신경관 온도가 44°C 였으며 신경손상의 증상을 보이지 않았다 하였다¹⁾. 신경관 내의 온도 감시를 하지 않았던 Nakatsuka 등의 보고에서는 24%의 신경 손상을 보여 신경관 근처, 후궁, 추경부의 종양에서는 적용하지 않는것이 좋다고 하였다¹¹⁾. 저자의 경우 신경관 내, 신경공 및 추체 후방부에 온도 센서를 삽입하여 엄격히 감시 하여 신경손상 없이 병변 부위의 온도를 92°C 까지 올릴 수 있었으며 이를 근거로 하면 척추체의 후반부, 추경부 및 후궁에 발생한 척추 전이암이나 유골 유종 과 같은 양성종양에도 신경관 내의 온도 감시를 이용하면 종양의 열괴사가 가능할 것으로 보인다.

척추 성형술 및 풍선 성형술시 골 시멘트의 누출 은 가장 흔한 합병증이며 누출에 의한 폐 색전증, 정맥 혈전증, 신경손상의 문제를 야기 할 수 있으며 가장 많은 누출은 골수강내 정맥을 통하여 발생한다. 대부분의 경우 증상이 없으나 신경공과 신경관내 누출의 경우 드물게 신경손상을 초래 할 수 있고, 염등 은 수술도중 단순 방사선 사진으로 누출을 알수 있는 경우는 단층 촬영으로 실제 누출이 확인된 경우 의 2/3에서만 나타나므로 골 시멘트 주입시 추체의 후방 1/5까지 시멘트가 보이면 주입을 중단 할것을

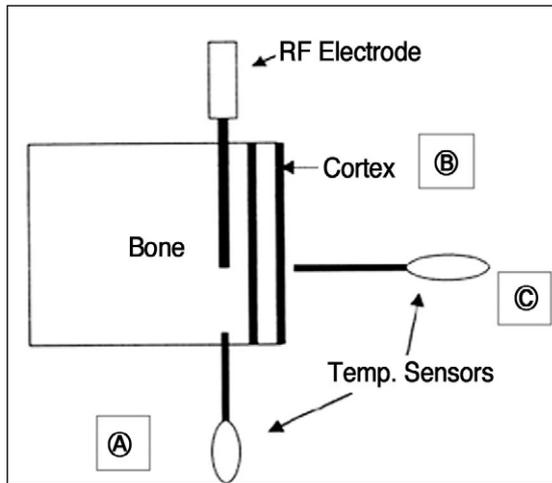


Fig. 5. Thermal Insulation in Vertebral Body in Mice. Temperature differences of sensors, 1cm apart from electrode. (A) Within the body(cancellous bone): below 13.4±4.5°C. (B) Within the cortical bone: below 25.7±7.0°C. (C) The other side of cortical bone: below 11.2±2.0°C.

권고 하였다⁸⁾. Shaffer 등은 고주파 열 용해술과 골 시멘트의 주입을 순차적으로 하였을때 종양세포의 열괴사에 의한 압력의 감소로 골 시멘트가 더 균등하게 분포하며, 시멘트의 누출과 관련된 분절 정맥과 기저척추 정맥이 열 손상으로 막혀 누출도 더 적다고 하였다^{12,13)}. Harrington 등은 추체의 안정화를 위해 골 시멘트를 척추체에 완전히 충전할 필요는 없으며, 안정화를 위한 최소 양은 2 ml 정도이라 보고 하였고⁶⁾, 술전 MRI에서 측정된 양보다 1~2 ml 더 주입 하면 충분한 것으로 보인다.

시술 도중 환자가 호소하는 통증은 온도와 비례하였으며 저자의 경우 척추체 내의 온도가 65°C 이상이면 대부분의 환자에서 통증을 호소하였고 이때 신경관, 신경공의 온도는 38°C 이하 였으므로 통증의 원인은 추체내의 통각 수용체의 자극에 의한 것으로 보인다. 병변이 작고 단일 분절인 경우는 국소 마취 만으로도 시술이 가능 하며, 다분절 전이, 병변이 커서 여러번 시술 하여야 할 경우 또는 시술 시간을 줄이기 위하여 65°C 이상의 가열을 필요로 하는 경우는 감각신경과 자율신경 만을 차단하는 가벼운 경막외 마취가 유용 할것으로 보인다.

결 론

수술적 절제술이 불가능한 전이성 척추종양에서 고주파 열 용해술과 척추 성형술 및 풍선 성형술의 병용 치료법은 즉각적인 통증감소의 효과, 이차적인 추체의 안정효과를 얻을 수 있으며 두 방법이 상호 보완적으로 종양의 괴사율을 높여 국소 재발을 줄이고 골 시멘트의 누출과 같은 합병증도 적게 나타나는 방법으로서 약물요법, 호르몬요법 및 방사선 치료법등의 대증요법에 반응하지 않는 통증을 가진 전이성 척추종양 환자에게 효과적으로 적용 할 수 있는 보다 적극적인 비수술적 치료법이다.

REFERENCES

- 1) Dupuy DE, Hong R, Oliver B et al: Radiofrequency ablation of spinal tumors: temperature distribution in the spinal canal. *Am J Roentgenol*, 175:1263-1266, 2000.
- 2) Froese G, Das RM, Dunscombe PB: The sensitivity of the thoracolumbar spinal cord of the

- mouse to hyperthermia. *Radiat Res*, 125:173-180, 1991.
- 3) Goldberg SN, Gazelle GS, Solbiati L, Rittman WJ, Mueller PR: Radiofrequency tissue ablation: increased lesion diameter with a perfusion electrode. *Acad Radiol*, 3:636-644, 1996.
- 4) Goldberg SN, Solbiati L, Hahn PF et al: Large volume tissue ablation with radiofrequency by using a clustered, internally cooled electrode technique: laboratory and clinical experience in liver metastases. *Radiology*, 209:371-379, 1998.
- 5) Grónemeyer DH, Schirp S, Gevargez A: Image-guided radiofrequency ablation of spinal tumors : preliminary experience with an expandable array electrode. *Cancer J*, 8:33-9, 2002.
- 6) Harrington KD: Major neurological complications following percutaneous vertebroplasty with polymethylmethacrylate: a case report. *J Bone Joint Surg Am*, 83:1070-1073, 2001.
- 7) Janjan NA : Radiation for bone metastases: conventional techniques and the role of systemic radiopharmaceuticals. *Cancer*, 80:1628-1645, 1997.
- 8) Jin-Sup Yeum, Whoan-Jeang Kim, Won-Sik Choy et al: Bone cement leakage in vertebroplasty for osteoporotic compression fractures. *J. of Korean Orthop. Assoc*, 38:293-300, 2003.
- 9) Kaemmerlen P, Thiesse P, Jonas P et al: Percutaneous injection of orthopedic cement into metastatic vertebral lesions. *N Engl J Med*, 321:121. 1989.
- 10) Lobo SM, Afzal KS, Ahmed M, Kruskal JB, Lenkinski RE, Goldberg SN: Radiofrequency ablation: Modelling the enhanced temperature response to adjuvant NaCl pretreatment. *Radiology*, 230:175-182, 2004.
- 11) Nakatsuka A, Yamakado K, Maeda M et al: Radiofrequency ablation combined with bone cement injection for the treatment of bone malignancies. *J Vasc Interv Radiol*, 15:707-712, 2004.
- 12) Schaefer O, Lohrmann C, Herling M et al: Combined radiofrequency thermal ablation and percutaneous cementoplasty treatment of a pathologic fracture. *J Vasc Interv Radiol*, 3:1047-1050, 2002.
- 13) Schaefer O, Lohrmann C, Markmiller M et al: Technical innovation: combined treatment of a spinal metastasis with radiofrequency heat ablation and vertebroplasty. *Am J Roentgenol*, 180:1075 - 7, 2003.