대한방사선의학회지 1999;41: 1127-1132

확산형 다침 고주파 전극을 이용한 간 소작법의 실험적 연구[1]

최동일 · 임효근 · 박종민 · 강보경 · 우지영 · 장현정 · 김승훈 · 이원재 · 박철근[2] · 허진석[3]

목적 : 적출된 돼지 간에서 확산형 다침 고주파 전극을 이용한 간 소작법을 시행하여 각 조건에 따른 소작된 병변의 크기를 알아 임상에 응용하고자 하였다.

대상 및 방법 : 실험에 사용한 고주파 발생 장치는 단극 방식이었다. 외침 직경이15G이고 내부에 각각 4개와 7개의 확산형 갈고리모양 내침을 갖는 두 종류의 전극을 사용하였다 (RITA Medical System, Mountain View, CA). 갈고리 내침을 펼치는 정도, 목표 최고 온도, 소작 시간들을 정한 후 모든 조건을 조합하여 신선한 돼지 간에서 실험하였다. 미리 정해진 조건에 따라 소작된 열성 병변의 최대 직경을 절단면에서 측정하였으며, 그 중 대표성 있는 10개는 조직병리 소견을 관찰하였다.

결과 : 갈고리 내침 4개의 확산형 다침 전극의 경우 갈고리 내침을 3 cm로 펼쳤을 때 공 모양의 열성 병변은 소작 시간이 11분 까지는 설정된 목표 최고 온도가 높을수록, 고주파 발생 시간이 길수록 커졌다. 11분 이후에는 소작된 부위의 크기에 유의한 차이는 없었고, 최대 횡 직경은 3.3 cm였다. 갈고리 내침을 2 cm로 펼치면 크기는 약 2/3로 줄었고, 갈고리 내침을 1 cm로 펼치면 길쭉한 병변이 되었다. 내침이 7개인 다침 전극의 경우 갈고리 내침을 3 cm로 펼쳤을 때 100 ℃에서 소작 시간 14분 까지 고주파 발생 시간이 길수록 병변이 커졌으며, 최대 직경은 4.1 cm였다. 현미경 소견에서 소작 병변은 간 세포의 변성을 보이는 부위가 대부분이었으며, 국소적으로 응고성 괴사가 관찰되었다.

결론 : 확산형 다침 고주파 전극을 이용한 간 소작법은 갈고리모양 내침의 확산 정도, 목표 최고 온도 및 소작 시간에 따라 예견 가능한 다양한 크기의 소작 부위를 만들 수 있었다.

간의 악성 종양에 대한 중재적 시술은 다양하게 발전해 왔다. 경동맥화학색전술(transarterial chemoembolization), 경피적에탄올주입술(percutaneous ethanol injection), 경피적고온식염수주입술(hot saline) 외에도 간질고온치료법(interstitial hyperthermia therapy)으로 고주파(radio-frequency), 마이크로파(microwave) 및 레이저(laser) 등이 사용되고 있다 (1-7). 이들 중 최근에 기술적인 발전으로, 치료되는 열성 병변 크기를 예상할 수 있고 비교적 큰 종양을 치료할 수 있는 확산형 다침 고주파 전극(expandable radio-frequency needle electrode)을 이용한 소작법이 각광을 받고 있으며, 국내에서도 일부 병원에서 임상에 이용되고 있으나 아직까지 소작법에 대한 표준안이 마련되지 않았다 (8,9).

이에 저자들은 적출된 돼지 간을 재료로 확산형 다침 고주파 전극을 이용한 간 소작법을 시행하였고, 각 조건 마다 소작된 병변의 크기와 병리 소견을 알아보아 실제 임상적 시술에 도움이 되고자 이 실험을 하였다.

대상 및 방법

실험에 사용한 고주파 소작 기계는 확산형 다침 고주파 전극과 단극 방식의 고주파 발생 장치로 이루어져 있다 (Radiofre- quency Interstitial Thermal Ablation Medical System, Mountain View, CA). 고주파 발생 장치는 50 watts(W)가 최대전력이며 480kHz 의 고주파를 발생시킨다. 고주파 발생기에는 현재 사용되는 전력, 조직 교류저항(Impedance), 갈고리모양 내침들 각각의 온도가 표시된다. 4개의 갈고리 내침을 가진 확산형 외침 전극은 굵기가1.9 mm (15 gauge;G)이며, 끝 부분 1 cm 만 남겨놓고 절연되어 있다. 끝 부분에는 미리 우산살 모양으로 성형되어 있는 4개의 갈고리 내침들이 들락 날락 할 수 있게 되어 있는데, 조절은 손잡이에서 할 수 있다. 가장 많이 펼치면 3 cm까지 펼쳐지며, 각

[1]성균관의대 삼성서울병원 진단방사선과학교실
[2]성균관의대 삼성서울병원 진단병리학교실
[3]성균관의대 삼성서울병원 일반외과학교실
이 연구는 삼성서울병원 소화기센터 임상연구비(GI-99-3)의 보조로 이루어 졌음.
이 논문은 1999년 7월 27일 접수하여 1999년 9월 30일에 채택되었음.

각의 갈고리 내침 끝에는 온도 측정장치가 달려 있어 갈고리 내침이 위치한 부위 조직의 온도를 잴 수 있다. 7개의 내침을 가진 확산형 다침 전극도 굵기는15G이며, 절연이 안된 끝 부분은 0.7 cm이다. 역시 들락 날락 할 수 있는7개의 내침은 길게 나오는 곧은 중심 내침과 60° 각도의 우산살 모양의 갈고리 내침 6개로 되어 있다. 온도는 중심 내침과 갈고리 내침 3개에서 측정된다 (Fig. 1).

도살한지 하루이내의 신선한 돼지 간을 소작 실험에 사용하였다. 실온에서 약 1시간을 둔 돼지 간이 20 ℃가 된 후 실험을 시작하였다. 먼저 갈고리 내침이 4개인 다침 전극의 경우 갈고리 내침을 최대로 3 cm까지 펼친 후, 목표 최고 온도를 각각 60 ℃, 70 ℃, 80 ℃, 90 ℃, 100 ℃로 조절하였다(고주파 발생 장치의 조절 방식 중 “Highest of all”). 또 고주파 발생 시간을 각각 5분, 8분, 11분, 14분, 17분으로 정했다. 소작이 끝난 다음 돼지 간을 외과용 칼로 종축으로 잘라 소작되어 희게 변색된 부위의 단면 최대 횡축을 자로 0.1 cm 단위까지 측정하였다. 이러한 실험은 갈고리 내침을 2 cm , 1 cm로 펼친 후 반복하였다. 다른 실험으로 발생전력을 10W, 20W, 30 W, 40W, 50W로 고정시키고 각 시간별로 소작을 시행하였다. 내침이 7개인 다침 전극의 경우 갈고리 내침을 3 cm으로 펼친 후 목표 최고 온도와 고주파 발생 시간은 갈고리 내침 4개의 다침 전극과 같은 조건으로 실험을 하였다.

돼지 간 중 대표성이 있는 10개의 표본들(목표 최고 온도 60 ℃, 70 ℃, 80 ℃, 90 ℃의 14분 소작 각 하나씩, 목표 최고 온도 100 ℃ 4개, 고정 발생전력10W 2개, 모두 갈고리 내침이 4개인 다침 전극 이용)에 대해서는 병리조직학적 검사를 하였다. Hematoxylin-eosin 염색을 한 후, 광학현미경으로 한 명의 경험 많은 병리과 의사가 관찰하였다.

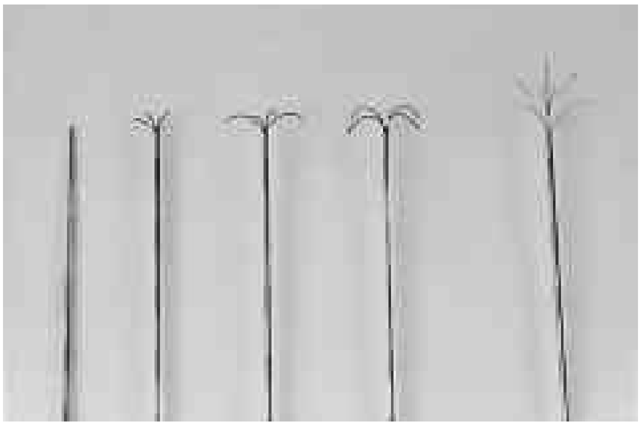

Fig. 1. Photograph of an expandable radio-frequency needle electrodes with four retractable lateral hooks before and after deployment of hooks of varying diameter (first four needles). The needle electrode is 1.9 mm in external diameter, and has exposed active tip of 1.0 cm and four retractable lateral hooks. The fifth needle electrode has seven retractable hooks deployed fully (3 cm).

결　　과

갈고리 4개짜리 다침 전극의 경우 갈고리 내침을 3 cm로 펼치고 각각의 온도와 시간에 맞게 고주파 소작을 시행했을 때 공 모양 혹은 자루 모양의 소작 병변이 생겼다 (Fig. 2). 병변 횡축 절단면의 최대 직경은 목표 최고 온도가 높을수록 고주파 발생 시간이 길수록 커졌다 (Fig. 3). 90 ℃ 와 100 ℃에서 소작 시간이 11분까지는 시간에 비례해 커지나 11분 이후에는 병변 크기는 비슷하였다. 최대 크기는 90 ℃ 와 100 ℃에서 11분 소작 시 생긴 3.3 cm였다. 외침 끝에서 손잡이 쪽으로 1.5 cm, 외침 앞쪽으로 1.8 cm이 소작되었다. 소작 병변들의 횡 직경과 종 직경의 차이는 직경의 10% 이내였다. 또, 60 ℃의 목표 온도로 5분 소작한 병변은 희게 구어진 곳이 없고 경계가 매우 불분명하게 붉은 간의 색이 약간 짙어지는 정도여서 횡직경을 잴 수 없었다. 시간별 온도곡선을 그려 보면 1분 만에

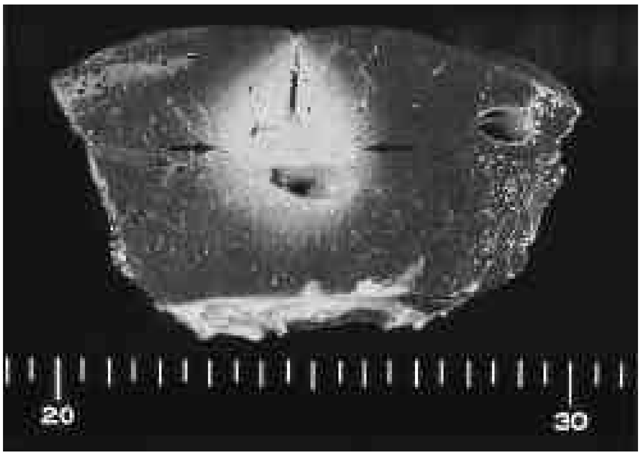

Fig. 2. Photograph of specimen shows thermally ablated lesion measuring 3 cm in diameter (arrows). This thermal lesion was produced with the hooks deployed at 3 cm. Temperatures in each hook ranged between 89 ℃ and 101 ℃ (set temperature: 100 ℃) and ablation procedure was performed for 11 minutes.

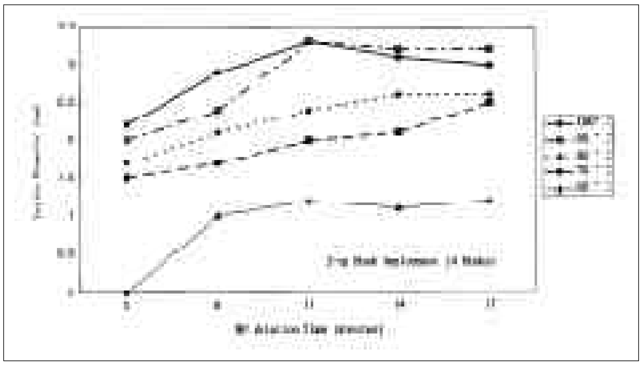

Fig. 3. Relationship between the size of ablated tissue and ablation time at 3-cm hook deployment with four hook electrode. At 90 ℃ and 100 ℃, the size of ablated tissue increased gradually until 11 minutes as ablation time increased and maintained after 11 minutes.

목표 온도에 거의 도달했다. 목표 최고 온도를 60 ℃에서 100 °C까지 설정해도 4개의 갈고리 내침 중 1개만 목표 온도에 도달하면 고주파 발생전력이 더 늘지 않으므로 실제로 측정되는 나머지 갈고리 내침들의 온도는 안정화 된 후에도 목표 온도의 10 ℃정도 아래에서 유지되었다 (Fig. 4, 고주파 발생 장치의 조절 방식 중 "Highest of all"). 실제 사용전력은 설정된 목표 온도가 증가할수록 커졌다 (Fig. 5).

4개의 갈고리 내침을 2 cm로 펼쳐 소작하면, 병변의 크기가 최대 2.3 cm로 내침을 3 cm로 펼쳐 소작할 때에 비해 소작 시간이 같을 경우 약2/3정도로 줄어들었다 (Fig. 6). 또 8분까지는 시간에 따라 병변 크기가 커지나 그 후부터는 비슷하였다. 갈고리 내침을 1 cm로 펼치면, 병변의 횡 직경보다 종 직경이 1.5배에서 2배정도로 길어져 다침 전극 방향으로 길쭉한 모양의 병변이 되었다. 따라서 횡 직경이 시간이나 온도에 비례하는 경향이 덜했다 (Fig. 7).

목표 최고 온도를 정하지 않고 고주파 발생전력을 일정하게 고정하는 실험은 4개의 갈고리 내침을 3 cm로 펼친 상태에서만 하였다. 최대 출력을10W로 고정 하고 1분, 2분 소작할 때 갈고리 내침 끝의 위치에 맞추어 점점이 흰색으로 구어졌다. 3분, 4분, 5분 소작 시 종축 단면이 원 모양이 아니라 갈고리 내침 끝을 연결하는 마름모 모양으로 구어졌다. 이때 각 횡 직경은 1.2 cm, 1.6 cm, 2.3 cm였다. 8분, 11분, 14분, 17분 소작 시 대체로 공 모양의 횡 직경이 2.3 cm에서 2.8 cm였다. 20 W로 전력을 고정할 때는 4.7분에서 갈고리 내침의 온도가 120 ℃를 넘어가면서 에러가 발생하고 기계가 멈추었다. 다시 시작을 해도 금방 120 ℃에 도달하며 멈추었고, 그 때 병변의 횡 직경은 2.3 cm였다. 30W 때도 같은 현상이 발생하였는데, 2.3분에서 멈추었고 횡 직경은 2.4 cm였다. 40W, 50W는 1분 이내에 멈추었다.

내침 7개짜리 다침 전극의 경우 갈고리 내침을 3 cm로 펼쳤을 때 소작 병변은 횡 직경보다 종 직경이 약간 더 크거나 비슷했다. 역시 100 ℃에서 소작 시간이 14분 까지는 최고 온도가 높을수록 고주파 발생 시간이 길수록 소작 병변의 크기가 커졌으며, 그 이후로는 비슷했다. 최대 횡 직경은 14분에서 4.1 cm였다 (Fig. 8).

조직병리 검사에서 육안적으로 소작된 병변들은 간세포의 변성(degeneration)을 보였다. 일부 염증세포 들의 침윤을 동반한 응고성(허혈성) 조직괴사는 10개의 서로 다른 조건의 조

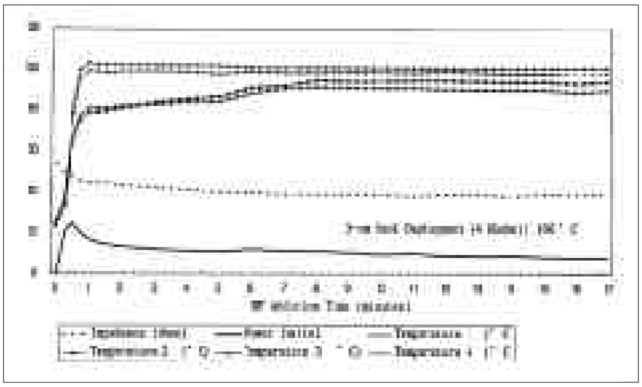

Fig. 4. Values of ablation technical parameters plotted against the radio-frequency ablation time at 3-cm hook deployment with four hook electrode.

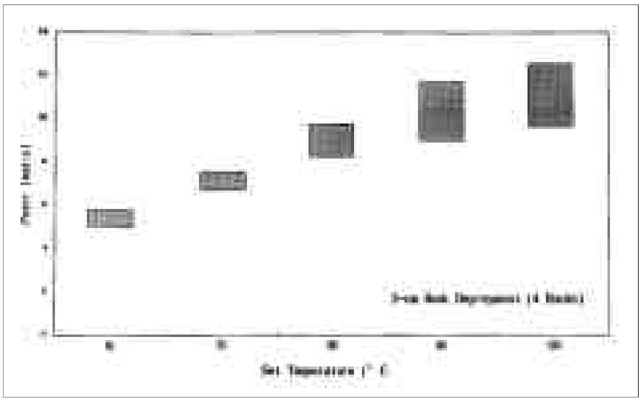

Fig. 5. The maximal and minimal power actually supplied by radio-frequency generator after stabilization at 3-cm hook deployment with four hook electrode. The powers increased as set temperatures increased.

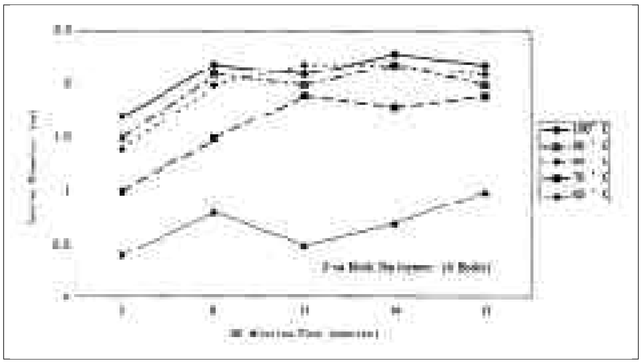

Fig. 6. Size of ablated tissue plotted against the ablation time at 2-cm hook deployment with four hook electrode. The sizes of ablated tissues were about 2/3 of those at 3-cm hook deployment and the sizes maintained after 8 minutes at the set temperatures of 80 ℃, 90 ℃ and 100 ℃.

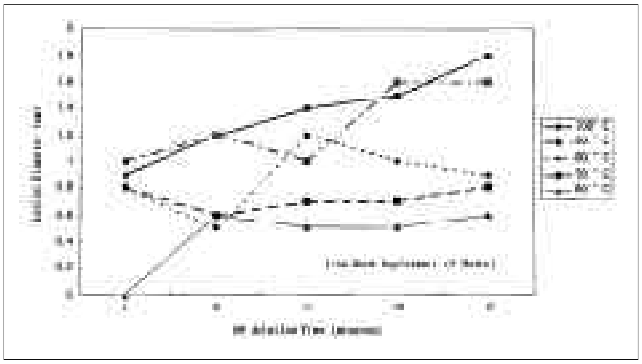

Fig. 7. Size of ablated tissue plotted against the ablation time at 1-cm hook deployment with four hook electrode. The sizes of the lesion had poor relationship with the ablation time and set temperature.

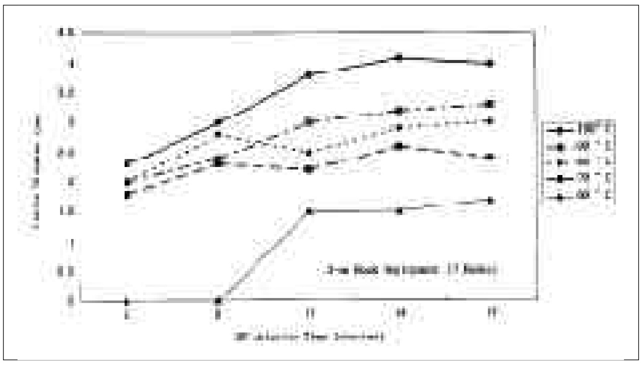

Fig. 8. Relationship between the size of ablated tissue and ablation time at 3-cm hook deployment of seven hook-shaped electrode. At 100 ℃, the size of ablated tissue increased gradually until 14 minutes as ablation time increased and maintained after 14 minutes.

직 중 3개에서만 보였으며, 그 크기도 전체 병변의 작은 부분(약1/10-1/3정도)만을 차지했다. 목표 최고 온도 60 ℃, 70 ℃, 90 ℃ 의 조직에서 응고성 조직괴사가 보였으며, 100 ℃의 조직 4개에서는 보이지 않았다. 변성된 조직 안에 핵농축(nuclear pyknosis)이 드물게 보였다. 침 자국 주위에 타버린(charring) 조직은 보이지 않았다 (Fig. 9).

고 찰

악성 간 종양의 근본적인 치료법은 수술이지만 많은 환자들은 여러 가지 이유로 수술을 할 수 없다. 작은 크기의 종양들이 서너 개 이하로 있을 때와 동맥화학색전술 시 리피오돌의 침착이 덜 되는 작은 결절들이 에탄올 등의 경피적주입술과 간질고온치료법의 대상이 된다. 우리나라를 비롯하여 세계적으로 현재까지 가장 많이 사용되는 경피적에탄올주입술의 단점은 작은 크기의 종양에도 여러 번 시술을 해야 하므로 입원기간이 길어지고, 굵은 혈관이 있으면 에탄올이 혈류로 역류해 환자에게 부작용과 함께 적절한 양의 에탄올이 간 종양 속에 머물지 못하고, 환자에게 통증을 일으키는 경우가 있고, 종양의 피막이 없으면 에탄올이 종양 밖으로 흘러가 정상조직에 불규칙한 병변을 만들고, 드물지만 침을 따라 전이가 되기도 한다 (10,11).

간질고온치료법의 하나인 고주파치료법의 원리는 절연이 안 된 전극 끝에서 발생한 고주파가 전류 방향을 계속 바꾸어 주변 조직의 이온을 흔들고(agitation) 마찰열이 생기는 것이다. 온도가 높아지면 세포들이 죽고 응고성 괴사 조직이 된다 (12). 고주파치료법에 대한 많은 연구들이 행해졌고, 간 종양의 치료에 매우 고무적인 임상 추적 결과들도 보고되었다 (13-16).

초기의 고전적인 단극 방식의 고주파 전극은 소작된 병변의 직경이 1.6 cm로 한정되어 있어서 실제 치료 시 여러 번 전극을 삽입해야 했다 (17). 치료되는 열성 병변의 크기를 크게 하려는 노력으로 생리식염수를 전극을 따라 같이 주입한다든지, 간 혈류를 줄이는 약제를 사용하는 방법이 소개되었다 (15,16,18-20). 생리식염수를 같이 주입하면 치료되는 크기는 커지나 모양이 매우 불규칙 해지고 따라서 정확한 범위의

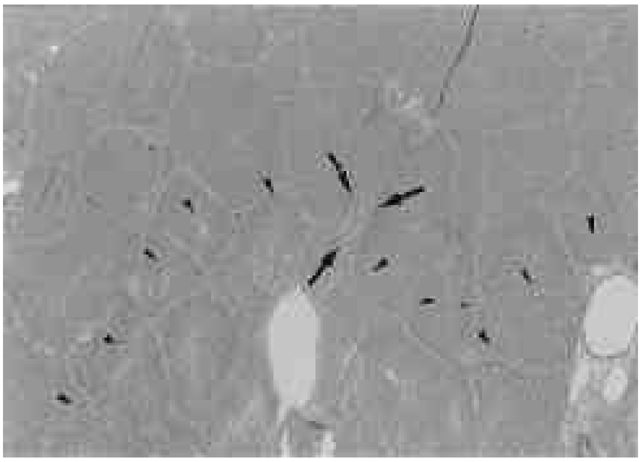

Fig. 9. Photomicrograph (H & E stain, x40) of specimen ablated with four hook-shaped electrode. Set temperature was 70 ℃ and diameter of hooks deployed was 2 cm. There is wide zone of mildly altered arrangement of hepatocytes representing degeneration (arrowheads). Also noted is a focal area of coagulation necrosis (arrows).

치료가 힘들어진다. 고주파치료법의 가장 큰 장애가 되는 간 혈류를 줄이는 약제를 간 기능이 떨어진 간 경화 환자들에게 사용하기는 어렵다. 또 단극 방식이 아닌 쌍극 방식의 고주파 치료기를 비롯하여 두개 이상의 전극을 삽입하는 방법이 있는데, 기술적인 어려움과 함께 주로 사각형 모양의 열성 병변의 중앙 부위가 융합이 덜 될 가능성도 있다 (13,21,22). 이번 실험에 사용한 갈고리 내침 4개의 확산형 다침 전극은 한번의 삽입으로 3 cm 크기의 열성 병변을 실제 종양과 닮은 공 모양으로 만든다는 점에서 큰 관심을 불러 일으키고 있다 (8,9). 또, 최근에 개발되어 시제품이 나오기 시작한 내침이 7개인 다침 전극의 경우는 4 cm 크기의 소작 병변까지도 가능하다.

이번 실험에서는 살아 있는 동물 대신 적출된 간을 실험 재료로 사용하였는데, 적출 간을 쓰면 생체에 있는 혈관들에 의한 " 열 웅덩이(heat-sink) " 효과가 없어 쉽게 주변 조직으로 열이 퍼지고 소작 병변이 커질 것으로 생각되었다 (19). 그러나 과거의 보고들에서는 적출 간과 생체 간 사이에 거의 같은 병변이 생긴다고 하였다 (7,23). 따라서 이 실험에서는 다루기 쉽고 여러 조건들을 많이 반복하여 실험할 수 있는 적출 간을 이용하였다.

이 실험에서는 소작 부위의 경계를 희게 구어진 곳까지로 생각하였는데, 실제로는 희게 변색된 경계의 바로 바깥쪽에는 40 ℃ 이상이 되어 세포 괴사가 된 곳도 있겠으나 실제 측정이 불가능하여 과거의 논문과 같이 눈으로 보아 그 경계를 확인하였다. 갈고리 내침이 4개짜리의 경우 3 cm로 갈고리 내침을 펼친 후 90 ℃ 나 100 ℃에서 11분 소작을 했을 때 3 cm가 넘는 가장 큰 소작 부위를 얻을 수 있었다. 다른 보고에서도 90 ℃와 115 ℃ 사이에서 가장 큰 열성 병변을 얻을 수 있다고 하였다 (8). 또, 어떤 보고에서는 온도가 100 ℃에 이를 때 조직 교류저항이 갑자기 올라가 치료 병변 크기가 더 늘어나지 않는다고 하였다 (24). 저자들이 경험한 여러 임상 예에서 간

피막 가까이에 있는 간암의 경우 목표 최고 온도가 100 ℃일 때는 통증을 느끼던 환자가 90 ℃로 낮추면 통증을 느끼지 않았고 종양은 효과적으로 치료가 되었다. 이번 실험 결과에서도 소작 시간이 11분 이상이 되면 90 ℃ 와 100 ℃의 경우 소작 병변의 크기에 차이가 없었다. 따라서 고주파 치료 도중 갈고리 내침 주위의 온도가 일단 90 ℃가 넘을 경우 환자의 통증을 줄이면서도 효과적인 소작을 할 수 있을 것으로 기대된다.

60 ℃에서는 소작 효과가 현저히 떨어지는 결과가 나왔다. 임상 시술 시 갈고리 내침의 온도 중 한 군데 이상이 60 ℃정도에서 오르지 않으면 혈관이나 담관 등에 박힌 것으로 보고 다시 갈고리 내침을 접은 후 전극을 약간 돌려 내침을 폈다. 그리고 공 모양이 아닌 종양이나 큰 종양의 끝 부분 시술 시작은 소작 부위를 얻고자 할 때는 갈고리 내침을 2 cm나 1 cm로 작게 펼친 후 얻은 실험 결과가 도움이 됐다.

목표 최고 온도를 정하는 방법이 아니라 고주파 발생전력을 일정하게 하는 실험에서 10W 고정 시에는 긴 소작 시간에도 불구하고 작은 소작 병변이 생겼으며 20W 고정 시에는 5분 정도의 소작 시간에 병변의 크기는 2.3 cm이어서 목표 최고 온도를 100 ℃로 고정한 실험의 결과와 비슷했다. 따라서, 소작 시간을 짧게 하려고 할 때10W 나 20W 고정이 온도 고정 방법보다 나은 점이 없었다. 그러나 30W 고정 시에는 2.3분이라는 짧은 시간에 2.4 cm 크기의 소작 병변을 만들 수 있었다.

초창기 고주파치료의 열성 병변은 전극 주위가 타면서 (charring) 더 이상 병변이 커지지 못했다. 최근 고주파치료기는 교류저항을 50 ohms 이하로 유지하면서 타는 부분이 거의 생기지 않게 되어 이것이 소작 병변을 크게 하는데 기여하였다 (8). 목표 최고 온도 60 ℃, 70 ℃의 낮은 온도에서 뚜렷하지 않은 응고성 괴사 조직이 높은 온도에서는 잘 보였다는 과거의 조직병리 보고와 달리 온도에 따른 차이 없이 괴사조직은 작고 변성 조직의 범위가 컸다 (21,23). 또한, 응고성 괴사조직 둘레의 간 조직 울혈로 이루어진 얇은 띠도 확실하지 않았다. 이러한 차이는 고주파 소작기계의 차이가 원인일 것으로 추측된다. 응고성 국소 괴사가 조직 변성 부위의 중앙이 아니라 가장자리에서 보인 경우가 있었는데 (Fig. 9), 그 이유는 괴사 부위가 갈고리 내침이 있던 곳이었기 때문으로 추정된다. 즉, 갈고리 내침을 중심으로 안쪽이 소작된 조직 변성 부위, 바깥쪽이 정상 부위이고 내침이 있던 자리에 국소 괴사가 생겼다면 설명할 수 있다.

결론적으로, 확산형 다침 고주파 전극을 이용한 간 소작법은 이 실험에서 갈고리 내침의 확산 정도, 목표 최고 온도 및 소작 시간에 따라 크기 조절과 예측이 가능한 열성 병변을 얻을 수 있어서 효과적인 경피적 간 종양 치료법의 하나가 될 것으로 생각하며, 이 실험의 결과가 임상 적용에 기초적인 자료가 되리라 본다.

참 고 문 헌

1. Takayasu K, Moriyama N, Muramatsu Y, et al. Hepatic arterial emboliztion for hepatocellular carcinoma. *Radiology* 1984;150:661-665
2. Stuart K, Stokes K, Jenkins R, et al. Treatment of hepatocellular carcinoma using doxorubicin/ethiodized oil/gelatin powder chemoemboliztion. *Cancer* 1993;72:3202-3209
3. Livraghi T, Bolondi L, Lazzaroni S, et al. Percutaneous ethanol injection in the treatment of hepatocellular carcinoma in cirrhosis: a study in 207 patients. *Cance*r 1992;69:925-929
4. Honda N, Guo Q, Uchida H, Ohishi H, Hiasa Y. Percutaneous hot saline injection therapy for hepatic tumors: an alternative to percutaneous ethanol injection therapy. *Radiology* 1994;190:53-57
5. Rossi S, Fornari F, Buscarini L. Percutaneous ultrasound-guided radiofrequency electrocautery for the treatment of small hepatocelluar carcinoma. *J Intervent Radiol* 1993;8:97-103
6. Murakami R, Yoshimatsu S, Yamashita Y, Matsukawa T, Takahashi M, Sagara K. Treatment of hepatocelluar carcinoma: value of percutaneous microwave coagulation. *AJR* 1995;164:1159-1164
7. Amin Z, Donald JJ, Masters A, et al. Hepatic metastases: interstitial laser photocoagulation with real-time sonography monitoring and dynamic CT evaluation of treatment. *Radiology* 1993;187:339-347
8. Rossi S, Buscarini E, Garbagnati F, et al. Percutaneous treatment of small hepatic tumors by an expandable RF needle electrode. *AJR* 1998;170:1015-1022
9. Patterson EJ, Scudamore CH, Owen DA, Nagy AG, Buczkowski AK. Radiofrequency ablation of porcine liver in vivo: effects of blood flow and treatment time on lesion size. *Ann Surg* 1998;227:559-565
10. D 'Agostino HB, Solinas A. Percutaneous ablation therapy for hepatocelluar carcinomas. *AJR* 1995;164:1165-1167
11. Livraghi T, Goldberg SN, Lazzaroni S, Meloni F, Solbiati L, Gazelle GS. Small hepatocelluar carcinoma: treatment with radio-frequency ablation versus ethanol injection. *Radiology* 1999;210:655-661
12. McGahan JP, Browning PD, Brock JM, Tesluk H. Hepatic ablation using radiofrequency elctrocautery. *Invest Radiol* 1990;25:267-270
13. Rossi S, Di Stasi M, Buscarini E, et al. Percutaneous RF interstitial thermal ablation in the treatment of hepatic cancer. *AJR* 1996;167:759-768
14. 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* 1997;202:195-203
15. Livraghi T, Goldberg SN, Monti F, et al. Saline-enhanced radio-frequency tissue ablation in the treatment of liver metastases. *Radiology* 1997;202:205-210
16. Solbiati L, Goldberg SN, Ierace T, et al. Hepatic metastases: percutaneous radio-frequency ablation with cooled-tip electrodes. *Radiology* 1997;205:367-373
17. Goldberg SN, Gazelle GS, Dawson SL, Rittman WJ, Mueller PR, Rosenthal DI. Tissue ablation with radiofrequency: effect of probe size, gauge, duration, and temperature on lesion volume. *Acad Radiol* 1995;2:399-404
18. 신홍섭, 오주형, 윤엽등. 소간에서생리식염수로보강된고주파전기소작술. *대한방사선의학회지* 1997;37:311-315
19. Goldberg SN, Hahn PF, Tanabe KK, et al. Percutaneous radiofrequency tissue ablation: does perfusion-mediated tissue cooling limit coagulation necrosis? *J Vasc Interv Radiol* 1998;9:101-111
20. Goldberg SN, Hahn PF, Halpern EF, Fogle RM, Gazelle GS. Radio-frequency tissue ablation: effect of phamacologic modulation of blood flow on coagulation diameter. *Radiology* 1998;209:761-767
21. McGahan JP, Gu WZ, Brock JM, Tesluk H, Jones CD. Hepatic ablation using bipolar radiofrequency elctrocautery. *Acad Radiol* 1996;3:418-422
22. Goldberg SN, Solbiati L, Hahn PF, et al. Large-volume tissue ablation with radio frequency by using a clustered, internally cooled electrode technique: laboratory and clinical experience in liver

metastases. *Radiology* 1998;209:371-379
23. McGahan JP, Brock JM, Tesluk H, Gu WZ, Schneider P, Browning PD. Hepatic ablation with use of radio-frequency elctrocautery in the animal model. *J Vasc Interv Radiol* 1992;3:291-297
24. Haines DE, Verow AF. Observations on the electrode-tissue interface temperature and effect on electrical impedence during radiofrequency ablation of ventricular myocardium. *Circulation* 1990;82: 1034-1038

J Korean Radiol Soc 1999;41:1127-1132

An Experimental Study on Hepatic Ablation Using an Expandable Radio-Frequency Needle Electrode[1]

Dongil Choi, M.D., Hyo Keun Lim, M.D., Jong Min Park, M.D., Bo Kyung Kang, M.D., Ji Young Woo, M.D., Hyun-Jung Jang, M.D., Seung Hoon Kim, M.D., Won Jae Lee, M.D., Cheol Keun Park, M.D.[2], Jin-Seok Heo, M.D.[3]

[1]*Department of Radiology Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine*
[2]*Department of Pathology, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine*
[3]*Department of General Surgery, Samsung Medical Center, Sungkyunkwan University School of Medicine*

Purpose : The purpose of this study was to determine the factors influencing on the size of thermal lesions after ablation using an expandable radio-frequency needle electrode in porcine liver.
Materials and Methods : Ablation procedures involved the use of a monopolar radio-frequency generator and 15-G needle electrodes with four and seven retractable hooks (RITA Medical System, Mountain View, Cal., U.S.A.). The ablation protocol in fresh porcine liver comprised of combinations of varying hook deployment, highest set temperature, and ablation time. Following ablation, the maximum diameter of all thermal lesions was measured on a longitudinal section of the specimen. Ten representive lesions were examined by an experienced pathologist.
Results : At 3-cm hook deployment of the needle electrode with four lateral hooks, the size of spherical thermal lesions increased substantially with increases in the highest set temperature and ablation time until 11 minutes. After 11 minutes lesion size remained similar, with a maximum diameter of 3.3 cm. At 2-cm hook deployment, sizes decreased to about 2/3 of those at 3 cm, and at 1-cm hook deployment lesions were oblong. At 3-cm hook deployment of a needle electrode with seven hooks, the size of thermal lesions increased with increasing ablation time until 14 minutes, and the maximum diameter was 4.1 cm. Microscopic examination showed a wide zone of degeneration and focal coagulation necrosis.
Conclusion : The size of thermal lesions produced by the use of an expandable radio-frequency needle electrode were predictable, varying according to degree of hook deployment, highest set temperature, and ablation time.

Index words : Animals
Liver, interventional procedure
Radiofrequency (RF) ablation

Address reprint requests to : Hyo Keun Lim, M.D.,Department of Radiology Samsung Medical Center
#50, Ilwon-Dong, Kangnam-Ku Seoul 135-710, Korea.
Tel: 82-2-3410-2505, 2518