대한방사선의학회지 1999;41:685-692

간내혈관이 극초단파 응고의 크기와 모양에 미치는 영향

김영환 · 박동만 · 김지영 · 차순주 · 허감 · 오용호[2]

목적 : 간내혈관이 극초단파 응고부의 크기 및 모양에 미치는 영향을 알아 보고자 하였다.
대상 및 방법 : 극초단파 응고술은 출력 60W, 응고시간 60초로 하였다. 첫번째 실험은 적출된 다섯개의 돼지간을 이용한 생체외 실험으로 응고부의 크기를 측정하고 이것이 일정하게 재현되는지를 살펴보았다. 두번째 실험은 두마리의 돼지를 이용한 생체 실험으로 극초단파 응고부 주변에 위치하는 혈관이 응고부의 모양에 미치는 영향을 육안적 및 현미경적인 관찰을 통하여 알아보았다.
결과 : 첫번째 실험 결과 응고부의 최대 횡경은 평균 1.4 cm ±0.1 이었으며 1.3 - 1.5 cm사이에 분포하였다. 두 번째 실험에서 응고부의 최대 횡경의 평균은 1.5 cm ± 0.1 이었으며 1.3 - 1.7 cm 사이에 분포하였다. 응고부의 둥근 정도를 나타내는 shape factor는 평균 0.8로 원형에 가까웠으나 0.58에서 0.92사이에 넓게 분포하였으며, 이는 응고부 주변에 위치하는 혈관에 의한 냉각효과로 인한 것임을 알 수 있었다. 가장자리에서 1 mm 이상의 모양의 변형을 일으키는 혈관의 냉각효과는 간정맥에 비해 문맥이 더 컸으며 문맥의 최소 직경은 0.1 mm 이었다.
결론 : 극초단파 응고술은 응고부 주변에 혈관이 위치하지 않는 경우에 있어서는 경계가 명확하고 일정한 크기의 응고부를 만들지만, 응고부 주위에 혈관이 있는 경우 혈관의 크기, 종류, 위치에 영향을 받아 불균일한 모양과 크기로 나타날 수 있으므로 혈관과 인접한 악성 종양을 치료할 때 유의하여야 할 것으로 사료되었다.

간의 악성 종양의 치료에 대한 국소 요법으로 경피적 에탄올 주입요법은 간암의 치료에 단독으로 혹은 간동맥 색전술과 병행한 치료에 유용하게 사용되어 왔고(1-3), 간 전이암의 치료에 있어서도 제한된 보고이기는 하나 효과적인 치료 성적을 얻었다고 보고되었다(4). 그러나 알코올이 피막이나 중격을 가진 간암이나 경성 간암, 전이암의 경우에 있어서 종괴 전체에 걸쳐서 균일하게 펴져 나가지 않아 부분적으로 종양이 남아 있어 치료가 불충분해진다는 단점이 제기되고 있어(5) 새로운 국소 치료요법의 출현이 요구되는 상황이다.

극초단파는 고주파 또는 레이저처럼 전자기파의 한 스펙트럼으로 기전은 차이가 있으나 조직과 반응하여 열을 발생하여 결과적으로 열 응고괴사를 유발시키며, 치료 부위의 크기와 모양이 균일하고 예측 가능하며 재현성을 가질 것이라는 기대와 함께 침습성이 적은 국소 치료요법의 한 분야로 대두되고 있다. 극초단파를 이용한 열 치료방법에 있어서 응고 병소의 크기와 모양이 간내혈관에 의하여 직간접적으로 영향을 받는다는 사실이 여러 연구자에 의하여 보고되었으나(6-12) 그 정도에 대한 정량적인 연구는 없는 것이 현실이다. 본 실험은 적출된 돼지 간을 이용한 생체 외 실험과 혈관 인접성을 증명하기 위한 생체실험 등 두 부분으로 구성 되어 있으며 이와 같은 일련의 실험을 통하여 간내혈관이 극초단파 응고부의 크기 및 모양에 미치는 영향을 육안적 소견과 현미경적 소견을 중심으로 정량적으로 살펴 보아 임상적 응용에 도움을 주고자 하였다.

[1]인제대학교 의과대학 상계백병원 진단방사선과학교실
[2]울산대학교 의과대학 서울중앙병원 진단방사선과학교실
이 논문은 1999년 3월 30일 접수하여 1999년 7월 30일에 채택되었음.

재료 및 연구 방법

실험재료 및 시술방법

가. 생체 외 실험

적출된 지 12시간 이내의 신선한 돼지 간 다섯 개를 이용하였다. 돼지 간은 자연 괴사를 지연시키기 위하여 도축장에서 적출하자마자 4 ℃ 내외의 아이스박스에 담아 실험실로 운반하였으며 시술 1-2시간 전에 상온에 노출시켰다. 응고부의 열손상이 서로 중첩되지 않도록 최소 5 cm 이상의 간격을 두어 모두 10번의 응고술을 시행하였다. 응고 시행 후 초음파 유도하에 전극침의 길이 방향으로 절개를 하여 육안으로 열 변화가 있는 부위의 최대 횡경과 길이를 측정하였다.

나. 생체 실험

실험 전 24시간 동안 금식 시킨 약 25-30 kg 정도의 집 돼지 2마리를 이용하였다. 돼지의 마취를 위하여 Zoletil 50(125 mg tiletamine and 125 mg zolazepam, Virbac, France)파우다를 5 ml 용제에 녹인 후 0.2 ml/kg 정도의 용량으로하여 1 ml 를 근주하여 마취 유도를 시킨 뒤 귀 정맥을 이용하여 나머지 양을 주입하였다. 마취 후 초음파 유도하에 경피적인 방법으로 전극침의 중심이 초음파 검사상 관찰이 가능한 혈관으로부터 1 cm 정도 떨어진 부위에 위치하도록 하였으며 혈관을 직접 관통하지 않도록 주의하였다. 열 손상 부위가 서로 중첩이 되지 않도록 1 마리 당 6곳에 응고술을 시행하였다. 시술 후 응고부의 조직학적 변화를 명확하게 보기 위하여 24시간 동안 사육 후 돼지 간을 적출하였다. 돼지 두 마리에서 모두 12곳에 응고술을 시행하였으나 2곳은 전극침의 중심이 간 표면에 위치하여 정확한 크기의 계측이 어려워 실험에서 제외하였고, 나머지 10개의 표본으로 전극침의 경로에 대하여 수직 방향으로 5 - 8 mm 간격으로 조직을 절편하였다. 조직 절개 후 횡경이 가장 큰 부위를 선정하여 최대 횡경을 측정하였으며, 염색 과정을 거친 후 응고부의 가장자리의 불규칙한 정도를 알기 위하여 shape factor(shape factor 는 완전한 원형인 경우 1이며 가장자리의 굴곡이 심할수록 1보다 작게 나온다 [Shape factor = $4 \cdot \pi$ area/ perimeter^2 ; π= 원주율, area = 면적, perimeter = 둘레의 길이])를 구하였다. Shape factor는 전극침에 대해 횡축으로 절개한 35개의 표본 중 1:1 병리 표본에서 응고부의 전체가 완전하게 보존되었던 25예 만을 대상으로 구하였다. 혈관과 Shape factor와의 관계를 알기 위하여 응고부의 가장자리에 위치하는 혈관과 가장자리로부터 1.5 mm이내에 위치하는 혈관으로 나누어 Lemons 등(13)이 열적 비평형을 일으키는 최소 혈관의 크기로 제시한 문맥 0.1 mm , 간정맥 0.4 mm 이상의 혈관을 광학 현미경으로 관찰하여 종류, 숫자, 크기, 혈전 유무를 살펴보았다. 또한 횡으로 절개한 35개의 1:1 병리 표본을 대상으로 가장자리에 1 mm 이상으로 움푹 들어간 부위를 40배율의 광학 현미경으로 관찰하여 그 원인을 움푹 들어간 부위의 내부에 위치하는 혈관 유무, 종류, 동반된 혈전 유무를 중심으로 살펴보았으며 혈관의 단면적과 움푹 들어간 부위의 전체 면적의 비를 구하였다.

실험 기기의 물리적인 조건

극초단파 조직 응고기는 2450MHz 의 주파수를 갖는 Microtaze HSE-5M(Nippon Shoji Kaiwa.Ltd, Osaka, Japan)을 사용하였으며 전류는 15 mA, 출력은 60 W로 고정 후 60초간 응고를 시행하였다. 응고에 사용한 전극침(needle type electrode)의 굵기는 약 16 G(1.65 mm)이며 내부 도체와 외부 도체가 절연물질로 분리된 채로 축이 같은 동축의 케이블로, 전극침의 선단에 약 2 mm 두께의 절연 물질을 사이에 두고 있었다(Fig.1). 전극침 삽입을 위한 유도 카테타는 약 14 G 굵기이며 유도 카테타에 전극침을 삽입하였을 때 전극침의 선단은 유도 카테타의 끝으로 부터 약 2.5 cm 노출되었다.

병리 표본의 처리

시술이 끝난 후 표본을 절개하여 응고부의 범위는 육안적으로 판단하여 0.05 mm 까지 측정 가능한 버어니어캘리퍼스를 이용하여 크기를 측정하였다. 표본에 대한 사진 촬영이 끝난 후 10 % 중성 포르말린에 고정시킨 후 탈수 과정을 거쳐서 파라핀에 포매하였다. 극초단파 응고술에 의해 열 손상이 일어난 간 조직을 충분히 포함시켜 마이크로톰으로 잘라 표준 슬라이드 유리를 사용하여 조직표본을 제작한 후 Hematoxylin-Eosin 염색을 하여 광학 현미경으로 관찰하였다. 혈관 크기의 측정은 계측기가 부착된 광학 현미경을 이용하였으며 40배율에서 크기를 측정하였다.

통계 분석

통계 분석을 위하여 SAS프로그램(SAS Institute, Cary, NC, U.S.A.)을 사용하였다. 생체 실험 군에서 응고부와 인접한 혈관군과 인접하지 않은 혈관군의 최대 횡경의 차이는 Wilcoxon Rank Sums test를 이용하였다.

Shape factor 와 국소적으로 움푹 들어간 부위의 내부에 위치하는 혈관의 단면적과 움푹 들어간 부위의 면적의 비는 Analysis Pro 2.11 프로그램(SIS, Munster, Germany)을 이용하여 구하였다.

결 과

생체 외 실험

적출된 돼지간의 응고부의 최대 횡경이 평균1.4 cm±0.1 (range, 1.3-1.5 cm), 최대 길이는 평균 4.6 cm±0.4(range, 4-5.3 cm)이었다.

생체 실험

가. 혈관의 인접성과 관련된 크기의 비교

생체 실험한 10개의 돼지 간 표본에서 측정한 응고부의 최대 횡경은 평균 1.5 cm±0.1(range, 1.3-1.7 cm)이었다. 최대 횡

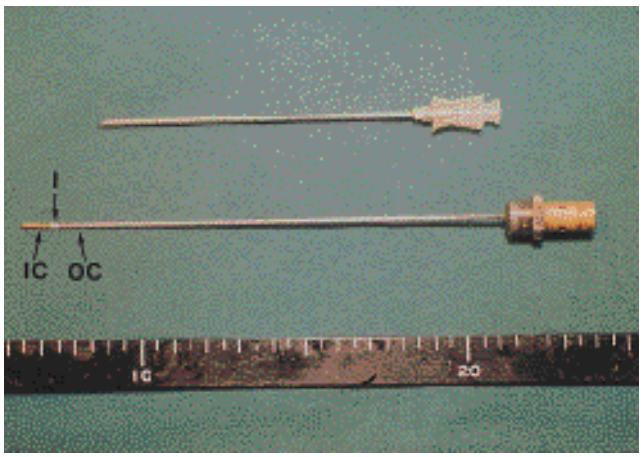

Fig. 1. The microwave electrode(14G) and guiding catheter (16G). OC = outer conductor, IC = inner conductor, I = insulator.

경을 기준으로 삼아 전극침의 중심으로부터 반경 1 cm 이내에 직경 2 mm 이상의 혈관이 한 개 이상 있는 경우가 6예 있었으며 응고부의 최대 횡경은 평균 1.4 cm±0.1(range, 1.3-1.6 cm)이었고, 혈관이 없는 4예의 경우는 평균 1.6 cm±0.1 (range, 1.5-1.7 cm)이었다. 이 두 군간의 차이는 통계적으로 유의하였다(Wilcoxon Rank Sums test, p< .05)(Table 1).

나. 응고부의 모양을 결정하는 요인

(1) 육안적 관찰

응고부의 종축 단면의 모양은 원형에 가까웠으나(Fig. 2) 부분적으로 굴곡이 심하였으며 평균 shape factor는 0.8이었으나 0.58로부터 0.92에 걸쳐서 넓게 분포하였다. 혈관의 크기, 모양, 종류, 주행방향에 관계없이 절개된 부위에서 예측되는 응고부의 범위에서 벗어나 있는 경우는 육안적으로 응고부의 모양에 영향을 미치지 않았다. 절개된 부위에서 예측되는 응고부의 범위 내에 혈관이 들어 있는 경우에는 혈관의 크기와 주행 방향에 따라 다양한 모양으로 영향을 주고 있었으며 횡단면과 평행하게 주행하는 경우는 응고의 진행을 막는 저지판으로 작용하여 응고부의 한쪽 면을 평편하게 만들었으며, 혈관의 주행이 완전히 횡단면에 직각으로 주행하는 경우에는 가장자리에 홈이 파진 형태로 나타났다(Fig. 3).

Table 1. Microwave Coagulation Lesion Size with and Without Nearby Vessels.

With Nearby Vessel	Without Nearby Vessel
1.3 cm	1.7 cm
1.5 cm	1.6 cm
1.3 cm	1.5 cm
1.6 cm	1.5 cm
1.4 cm	
1.5 cm	

(2) 현미경적 관찰

극초단파 응고 시술 후 1일이 경과한 후 적출한 표본에서 열 손상 부위는 조직학적으로 주위 정상 간과 비교할 때 경계가 명확하였다. 전극침을 중심으로 동심형으로 안에서 바깥으로 볼 때 조직학적으로 크게 3부분으로 나눌 수가 있었다. 전극침과 인접한 가장 내측에는 열 손상에 의한 초기 소견으로

Table 2. Shape Factors and Diameter of Vessels

SF	Vessel Diameter(mm) at Margin	Vessel Diameter(mm) Withtin 1.5mm Radius
0.82		p0.6, p0.1, p0.7, p0.5,pt0.8
0.77	p 0.4, p 0.3, pt 0.3	p 2 , p 0.4
0.76	pt 1.6, p 0.4, h 0.6, h 0.5, ht0.7	
0.79	pt 1.1, pt 0.3, h 1.0, h 0.6, ht 0.5, ht 0.6	
0.66	p 3, p 0.6, p 0.5, h 0.6, h 0.4, ht 1	
0.72	pt 0.5, pt 2.5 , h3	
0.75	p 0.4, p 0.1,	p 0.3
0.73	p 0.3 , pt 1,	h 0.4
0.71	p 0.3, p 0.1, p 0.4, p 0.5	h 1, h 0.4
0.73	p 0.3, p 0.5	p 9
0.65	p 0.3, p 0.3, pt 0.9, h 0.6	h 0.7
0.80	pt 0.1, p 0.3,h 1.8	p 2
0.75	p 0.3, p 0.2, p 0.2, h 0.5, h 0.4, h 0.4	
0.76	p 0.3, p 0.2, p 0.2, pt 0.5, h 1.5	h 0.7
0.87	p 0.3, ht 1.8, ht 2	
0.87	p 0.1, h 0.5	
0.89	p 0.9, p 0.5, h 0.6, h 1.1	p 0.5, p 0.3
0.92	ht 0.9, ht 0.3	
0.86	pt 0.1, h 0.6, h 1, h 2.3	
0.8	p 0.1, h 1.1, h2	p 0.1
0.86		
0.86	pt 0.5, pt 0.3, pt 0.3,h 1.6, h 0.4	p 0.5
0.58	p 0.4, h1	
0.9	h 0.6	h 1.2
0.85	p 0.1, p 0.3, h 0.7	

SF = shape factor, p = portal vein, pt = portal vein thrombosis, h = hepatic vein, ht = hepatic vein thrombosis

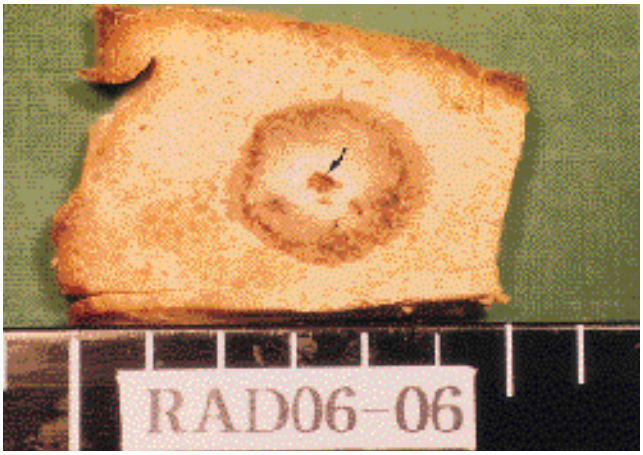

Fig. 2. Bisected gross specimen of 1-day-old lesion. Gross pathology of typically well-demarcated, round coagulation lesion in normal porcine liver. Arrow = Electrode path.

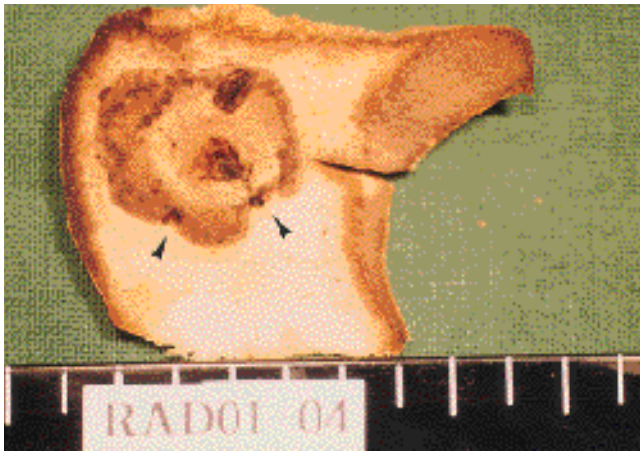

Fig. 3. Bisected gross specimen of 1-day-old lesion. Two small portal vein-hepatic artery complexes(arrowheads) run through parallel to the electrode at the margin of lesion limit the damage and cause focal dimples.

단백질의 변성이 있을 때 볼 수 있는 호산구성의 염색상을 보였으며 세포의 형태는 그대로 유지되어 있었다. 가운데 층에서는 동모양혈관의(sinusoid) 확장과 세포질 내에 수 많은 공포가 있었으며 세포질의 경계가 불분명해진 부분이 있었다. 핵이 소실되면서 세포의 형체는 보존된 전형적인 응고괴사의 소견은 부분적으로 관찰할 수 있었다. 병변의 가장 바깥 부분에는 심한 출혈성 부위가 병소 전체를 둘러 싸는 테두리를 형성하였으며 혈관의 손상도 세 부분 중 가장 심하였으며 인접한 정상 간 실질과의 경계는 비교적 명확하였다.

간동맥은 문맥에 비해 크기가 상대적으로 매우 작고 간문맥과 담관과 함께 문맥 삼분지(portal triad) 안에서 결체조직 내에 쌓여 있어서 이들을 따로따로 분리하여 병소의 모양에 미치는 영향을 보기는 어려웠으므로, 간문맥을 간정맥과 분리하여 관찰하는데 주안점을 두었다. 응고부의 가장자리 주변에 위치하는 문맥과 간정맥을 종류, 크기 및 혈전 유무로 세분하여 shape factor와의 관련성을 비교하였으나 통계적인 관련성을 찾지 못하였다(Table 2). 그 이유는 혈관의 크기 및 종류에 따라 가장자리에 굴곡을 주는 정도가 다르기 때문으로 판단되었다. 이러한 문제를 해결하기 위하여 우선적으로 가장자리의 모양을 형태에 따라 분류하였으며 기본적으로 세 개의 형으로 분류할 수 있었다. 첫번째는 중심정맥이 위치하는 간 소엽의 중앙 부위로 응고의 진행이 심해 각각의 소엽을 단위로 보았을 때 바깥으로 볼록 튀어나온 모양으로 인접한 간 소엽과 연결되면서 물결모양을 이루었다(Fig. 4A). 물결 모양의 요철은 0.25 mm - 0.5 mm 내

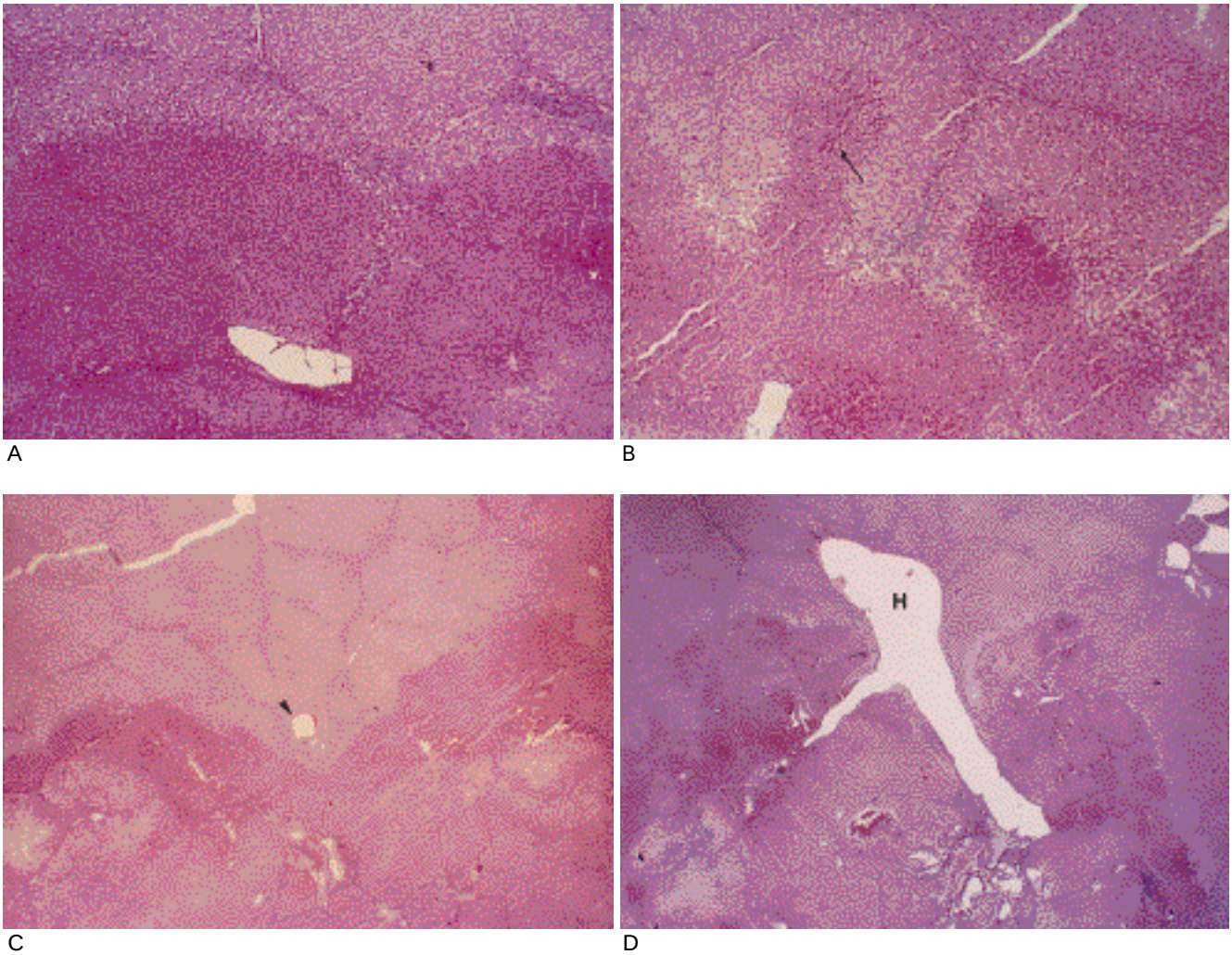

Fig. 4. Microscopic specimen shows three basic configuration of margin of thermal injury. (A,B, hematoxylin- eosin stain, original magnification, ×100; C, D, hematoxylin- eosin stain, original magnification, ×40)
A. Wavy pattern. A thermal injury propagates along the individual hepatic lobular configuration. Thermal propagation is more prominent at the midportion of hepatic lobule.
B. Tongue like projection. In some cases, thermal injury eccentrically propagates to central vein(arrow) which is the most vulnerable site to ischemia.
C. Focal dimple. A portal vein(arrowhead) located at the margin of lesion limit the damage. A relatively large area of normal parenchyma is devoid of thermal injury.
D. Focal dimple. A hepatic vein(H) and it 's penetrating branch limit the damage at margin as well as deeper portion of lesion.

Table 3. Causes of Focal Dimpling Over 1 mm

Causes	No.
Portal vein	11
Hepatic vein	12
Portal vein with thrombosis	4
Hepatic vein with partial thrombosis	3
Portal tract(invisible portal vein)	3
Unknown	1
Total	34

Table 4. Relative Ratio of Area of Vessel and Area of Dimple

PV(n = 11)	HV(n = 12)
4.3	1.9
7.0	0.5
3.0	1.3
7.3	0.5
16.0	0.2
5.5	3.1
0.8	0.3
3.9	1.6
11.5	1.0
2.2	0.9
13.3	1.2
	0.7

PV = portal vein, HV = hepatic vein

의 범위 내에 있어서 육안적으로는 식별이 어려웠다. 두 번째 모양은 열 손상이 간 소엽의 중심부위에 위치하는 중심정맥을 따라 주변에 비해 편심성으로 진행하여 혀 모양의 돌출부를 형성한 것으로 이로 인한 요철은 대부분 0.75 mm 이하 이었다(Fig. 4B). 드물게 중심 정맥을 따른 편심성 돌출이 두개 혹은 세 개의 간 소엽을 거치면서 바깥으로 진행한 경우도 있었으나 예외적인 경우였다. 세번째 모양은 물결 모양과 혀 모양의 돌출과 구분되게 주변에 비해 움푹 들어간 모양으로 가장자리로부터 육안적으로도 관찰이 가능한 1 mm 이상 차이가 있는 경우로 규정하였다. 이러한 기준으로 놓고 볼 때 절개한 35개의 병리표본가운데 34부위에서 국소적으로 움푹 들어간 모양을 찾을 수 있었다. 움푹 들어간 모양의 중심 부위에 간문맥이 위치하는 경우가 11예, 간정맥이 위치하는 경우가 12예 있어서 혈관이 열 손상의 진행을 저지하여 움푹 들어간 모양을 형성하는 요인으로 작용하고 있다는 사실을 알게 되었다. 그 밖에 움푹 들어간 모양을 형성하는 요인으로 혈전으로 가득찬 간 문맥이 4예, 30% 미만의 부분 혈전이 있었던 간 정맥이 3예 있었으며, 간 문맥은 보이지 않고 간동맥과 담관을 포함한 문맥 삼분지 만이 보였던 경우가 3예, 아무런 혈관 구조물도 보이지 않아 특별한 원인을 찾을 수 없었던 경우가 1예 있었다(Table 3). 이때 문맥의 최소 크기는 0.1 mm 이었으나 정맥은 혈관의 단면이 비스듬하게 잘린 경우가 많아 최소 크기를 판정하기가 어려웠다. 움푹 들어간 내부에 위치한 혈관의 단면적과 움푹 들어간 부위의 전체 면적의 비를 구하였을 때 문맥이 1:6.8, 간정맥이 1:1.1로 간정맥에 비해 문맥이 자신의 혈관의 크기에 비해 훨씬 더 넓은

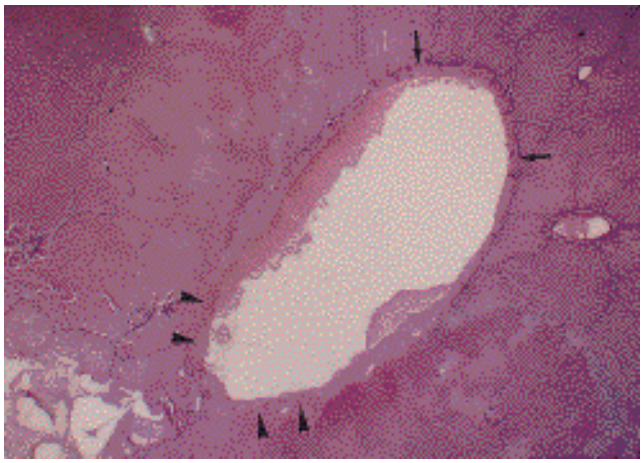

Fig. 5. Microscopic specimen shows different degree of thermal injury of a vessel wall. A inner portion of hepatic vein located within thermal injury shows severe necrosis(arrowheads), but opposite site of vessel wall(arrows) is devoid of thermal injury due to heat sink effect of flowing blood. (Hematoxylin- eosin stain, original magnification, ×40)

영역에 걸쳐서 냉각효과가 있었다(Fig. 4C, D)(Table 4). 예상 응고부 내에 들어 있는 혈관은 문맥, 간정맥, 동맥에 구별 없이 열 손상을 입었으며 같은 혈관이라도 응고부의 바깥에 위치하는 경우는 열 손상을 받지 않았다(Fig. 5).

고 찰

극초단파는 30 MHz - 300 GHz 대역의 전자기파이다. 그러나 10 GHz 이상의 극초단파는 조직의 가장 바깥 층에서 흡수되므로, 온열요법과 관련하여서는 이보다 낮은 주파수 대역인 433, 915, 2450 MHz영역이 상용화되어 일반적으로 사용되고 있다. 극초단파는 생체 내의 자유 전하의 진동과 전기적 쌍극자의 이완을 야기시키고 여기서 발생한 열이 분자의 동역학적 에너지를 발생시켜 조직의 온도를 상승시키게 된다(14). 조직 내에서 상승된 온도는 간 실질을 통한 전도와 혈류에 의한 대류에 의하여 소실이 된다. 열 손상부의 크기는 출력의 세기와 시간에 비례하며(6), 혈류에 반비례한다고 알려졌으며(15), Goldberg등(16)은 고주파 전극침에 온도 측정기를 장착하여 응고부의 크기는 전극침의 온도와 상관 관계가 있다고 밝혔으며 생체 외 실험에서 조직의 응고를 일으키는 최소 온도는 58.5 ℃였다고 보고하였다. 전극침 주변 조직에 열이 가해짐에 따라 조직의 건조화와 기화, 탄소화가 일어나게 되고 임피던스의 증가로 열전도율도 비례적으로 감소하게 되어 열을 가하더라도 더 이상의 열 손상 병소의 확대는 일어나지 않게 된다. 또한 간 내에 풍부한 혈관에 의한 관류와 이로 인한 대류 현상으로 열은 조직에 축적되지 않고 소멸하게 되어 열 손상부의 크기는 일정 크기 이상으로 커지지 않고 머무르게 되는 것이다(17).

혈관 인접성과 관련한 실험에서 혈류에 의한 냉각 효과가 응고부의 크기에 영향을 미침을 확인할 수 있었다.

두 번째 실험인 생체 실험에서 Shape factor와 문맥 및 간 정

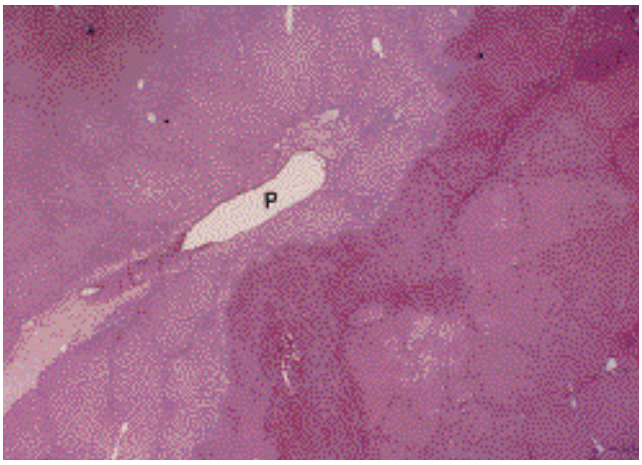

Fig. 6. Portal vein(P) located just a margin of predicted thermal injury limits the propagation of damage at the slight remote site. Noted the normal intervening parenchyma. (Hematoxylin-eosin stain, original magnification, ×40)

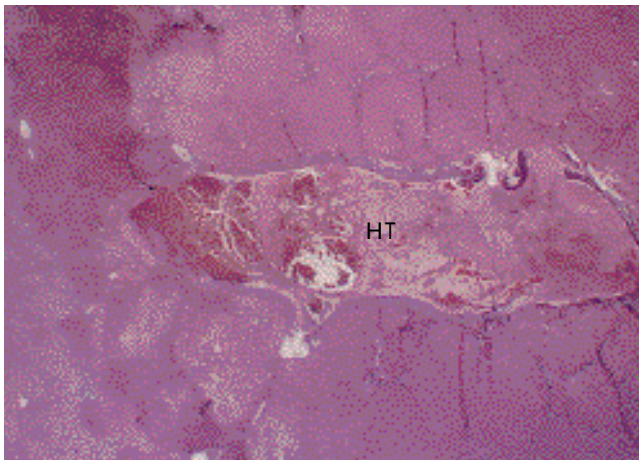

Fig. 7. Microscopic specimen shows a hepatic vein filled with thrombosis(HT). Despite of its relative large size and location within the thermal injury site it does not act as a heat sink. (Hematoxylin- eosin stain, original magnification, ×40)

맥의 크기, 숫자등과 상관 관계를 구하였으나 통계적인 연관성을 얻지 못하였다. 그 이유를 세 가지로 나누어 설명한다면 첫째, 혈관의 크기 및 종류에 따라 움푹 들어간 모양에 미치는 영향이 다양하였기 때문이었다. 둘째, 열 자극에 의해 혈관의 자율적 조절 기능으로 인한 혈관의 크기 변화가 작용하기 때문이었다. 셋째, 혈관이 비스듬하게 잘리는 경우가 많아 혈관의 크기를 정확히 계측하여 반영하기가 어려운 점 등이었다. 이 가운데 실험적으로 증명이 가능하리라고 판단되는 첫번째 요인을 실험적으로 증명하기 위하여 횡축으로 절개한 35개의 표본을 중심으로 육안적 및 현미경적으로 살펴 정량적인 분석을 시도하였다. 움푹 들어간 모양을 정량적으로 분석하기 위한 전제 조건으로 가장자리의 모양을 형태에 따라 크게 세가지 형태로 분류할 수 있었다. 응고부의 가장자리 어디에서나 볼 수 있는 기본적인 형태는 물결 모양과, 혀 모양의 돌출로 그 정도는 주변과 비교하여 각각 최대 0.5 mm , 0.75 mm 이하로 육안적인 식별이 어려울 정도로 미미하였다. 이와 같은 모양은 열 손상이 중심 정맥 쪽으로 파급되어 생기는 것으로, 중심 정맥 부위가 문맥 및 간동맥으로부터 가장 멀리 떨어져 있어서 허혈성 손상에 가장 예민한 부분이라는 점을 생각한다면 쉽게 이해할 수 있을 것이다. 이와 같은 기본적인 형태와 구분될 뿐 아니라 육안으로도 관찰이 가능한1 mm 이상 주변부와 비교하여 굴곡이 있는 경우를 움푹 들어간 모양으로 정의하였으며, 이의 원인은 대부분 예상 응고 범위 내에 위치하는 혈관 때문이었다. 혈관의 국소적인 냉각효과를 정량화 하기 위해 혈관의 단면적과 움푹 들어간 부위의 전체 면적과의 비를 비교하였을 때 문맥이 간 정맥에 비해 냉각효과가 큰 것을 알 수 있었다. 이에 대한 설명으로 첫째 혈관의 크기뿐 아니라 혈류의 속도에 의한 영향과 혈관주변에 위치하는 작은 분지들의 영향이 작용하리라고 추정하였다. 둘째, 4예의 경우 문맥에 혈전이 차 있었음에도 움푹 들어간 모양을 만들었으며 3예에 있어서는 단면에서 문맥은 찾을 수 없고 다만 문맥삼분지 내에 간동맥과 담관 만이 있었음에도 움푹 들어간 모양을 만든 것으로 보아 부분적으로 간동맥의 냉각효과도 상승작용을 하리라는 가정을 할 수 있었다. 셋째, 문맥 삼분지 내의 결체조직이 열 손상의 진행을 저지하는 데에 큰 영향을 주었으리라고 판단되었다. 또한 예상되는 응고 범위를 벗어난 곳에 혈관이 있는 경우 문맥의 경우 드물지만 약간의 영향을 미치는 경우도 있었으나 (Fig. 6) 간 정맥은 예상 응고부 밖에서는 아무런 영향을 미치지 않았으며 예상 응고부 내부에 있을 경우에만 열 손상을 막는 역할을 한다는 사실을 알게 되었다. 간 정맥의 내부에 혈전으로 완전히 가득찬 경우에는 모양에 변형을 주는 냉각 효과를 전혀 보이지 않았다(Fig. 7). 육안으로 관찰 가능한 1 mm 이상의 움푹 들어간 모양을 일으키는 원인은 34예 중 33예에서 혈관과 관련이 있었으며, 원인을 찾을 수가 없었던 경우는 1예(3%)에 불과하여 혈관이 없는 상태에서 지역적인 관류 상태의 차이나 열 전도율의 차이 등의 요인만으로는 1 mm 이상의 요철을 설명하기 어려울 것으로 생각하였다. 1 mm 이상의 움푹 들어간 모양을 만든 문맥의 최소 크기가 0.1 mm 이었으며 이것은 Lemons 등(13)이 열적 비평형을 일으키는 최소 간내 문맥의 크기가 0.1 mm 였다는 실험 결과와 일치 하였다.

이 연구의 제한점으로는 응고와 관련하여 가장 중요한 요인이라고 할 수 있는 전극침과 조직 사이의 온도, 그리고 혈관으로부터 거리를 두어가며 온도의 차이가 있는지를 직접적으로 측정하지 못했다는 점에 있다. 또 다른 제한 점으로는 생체 외에서는 삽입된 전극침을 이용하여 정확한 절개가 가능하였으나 생체 실험 표본은 초음파 유도하에 절개를 하였으나 정확한 단면을 얻기가 용이하지 않았다. 응고부의 크기의 차이가 크지 않다는 점을 고려할 때 좀 더 많은 수의 표본을 얻어서 비교를 하여야 할 것으로 생각 되었다.

최초에 극초단파 등이 간의 악성 종양의 치료에 쓰이게 된 가장 큰 배경 중 하나는 치료하고자 하는 부위의 크기와 모양이 예측 가능하고 재현성이 높으리라는 기대에 있었다. 이것은 시간과 출력 등의 물리적 변수를 조절함으로써 어느 정도 실현이 가능하여졌으나, 알코올 주입의 단점으로 지적되었던

불균일한 조직내 분포가 극초단파에서는 혈관 인접성과 관련하여 불균일한 모양으로 나타난다는 사실로 인하여 최초의 기대는 조금 어긋나게 되었다.

본 실험의 결과를 통하여 혈류의 냉각효과가 적은 저혈관성 간암의 경우 응고부의 크기가 커질 것이며, 전이암의 경우 경화성 간에 비해 문맥혈류의 양이 상대적으로 보존되어 응고부가 작아질 것이라는 사실을 추론할 수 있게 되었으며, 혈관과 인접한 간 종양을 치료할 때는 혈관 인접성과 관련하여 응고부의 크기 및 모양이 예측하기 어렵다는 사실에 유의하여 예상 치료부를 혈관이 위치하는 방향으로 넓게 포함시켜야 할 것이라는 사실을 알게 되었다는 점에 이 연구의 임상적인 의의를 둘 수 있을 것이다.

참 고 문 헌

1. Livraghi T, Bolondi L, Lazzaroni S, et al. Percutaneous ethanol injection in the treatment of hepatocellular carcinoma in cirrhosis: a study in 207 patients. *Cancer* 1992;69:925-929
2. Shiina S, Tagawa K, Niwa Y, et al. Percutaneous ethanol injection therapy for hepatocellular carcinoma: results in 146 patients. *AJR* 1993;160:1023-1028
3. Tanaka K, Okazaki H, Nakamura S, et al. Hepatocellular carcinoma: treatment with a combination therapy of transcatheter arterial embolization and percutaneous ethanol injection. *Radiology* 1991;179:713-717
4. Livraghi T, Vettori C, Lazzaroni S. Liver metastases: results of percutaneous ethanol injection in 14 patients. *Radiology* 1991;179:709-712
5. Lee MY, Mueller PR, Dawson SL, et al. Percutaneous ethanol injection for the treatment of hepatic tumors:indications, mechanism of action, technique, and efficacy. *AJR* 1995;164:215-220
6. Organ LW. Electrophysiologic principles of radiofrequency lesion making. *Appl Neurophysiol* 1976/77;39:69-76
7. Dachman AH, McGehee JA, Beam TE, Buris JA, Powell DA. US-guided percutaneous laser ablation of liver tissue in a chronic pig model. *Radiology* 1990;176:129-133
8. Haines DE. The biophysics of radiofrequency catheter ablation in the heart: The importance of temperature monitoring. *PACE* 1993;16:586-591
9. Goldberg SN, Hahn PF, Schima W, Gazelle GS, Solbiati L, Mueller PR. Percutaneous radio-frequency tissue ablation in the liver: Increased coagulation necrosis with portal venous occlusion. *Proceedings of 82nd Radiologic Society of North America;*1996 Dec 1-6; Chicago, USA;1996. p. 250
10. 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 (4):559-565
11. Rossi S, Stasi MD, Buscarini E, et al. Percutaneous RF interstitial thermal ablation in the treatment of hepatic cancer. *AJR* 1996;167:759-768
12. Amin Z, Donald JJ, Masters A, et al. Hepatic metastases:Interstitial laser photocoagualtion with real-time US monitoring and dynamic CT evaluation of treatment. 1993;187:339-347
13. Lemons DE, Chien S, Crawshaw LI, Weinbaum S, Jiji LM. Significance of vessel size and type in vascular heat transfer. *Am J Physiol* 1987;253:128-135
14. Hand JW. Heating technique in hyperthermia: II. Non-ionizing electromagnetic waves. *Br J Radiol* 1981;54:446-459
15. Strohbehn J. Temperature distributions from interstitial RF electrode hyperthermia systems:theoretical predictions. *Radiat Oncol Biol Physics* 1983;9(11): 1655-1667
16. Goldberg SN, Gazelle GS, Halpern EF, Rittman WJ, Mueller PR, Rosenthal DI. Radiofrequency tissue ablation: Importance of local temperature along the electrode tip exposure in determining lesion shape and size. *Acad Radiol* 1996;3:212-218
17. McGahan JP, Browning PD, Brock JM, Tesluk H. Hepatic ablation using radiofrequency electrocautery. *Invest Radiol* 1990;25:267-270

J Korean Radiol Soc 1999;41:685-692

Effects of Intrahepatic Blood Vessels on Size and Shape of Microwave Coagulation[1]

Young Hwan Kim, M.D., Dong Man Park, M.D., Ji Young Kim, M.D.,
Soon Joo Cha, M.D., Gham Hur, M.D., Yong Ho Auh, M.D.[2]

[1]Department of Diagnostic Radiology, Sanggye Paik Hospital, Inje University College of Medicine
[2]Department of Diagnostic Radiology, Asan Medical Center, University of Ulsan College of Medicine

Purpose : To determine the effects of blood vessels on the size and shape of microwave coagulation.
Materials and Methods : Microwave coagulation was performed with 60 W output and 60 second duration. In the first experiment five ex-vivo porcine livers were used to determine the size of the coagulation area and its reproducibility. The second experiment involved the used of two in-vivo porcine livers to determine how adjacent vessels affect the size and shape of coagulation.
Results : The result of the first experiment was that the maximum mean diameter of lesions was 1.4 cm±0.1, reproducible in the range of 1.3 cm-1.5 cm. In the second experiment, maximum mean diameter was found to be 1.5 cm±0.1, reproducible in the range of 1.3 cm-1.7 cm, and the size and shape of the lesion was affected by nearby blood vessels. The shape factor of the lesion, defined as roundness of sphere, was 0.8, but the range(0.58-0.92) was wide due to the effect of vascular cooling. This was more prominent in the portal vein than in the hepatic vein, and the minimum diameter of the portal vein which deformed the lesion by more than 1 mm was 0.1 mm.
Conclusion : Microwave coagulation gives a well-defined lesion, the size of which can be reproduced, but size variation and nonuniformity can be caused by nearby blood vessels.

Index words : Animals
Microwaves
Blood vessels

Address reprint requests to : Young Hwan Kim, M.D., Department of Diagnostic Radiology Inje University Sanggye Paik Hospital
Sanggye-dong Nowon-ku Seoul 139-707 South Korea.
Tel. 82-2-950-1190 Fax. 82-2-950-1220 E-mail: kimyh@sanggyepaik.or.kr