

골종양에서의 고주파 열치료

성균관대학교 의과대학 삼성서울병원 정형외과학교실

성 기 선

고주파 열치료는 전기 에너지를 이용해 생체 조직에 열을 발생시켜서, 해당 부위의 괴사를 일으키는 치료 방법이다. 이는 심장의 부정맥의 치료, 신경 계통의 비침습적 치료 및 간 종양의 치료 등 매우 다양한 의료 분야에서 활용되고 있다. 최근 의료의 경향이 최소 침습적인 방법을 선호하게 되고, 고주파 열치료 기법 자체의 개선과 더불어 열치료를 감사할 수 있는 각종 영상 장비의 눈부신 발전으로 이 치료 방법은 더욱 더 많은 분야에서 활용될 수 있을 것으로 기대된다. 이에 고주파 열치료의 간략한 소개와 이를 이용한 근골격계 종양의 치료 성적을 정리하고자 한다.

고주파 열치료 발전의 역사

고주파 열치료의 시작은 1920년대 신경외과 의사인 Harvey Cushing의 공헌이었다고 한다⁹⁾. 이후 W.T. Bovie가 개발한 전기 소작기가 전기적 열을 수술에 실제 사용하게 하는데 큰 공헌을 하였다. 그러나, 중추신경계에 실제 임상적으로 전기적 열을 이용한 기술은 1950년대 Aranow와 Cosman이 고주파 장비를 만든 이후였다⁵⁾. 이후 1960년대에는 미국과 유럽 모두에서 삼차신경통의 치료에 점차 널리 사용되었다. 그리고, 하요추부 통증 치료를 위해 척추 후관절(facet joint) 신경차단술에 고주파 열치료가 이용되고, 추간관성 통증 조절을 위해 열치료가

이용되었다¹⁷⁾. 이외에도 두경부 악성 종양의 통증 조절을 위해 설인신경 차단술에 이용되었고²¹⁾, 상지의 각종 혈관 질환 및 신경병성 통증의 치료를 위해 경피적 흉부 교감신경절제술에도 적용되었다²⁴⁾. 뿐만 아니라 심장 부정맥의 치료에도 효과가 입증되면서, 그 비침습성으로 인해 전기적 열치료의 잠재적 유용성은 더욱 확산되었다.

그러나, 1980년대 초반까지는 열치료의 전기에너지로 직류를 사용하였는데, 직류 전기는 너무 높은 온도를 유발하고, 국소 폭발의 위험성으로 심장 부정맥의 치료에 이용하는데 매우 위험하였다. 이에 Huang 등¹⁴⁾이 위험한 직류대신 고주파 교류를 이용하여 개의 심장 시술에 성공한 이래 고주파가 직류를 대체하는 안전한 방법으로 확립되었다. 그리하여, 고주파 열치료는 심도관 소작술(catheter ablation) 기술의 표준 치료 방법으로 자리잡게 되었다. 이외에도 부인과 및 외과 영역에서 고주파 열치료는 다양하게 이용되고 있다.

초음파와 컴퓨터단층촬영(CT) 등의 영상 장비의 괄목할 만한 발전과 보급은 고주파 열치료를 내부 장기의 다양한 병변에 이용할 수 있게 하였다. 이는 비침습성을 선호하고, 종양과 그 증상을 공격적으로 치료하는 현대 의료의 추세와 잘 맞아 특히 내부 장기 종양에서의 임상적 유용성이 더욱 커지고 있다. 몇몇 선구적 연구자들에 의해 고주파 열치료가 초음파 감시 하에서 조직을 계획적으로 괴사시킬 수 있

※통신저자: 성 기 선
서울특별시 강남구 일원동 50
삼성서울병원 정형외과
Tel: 02) 3410-3509, Fax: 02) 3410-0061, E-mail: kissing@empal.com

다고 입증된 이래, 인간의 간암과 간 전이 종양에 널리 이용되고 있다^{26,27}. 이외에도 CT 영상 감시 하에서 수술의 적응증이 되지 않는 폐 종양의 치료와 뇌 종양(MRI 감시) 등 다양한 부위의 종양에 이용되고 있다.

골조직에서의 고주파 열치료의 이용은 Tilloston 등²⁹이 살아 있는 개를 이용한 실험 이후에 그 안전성이 입증되면서 확산되었다. 그는 이 실험에서 개의 골조직에 고주파 열을 가하면 골과 골수 모두에서 괴사 병변이 고주파 발생 시간과 electrode 크기에 상관없이 직경 약 1 cm 정도의 구를 형성한다고 하였다.

고주파 열치료는 실시간 영상 감시 하에서 경피적으로 시술을 하므로, 합병증이 적고 통원 치료가 가능하며, 다른 치료와 병행이 가능하고 반복 시술이 안전하게 시행될 수 있는 등의 장점이 있어 앞으로 도 많은 발전이 예상되는 분야이다.

고주파 열치료의 원리

고주파 열치료기는 전기 발생기(generator)와 전

극(electrode) 및 접지(ground pad)로 이루어져 있는데, 기종에 따라 냉각 시스템이 갖추어져 있다(Fig. 1). 고주파 열치료는 괴사 조직을 만들게 되는데, 이를 병변(lesion)이라고 부른다. 이는 응고 괴사로, 쉽게 말하면 전기 에너지가 조직을 익히는 것이다. 전기 소작기(Bovie device)는 소작기 끝부분 자체가 뜨거워지면서 열을 조직에 전달하는데 반해, 고주파 열치료의 경우는 electrode에서 교류 전기(라디오 주파수와 비슷한 100 kHz에서 1.5 MHz)가 조직으로 흘러가 조직 내부의 국소 이온들의 진동(oscillation)을 유발하여 열을 발생시킨다. 즉 열 발생은 조직 내부에서 일어나는 것이다. 충분한 열에 의해 괴사된 병변은 시간이 지남에 따라 일부는 흡수되고 반흔으로 남게 된다.

고주파 열치료는 길고 가는 전극(electrode)를 이용하는데, 침단 부위를 제외하고는 모두 절연체로 싸여 있어, 목표 부위 이외의 조직을 보호한다(Fig. 2). 전류가 통과하면서, 전극(electrode) 침단의 인접 부위의 조직에 열이 발생하는데, 이 열은 거리의 4 제곱에 비례하여 떨어지게 되어, 병변의 크기는 매우 제한적이다. 병변 주변 조직으로의 열 전달은 전

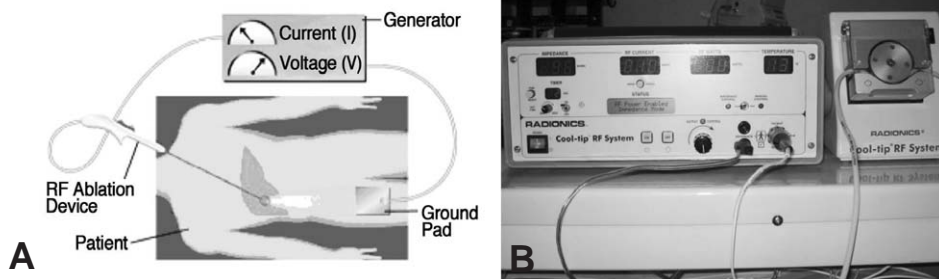


Fig. 1. (A) A diagram of radiofrequency ablation system (B)A generator of radiofrequency ablation (left) and a water pump (right)

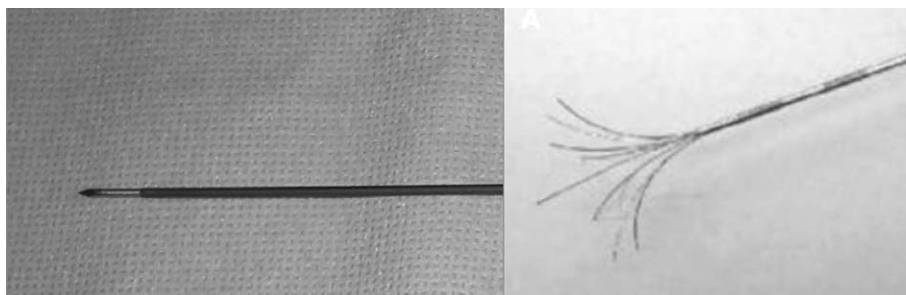


Fig. 2. Various electrodes

도에 의해서 일어난다. 안전한 시술을 위해 전류의 방향이 결정되는 것이 필요한데, 접지 패드(grounding pad)가 그 역할을 한다. 접지 패드는 신체의 다른 부위에 부착하여야 하고, 가능한 넓은 면적의 패드가 패드 부착부의 열 발생을 줄일 수 있다.

발생된 열이 너무 높아 일정 시간 이상 섭씨 100도 이상의 열이 조직 내부에서 유지되면, 조직이 끊어 오르고 기화가 발생한다. 이는 팁 주변 조직에 응고체(coagulum)을 만들게 되는데, 이는 전류 저항을 높이게 되어 더 넓은 부위로 전류가 흐르는 것을 막게 된다. 즉 너무 높은 온도는 예상과 달리 효과적인 괴사 병변 부피를 줄이게 되는 것이다. 이외에도 너무 높은 온도는 국소적인 폭발성 기화를 발생하여 괴사 병변이 계획적으로 조절할 수 없게 할 수 있다. 따라서, 적절한 병변의 생성을 위해서는 온도 감시가 필요한 것이다⁵⁾.

병변의 크기는 전류 발생 시간(시술 시간)과 조직의 종류 등의 의해서 달라질 수 있다. 균일한 세포사(cell death)를 위한 적절한 온도는 연구 결과마다, 조직마다 큰 차이를 보이고 있는데, 대략 섭씨 42도와 55도 사이로 알려져 있다^{5,7,13,33)}. 일반적으로 섭씨 50도 이상의 온도가 수분 정도 유지되면 세포벽의 파괴와 단백질의 변성에 의한 세포의 비가역적 손상이 온다고 알려져 있다¹⁹⁾. 병변 부피를 늘리기 위하여 조직의 온도를 섭씨 100도를 넘지 않으면서도 충분한 시간 동안 약 50°C로 유지하는 것이 필요하다. 그러나, 이는 큰 혈관이 주위에 있으면 혈관이 열의 배출구(heat sink) 역할을 하므로 효율적인 병변 크기를 유지하기 어렵다. 통상 직경 2~3 mm 정도의 혈관은 열에 의하여 응고가 되지만, 이보다 큰 혈관은 응고되지 않고 열을 배출하게 되어 병변의 모양과 크기를 변화시킨다¹⁹⁾.

고주파 열치료를 이용한 유골 골종의 치료

유골 골종은 비교적 흔한 양성 골 종양으로 주로 10~30세 사이의 젊은 연령에서 호발하며 남자에서 2배 가량 많고, 주로 장관골의 골간부 특히 대퇴골과 경골에 흔하게 발생하나 신체의 모든 부위에서 나타날 수 있으며 밤에 더욱 악화되는 지속적인 국소 동통과 아스피린 및 기타 소염제로 동통이 호전되는 특징을 가지고 있다. 자기 제한적 질환으로 스

스로 소멸한다고 하나, 보존적 치료로 증상이 지속되는 경우 외과적 절제술이 시행되어 왔다. 그런데, 수술 시 정확한 병소의 위치를 찾기 어려운 경우가 흔하여 이로 인해 병소의 광범위한 절제와 예방적 내 고정 및 골 이식 등의 필요, 그리고 재원기간 및 수술 후 회복기간의 연장 등이 문제로 제기되어 왔다^{22,25)}. 뿐만 아니라 병변이 절제하기 어려운 위치에 생긴 경우 수술적 절제가 위험한 경우도 드물지 않다.

Rosenthal 등²³⁾이 처음으로 유골 골종의 치료에 CT 감시 하 경피적 고주파 열치료 결과를 보고한 이래, 최근에는 많은 기관에서 유골 골종 치료의 표준으로 널리 이용되고 있다(Fig. 3). 1995년 De Berg 등⁹⁾은 18례에서 시술 후 모두 통증의 소실을 보였다고 보고하였는데, 이 중 1례는 재발하여 재시술한 뒤 증상이 없어졌다고 하였다. 같은 해 Rosenthal 등²⁵⁾도 18명 환자 중에서 16례에서 증상 소실을 보고 하였고, 2001년 Lindler 등¹⁸⁾은 58명 환자를 대상으로 성공적인 결과를 보고하였는데, 3례의 재발이 있었으나 재시술로 모두 증상의 소실이 있었다고 하였다. 또한, Rosenthal 등²⁴⁾은 후향적 분석을 통하여 수술적 치료를 한 군(9%의 재발율)과 경피적 고주파 열치료를 한 군(12%의 재발율)의 임상 결과에 차이가 없으나, 수술적 치료를 한 군에서 합병증이 더 많이 발생하였다고 보고하였다. 저자의 경우에도 유골 골종의 경피적 고주파 열치료의 성공적 결과에 대하여 발표한 바 있다²⁶⁾. 시술 후 증상의 호전 시기는 대부분의 저자들이 시술 직후 또

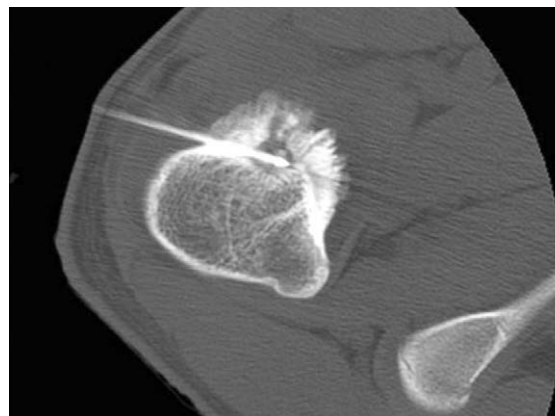


Fig. 3. Radiofrequency ablation for an osteoid osteoma in the proximal femur

는 일주일 이내로 보고하고 있다^{4, 8, 28, 35}. Vanderschueren 등³²은 97명 대상 환자 중 54명이 2주 이내에 증상의 호전을 보였는데, 54명의 87%가 24시간 내에 증상의 호전이 있었고, 나머지 13%에서도 2주 이내에 증상이 없어졌다고 하였다. 재발율은 저자들간의 큰 차이가 없는데, Woertler 등³⁵은 47명 중 3명, Lindler 등¹⁸은 58명중 3명, 그리고 Vanderschueren 등³²은 97명중 11명의 재발을 보고하였다. 재발과 유골 골종의 핵 크기와 관련에 대해서는 입증되지는 않았지만, 대체로 재발한 경우에는 핵의 크기가 큰 경향이 있다고 한다^{8, 35}. 재발한 경우에 재시술을 한 결과는 그 성공율이 50~100%로 매우 다양하게 보고되어 있다^{8, 18, 23, 25, 32, 35}. 재발은 최장 25개월까지 보고된 바 있어³, 최소 2년 이상 추시 관찰이 필요할 것으로 생각된다. 저자의 경우 시술 후 2년 이상 경과한 환자는 모두 29명이었으며, 이 중 3명이 재발하였고 이들은 모두 재시술 후 증상이 없어졌다.

경피적 고주파 열치료의 합병증은 매우 드문 것으로 보고되고 있는데, 시술 후 골절이나 골수염 등의 주요 합병증은 보고된 바가 없고, 주로 피부 화상이었다^{4, 18, 28}.

시술은 CT 감시 하 생검과 유사하게 진행된다. 대개의 경우 전신 마취가 필요하지만, 경우에 따라서는 국소 마취를 사용할 수도 있다. 의식이 있는 상태에서 진정(conscious sedation)은 주로 척추 병변의 시술에 사용되는데, 이는 시술 중 신경학적 검사를 가능하게 한다²⁰. 복부 장기의 경우와 달리 골조직 시술에는 골생검 기구 또는 드릴이 필요하다. 사전에 병변의 위치와 신경 혈관 등 중요 구조물을 고려하여 결정된 도달 경로를 따라 골 생검 기구를 삽입한 후 영상으로 위치가 적절한지 확인한다. 전극을 삽입하고 전류를 발생시키기 전에 먼저 삽입하였던 골생검 기구는 뒤로 빼내야 한다. 전극은 가능한 병변의 중심에 위치해야 한다. 만약 일반적인 단일 팁 전극(single tip electrode)를 사용할 경우에 종양의 범위가 탐침의 양 방향에서 5 mm 이상 퍼져있으면, 위치를 바꾸어 시술을 한번 더 시행해야 한다. 많은 저자들이 온도 조절하면서 시술을 하는데, 대개 탐침의 끝 온도가 4분에서 6분 정도 섭씨 90도를 유지하게 한다^{1, 6, 8, 18, 23}. 국소 마취제를 병변 주위나 골 구멍에 주입하는 것이 시술 후 통증 조절

에 도움이 된다. 대개의 경우 환자는 마취가 깬 이후 즉시 체중 부하를 할 수 있고, 통증은 수일에서 1주일 이내에 없어지게 된다.

전이성 골종양의 경피적 고주파 열치료

실제로 다수의 전이성 골종양 환자들이 통증을 느끼지 않는다고 한다³¹. 그러나, 유방암, 폐암, 전립선 암 등에서 매우 많은 전이성 골종양이 발생하므로, 전이성 골종양의 통증은 커다란 문제가 된다. 종종 통증 조절이 말기 암 환자에 대한 유일한 목표가 될 경우가 있을 정도로 통증은 전이성 종양 환자를 아주 힘들게 한다. 이런 전이성 골종양 환자의 통증 조절에 고주파 열치료가 중요한 부분을 차지할 수 있다³¹. 전통적으로 마약성 진통제 등의 약물 치료와 방사선 치료가 전이성 골종양 환자의 통증 치료에 이용되어 왔는데, 이중 방사선 치료는 선택 치료법으로 널리 이용되고 있다. 방사선 치료는 많은 환자에게 효과적이기도 하지만, 통증의 재발이 자주 발생하고³⁰, 통증 완화 반응이 느리며¹⁵ 방사선 치료에 반응하지 않는 종양에서는 효과가 없는 등의 문제가 있다. 이외에도 방사성 동위원소(Strontium-89) 치료, 호르몬 요법, 비스포스포네이트(bisphosphonate) 등이 통증 치료에 시도되고 있는데, 이들 역시 반응이 초기 투여 후 4주에서 12주 정도에 나타나는 등의 한계가 있다고 한다¹⁶. 따라서 반응이 빠른 통증 조절 요법이 말기 암 환자의 생활의 질 개선을 위해 요구된다.

Dupuy 등¹⁰이 최초로 고주파 열치료를 10명의 전이성 골종양 환자의 통증 조절에 사용한 결과를 성공적으로 보고한 이래로, 몇몇 저자들이 그 결과를 발표하고 있다. Callstrom 등²은 방사선 치료와 항암 치료에 반응이 없는, 심한 통증이 있는 12명의 골용해성 전이 병변(1~11 cm)에 대하여 고주파 열치료의 결과를 발표하였는데, 모든 환자에서 시술 후 4주째에 가장 극심한 통증의 정도(8.0→3.1/10)와 하루 평균 통증의 정도(6.5→1.8/10)가 호전되었다고 하였다. 통증의 호전은 전형적으로 1주일 이내에 생겼고, 접지 패드 부착부의 피부 화상이 유일한 합병증이었다. Goetz 등¹¹도 43명을 대상으로 한 다기관 연구에서 41명(95%) 환자에서 성공적인 결과를 나타냈고, 통증 조절 효과가 24주 이후에도 지속

되는 것으로 보고하였다.

전이성 골종양의 통증 치료에 고주파 열치료의 표준화된 시술 방법(standard protocol)이 아직 잘 확립되지 않은 상태이므로, 시술 방법에 대하여 논하기는 어려운 점이 있지만, 일반적인 지침은 다음과 같다(Fig. 4).

전극의 위치를 확인하기 위해 실시간 단면 영상 감시가 필요한데, 주로 CT가 이용된다. 대부분의 경우 피질골의 파괴가 있으므로 골 생검 기구가 필요 없지만, 골 생검 기구를 사용할 때는 전극을 삽입한 후에 생검 기구를 충분히 후퇴시켜서 주위조직과 피부 화상을 예방하도록 한다. 마취는 충분히 하는데, 앞 장의 유골 골종의 경우와 유사하다.

크기가 작은 병변에 대해서는 1회의 열치료로 효과적일 수 있지만, 크기가 큰 전이성 골종양의 통증 치료를 위해서는, 증상을 유발하는 부위에 선택적으로 열치료를 가하여야 하는데, 이에 대해 Callstrom 등²⁾은 골-연부조직 경계(bone-soft tissue interface)를 따라 열치료를 하는 것이 가장 효율적이라고 보고하였다. 시술 후 하루 정도 입원하여 진통소염제 등의 투여가 필요할 수 있는데, 이는 괴사가 발생한 부위에서 염증 반응이 유발되어 통증을 일으킬 수 있기 때문이다. 그리고, 간 종양의 경우 고주파 열치료 후 감염이 중요한 합병증 중의 하나로 알려져 있으므로³⁷⁾, 골 조직에 시술할 때에도 예방적 항생제를 투여하는 것이 안전할 것이다.

열치료 중 인접 조직의 손상을 예방에도 주의하여야 하는데, 단일 비냉각성 전극 (single tip uncooled

electrode)의 경우에도 신경, 척수, 장, 방광 및 피부로부터 1 cm 이상 떨어져야 한다. 따라서 시술 전 주위 중요 장기를 고려한 사전 계획이 필요하다. 큰 혈관의 경우에는 열 배출구(heat sink) 역할을 하므로 손상의 위험보다는 병변의 크기를 줄이는 효과가 있다¹²⁾. 전극 모양의 선택 역시 병변의 크기에 영향을 줄 수 있는데, 단일 팁 전극은 직경 1.6 cm 이내의 실린더 모양의 병변을 만들 수 있다. 여러 개의 첨부를 지닌 전극(multiple tips)은 더 큰 병변을 만든다. 전극의 모양 뿐 아니라, 전극 냉각 시스템도 조직에 축적되는 전류의 양을 늘리게 되는데, 이는 조직이 과열되어 탄화로 인한 저항이 커지는 현상을 제어할 수 있기 때문이다⁷⁾. 대체로, 단일 냉각 전극은 직경 2~3 cm 정도의 병변을 만들고, 삼중 전극은 4~5 cm 병변을 만든다고 볼 수 있다.

척추의 병변은 특별한 주의가 필요한데, 토끼 실험에서 경막외 온도가 섭씨 45도 이상이 되면 신경 손상이 유발될 수 있다고 알려졌다³⁶⁾. 따라서, 경막외 온도를 섭씨 44도 이하로 유지하는 것이 바람직 한데, 만약 피질골이 남아 있으면 이는 절연체 역할을 하므로 비교적 안전하게 시술이 가능하지만, 척추관 온도 감시 또는 신경학적 진찰이 필요하다.

요약하면, 크기가 큰 전이성 병변일 경우, 냉각 시스템이 갖추어진 전극을 이용하여 조직 온도를 60도에 맞추어, 반복적인 단기(6분 내외) 가열 치료를 전이성 병소 주변부를 따라서 진행하는 것이 효율적인 것으로 보인다⁷⁾. 대다수의 환자에서 완전하지는 않지만, 수일 이내에 유의한 정도의 통증 감소를 기대할 수 있다. 시술에 따르는 위험은 낮지만, 감염, 인접 주요 장기의 손상, 피부 화상 및 시술 후 골절 등이 있다. 병변 부위의 안정을 위해, 척추의 경우 골 시멘트를 이용한 예방적 추체성형술(vertebroplasty)를 고려할 수 있다.

결 론

근골격계 병변에 대한 고주파 열치료는 최근 큰 발전을 이뤄왔다. 유골 골종의 치료에 안전하고 효과적임이 입증되었고, 현재로는 약물로 통증 관리가 되지 않는 경우에 선택적 치료로 자리잡고 있다. 전이성 골종양에 대해서는 아직 그 효과가 충분히 입증되지 못하고 있지만, 초기 보고에서 발표된 바와

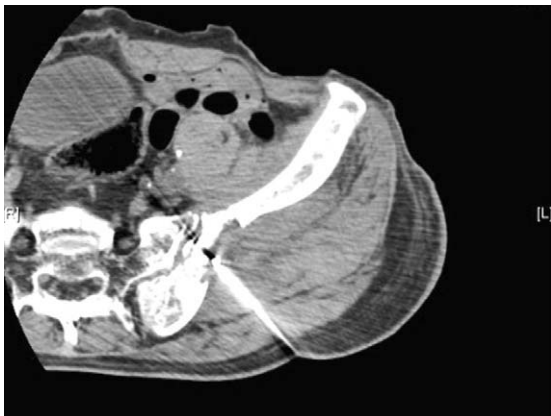


Fig. 4. Radiofrequency ablation for a skeletal metastasis in the iliac bone

같이 통증의 조절에 안전하고 효과적인 것으로 보인다. 그러나, 아직 시술의 표준화, 적정화 및 전이성 골종양의 추적 관찰 등이 필요하며, 통증의 조절 뿐만 아니라 치유에까지 그 역할이 규명되어야 한다.

REFERENCES

- 1) **Barei DP, Moreau G, Scarborough MT, Neel MD:** Percutaneous radiofrequency ablation of osteoid osteoma. *Clin Orthop Relat Res*: 115-124, 2000.
- 2) **Callstrom MR, Charboneau JW, Goetz MP, et al:** Painful metastases involving bone: feasibility of percutaneous CT- and US-guided radio-frequency ablation. *Radiology*, 224:87-97, 2002.
- 3) **Cantwell CP, Obyrne J, Eustace S:** Current trends in treatment of osteoid osteoma with an emphasis on radiofrequency ablation. *Eur Radiol*, 14:607-617, 2004.
- 4) **Cioni R, Armillotta N, Bargellini I, et al:** CT-guided radiofrequency ablation of osteoid osteoma: long-term results. *Eur Radiol*, 14:1203-1208, 2004.
- 5) **Cosman ER, Nashold BS, Ovelman-Levitt J:** Theoretical aspects of radiofrequency lesions in the dorsal root entry zone. *Neurosurgery*, 15:945-950, 1984.
- 6) **Cove JA, Taminiau AH, Obermann WR, Vanderschueren GM:** Osteoid osteoma of the spine treated with percutaneous computed tomography-guided thermocoagulation. *Spine*, 25:1283-1286, 2000.
- 7) **Davis KW, Choi JJ, Blankenbaker DG:** Radiofrequency ablation in the musculoskeletal system. *Semin Roentgenol*, 39:129-144, 2004.
- 8) **de Berg JC, Pattynama PM, Obermann WR, Bode PJ, Vielvoye GJ, Taminiau AH:** Percutaneous computed-tomography-guided thermocoagulation for osteoid osteomas. *Lancet*, 346:350-351, 1995.
- 9) **Dupuy DE:** Radiofrequency ablation: an outpatient percutaneous treatment. *Med Health R I*, 82:213-216, 1999.
- 10) **Dupuy DE, Safran H, Mayo-Smith WW:** Radiofrequency ablation of painful osseous metastatic disease. *Radiology*, 209:389, 1998(abstr).
- 11) **Goetz MP, Callstrom MR, Charboneau JW, et al:** Percutaneous image-guided radiofrequency ablation of painful metastases involving bone: a multicenter study. *J Clin Oncol*, 22:300-306, 2004.
- 12) **Hansen PD, Rogers S, Corless CL, Swanstrom LL, Siperstien AE:** Radiofrequency ablation lesions in a pig liver model. *J Surg Res*, 87:114-121, 1999.
- 13) **Haupt JC, Conner ES, McFarland EW:** Experimental study of temperature distributions and thermal transport during radiofrequency current therapy of the intervertebral disc. *Spine*, 21:1808-1812; discussion 1812-1803, 1996.
- 14) **Huang SK, Bharati S, Graham AR, Lev M, Marcus FI, Odell RC:** Closed chest catheter desiccation of the atrioventricular junction using radiofrequency energy—a new method of catheter ablation. *J Am Coll Cardiol*, 9:349-358, 1987.
- 15) **Janjan NA:** Radiation for bone metastases: conventional techniques and the role of systemic radiopharmaceuticals. *Cancer*, 80:1628-1645, 1997.
- 16) **Janjan NA, Payne R, Gillis T, et al:** Presenting symptoms in patients referred to a multidisciplinary clinic for bone metastases. *J Pain Symptom Manage*, 16:171-178, 1998.
- 17) **Kapural L, Mekhail N:** Radiofrequency ablation for chronic pain control. *Curr Pain Headache Rep*, 5:517-525, 2001.
- 18) **Lindner NJ, Ozaki T, Roedel R, Gosheger G, Winkelmann W, Wortler K:** Percutaneous radiofrequency ablation in osteoid osteoma. *J Bone Joint Surg Br*, 83:391-396, 2001.
- 19) **Mirza AN, Fornage BD, Sneige N, et al:** Radiofrequency ablation of solid tumors. *Cancer J*, 7:95-102, 2001.
- 20) **Osti OL, Sebben R:** High-frequency radio-wave ablation of osteoid osteoma in the lumbar spine. *Eur Spine J*, 7:422-425, 1998.
- 21) **Pagura JR, Schnapp M, Passarelli P:** Percutaneous radiofrequency glossopharyngeal rhizotomy for cancer pain. *Appl Neurophysiol*, 46: 154-159, 1983.
- 22) **Parlier-Cuau C, Champsaur P, Nizard R, Hamze B, Laredo JD:** Percutaneous removal of osteoid osteoma. *Radiol Clin North Am*, 36:559-566, 1998.
- 23) **Rosenthal DI, Alexander A, Rosenberg AE, Springfield D:** Ablation of osteoid osteomas with a percutaneously placed electrode: a new procedure. *Radiology*, 183:29-33, 1992.
- 24) **Rosenthal DI, Hornicek FJ, Wolfe MW, Jennings LC, Gebhardt MC, Mankin HJ:** Percutaneous radiofrequency coagulation of osteoid

- osteoma compared with operative treatment. *J Bone Joint Surg Am*, 80:815-821, 1998.
- 25) **Rosenthal DI, Springfield DS, Gebhardt MC, Rosenberg AE, Mankin HJ**: Osteoid osteoma: percutaneous radio-frequency ablation. *Radiology*, 197:451-454, 1995.
- 26) **Rossi S, Di Stasi M, Buscarini E, et al**: Percutaneous radiofrequency interstitial thermal ablation in the treatment of small hepatocellular carcinoma. *Cancer J Sci Am*, 1:73-81, 1995.
- 27) **Solbiati L, Ierace T, Goldberg SN, et al**: Percutaneous US-guided radio-frequency tissue ablation of liver metastases: treatment and follow-up in 16 patients. *Radiology*, 202:195-203, 1997.
- 28) **Sung KS, Seo JG, Ha HC**: CT-guided Percutaneous Thermoablation for the Treatment of Osteoid Osteoma. *The Journal of the Korean Bone and Joint Tumor Society*, 10:88-95, 2004.
- 29) **Tillotson CL, Rosenberg AE, Rosenthal DI**: Controlled thermal injury of bone. Report of a percutaneous technique using radiofrequency electrode and generator. *Invest Radiol*, 24:888-892, 1989.
- 30) **Tong D, Gillick L, Hendrickson FR**: The palliation of symptomatic osseous metastases: final results of the Study by the Radiation Therapy Oncology Group. *Cancer*, 50:893-899, 1982.
- 31) **Twycross RG**: Management of pain in skeletal metastases. *Clin Orthop Relat Res*: 187-196, 1995.
- 32) **Vanderschueren GM, Taminiau AH, Obermann WR, Bloem JL**: Osteoid osteoma: clinical results with thermocoagulation. *Radiology*, 224:82-86, 2002.
- 33) **Wagshal AB, Pires LA, Huang SK**: Management of cardiac arrhythmias with radiofrequency catheter ablation. *Arch Intern Med*, 155:137-147, 1995.
- 34) **Wilkinson HA**: Radiofrequency percutaneous upper-thoracic sympathectomy. Technique and review of indications. *N Engl J Med*, 311:34-36, 1984.
- 35) **Woertler K, Vestring T, Boettner F, Winkelmann W, Heindel W, Lindner N**: Osteoid osteoma: CT-guided percutaneous radiofrequency ablation and follow-up in 47 patients. *J Vasc Interv Radiol*, 12:717-722, 2001.
- 36) **Yamane T, Tateishi A, Cho S, et al**: The effects of hyperthermia on the spinal cord. *Spine*, 17:1386-1391, 1992.
- 37) **Zagoria RJ, Chen MY, Shen P, Levine EA**: Complications from radiofrequency ablation of liver metastases. *Am Surg*, 68:204-209, 2002.