대한방사선의학회지 2003;48:163 - 169

고주파 열치료시 두 개의 전극을 이용한 동시 소작의 유용성에 관한 실험적 연구[1]

장일수 · 임현철 · 고병희 · 조온구 · 서흥석 · 김용수 · 김영선 · 허정남

목적: 이 연구의 목적은 고주파 열치료시 한 개의 전극으로 연속 소작하는 경우와 두 개의 전극으로 동시 소작을 하는 경우의 차이점을 알아보고자 하는데 있다.

대상과 방법: 총 10개의 소 간에 대하여 고주파 발생기를 이용하여 연속 소작(*n*=8)과 동시 소작(*n*=8)을 각각 시행하였다. 내부에 9개의 우산살처럼 펴지는 14 게이지의 확산형 전극 2개를 사용하여 4 cm을 편 상태에서 소작을 시행하였다. 소작 하기 전 두 개의 전극을 연속 및 동시 소작 각군에서 두 전극간의 간격을 각각 4차례씩 2 cm, 3 cm 간격군으로 나누어 삽입하였다. 연속 소작군에서는 첫번째 소작이 종료됨과 동시에 전원과의 연결선을 두 번째 전극에 연결시킨 후 2차 소작을 진행하였다. 동시 소작군에서는 두 전극 사이를 연결해주는 연결선을 설치하고 단일 소작만을 시행하였다. 각 소작부의 목표 온도는 105 - 110℃로 설정하여 7분간 소작하였으며, 소작 후 절개하여 소작부위의 크기와 모양 및 총 소작 시간을 비교하였다.

결과: 2 cm간격 연속 소작군(*n*=4)에서 각각의 소작 길이와 겹쳐진 너비는 5.20 cm, 5.05 cm였고 동시 소작군(*n*=4)에서는 5.81 cm, 5.65 cm이었다. 3 cm간격 연속 소작군(*n*=4)에서 소작한 길이와 겹쳐진 폭은 각각 4.99 cm, 5.60 cm이었고 동시 소작군 (*n*=4)의 경우는 6.04 cm과 6.78 cm였다. 소작된 두 부위 사이의 소작되지 않은 근위부의 잘록한 부위(waist)의 평균 깊이는 동시 소작군일 경우 2 cm 및 3 cm 간격에서 각각 0.28 cm, 1.48 cm이었고 연속 소작군일 때는 각각 0.58 cm, 1.65 cm이었고 원위부에서 잘록한 부위가 없었다. 평균 소작시간은 연속 소작군에서는 23.4분 이었고 동시 소작군에서는 14분 이었다.

결론: 고주파 열치료시 두 개의 전극을 이용하여 동시에 소작하는 경우가 한 개의 전극을 이용하여 연속적으로 소작하는 것보다 소작 크기와 시간에 있어 우월하였다. 이 방법은 시술자로 하여금 중첩 소작시 전극을 재위치 시키는 어려움을 줄여서 보다 짧은 시간에 적절한 안전연을 확보한 완전 소작을 할 수 있게 해줄 것으로 생각된다.

간암의 근치술은 수술적 절제술로 알려져 있지만, 종양의 범위나 크기, 잔여 간기능의 저하등으로 수술의 대상이 되는 환자는 제한적이다(1, 2). 따라서, 이런 환자에 대한 비수술적 치료법에 대한 연구가 최근 활발하게 진행되고 있으며, 그 중 대표적인 방법으로 경동맥 화학색전술, 경피적 에탄올 주입술, 고주파 등을 이용한 국소 온열요법 등이 시행되고 있다. 그 중 고주파 열치료는 약 460 kHz내외의 교류성 전류를 종양에 가하여 조직내 이온들의 불안정화를 통한 마찰열을 발생시켜 조직에 응고성 괴사를 유발 시키는 방법으로 종양 국소 소작에 있어서 최근 가장 효과적이고도 안전한 시술로 인정되고 있다(3).

기존의 고주파 열치료의 가장 중요한 한계점으로 거론되고 있는 것은 단위 소작당 소작면적이 제한되어 있다는 점이다. 즉, 한 개의 재래식 고주파 전극을 이용하여 조직의 괴사를 유발하는 방법은 그 소작범위가 1.6 cm 정도 밖에 되지 않아 임상적으로 3 - 4 cm에 이르는 종양에 대한 실제 적용에 있어 이것이 큰 제약점이 되어 왔었다(4 - 6). 이는 초음파 유도하에 여러 번 전극의 위치를 변경시켜야 하므로 소작 중 발생하는 미세기포로 인해 소작이 거듭될수록 정확한 위치로의 이동이 제한을 받음으로써 충분한 안전연을 확보하는 완전소작의 가능성이 종양이 클수록 감소하는 것이 문제점으로 지적되어 왔다. 따라서, 단위 소작 범위를 증가 시키기 위해 다침 전극(multiple array)(7), 확산형 고주파 전극(expandable RF needle)(8), bipolar array(9), 경피적 고온생리식염수(hot saline)주입(10) 등의 다양한 방법들이 제시되어왔다. 그간 Goldberg등에 의해 다침 전극을 이용한 동시 소작에 관한 실험적 시도가 보고된

[1]한양대학교 의과대학 진단방사선과학교실
이 논문은 2002년 6월 5일 접수하여 2002년 10월 14일에 채택되었음.

바 있으나, 단일 소작시 1.6 cm 소작범위를 갖는 재래식 고주파 전극과 저용량의 고주파 발생기를 이용하였을 뿐 최근 개량된 확산형 고주파 전극을 이용한 연구는 아직 없었다. 따라서, 이 연구의 목적은 복수의 확장형 고주파 전극과 고출력 고주파 발생기를 이용한 동시 소작이 소작 범위와 소작 시간에 있어 단일 소작에 비해 얼마나 유용한지 알아보고자 하였다.

대상과 방법

실험에는 적출한지 6시간 이내에 얻은 소 간 10개를 이용하였으며, 실험에 사용된 고주파 발생장치는 최대150와트의 출력을 내는 460 kHz의 고주파 발생기(RITA Medical system Inc., Mountainview, CA, U.S.A.)였고 고주파 전극 끝의 온도 및 고주파 전극과 분산 전극(ground pad)사이의 저항(Impedance)이 실시간으로 표시되는 것이었다. 소작에 사용한 고주파 전극은 내부에 9개의 우산살처럼 펴지는 내장형 전극을 갖는 14 게이지의 확산형 고주파 전극(RITA Medical system Inc., Mountainview, CA, U.S.A.)으로써 총 2개를 이용하여 실험을 시행하였다. 한편, 이 전극은 최대 5 cm까지 펼쳐지며 최대 직경(deploy) 5 cm까지 소작이 가능하였지만, 소 간의 크기에 제한이 있어 이 실험에서는 단위 소작당 최대직경 4cm까지 소작이 가능하도록 4 cm만 펼친 상태에서 소작을 진행하였다.

소작 방법은 두 개의 고주파 전극을 예정된 실험군(연속 소작군, 동시 소작군)에 따라 2 cm과 3 cm간격으로 구멍을 낸 자를 이용하여 각각 2 cm및 3 cm 간격을 두고 간의 표면으로부터 3 cm 깊이로 찌른 뒤 2 cm만 내장형 전극을 펼친 채로 설치하였다. 연속 소작군의 경우에는 제 1전극에 우선 전원을 연결하고 7분간 소작을 한 후 곧이어 제 2전극에 전원을 연결한 뒤 7분간의 소작을 연달아 시행하였다. 연속 소작군의 실험을 할 때 두 개의 전극을 미리 꽂아두고 실험을 하였는데 이는 실제 임상에서 하는 방법과는 다소 차이가 있으나 한 전극의 소작종료 후 다른 전극을 꽂으면 전극의 끝의 위치가 미리 꽂아두는 것보다 원하는 위치에서 벗어날 가능성이 높아 두 개의 전극을 미리 꽂아두고 시작하였다. 동시 소작군의 경우에는 전극의 손잡이에서 2 cm 떨어진 부위에다 칼날을 이용하여 절연부를 약 1 cm정도 제거한 뒤 전선으로 두 고주파 전극을 연결하여 제 1 전극에 가해진 전원이 제 2 전극까지 전달될 수 있게 하여 동시에 두 전극을 통해 소작 되도록 고안하였다(Fig. 1).

소작 조건은 제작사에서 제시한 4 cm소작 조건에 준하여 처음 발생전력은 90와트로 일정하게 유지한 뒤 목표온도가 80。C가 되면 30초 후에 내장형 전극을 2 cm에서 3 cm으로 펼치고 다시 목표온도를 105。C로 상향 조정하였다. 다시 목표 온도인 105。C가 되면 30초 후에 내장형 전극을 3 cm에서 4 cm으로 펼치고 목표 온도를 110。C로 맞춘 뒤 7분간 더 소작하였다(Table 1). 즉 4 cm 소작을 위해서는 내장형 전극을 최대 직경이 4 cm이 되어야 한다. 위와 같은 실험을 같은 방법으로 2 cm, 3 cm 간격으로 연속 소작군과 동시 소작군에 따라 각각 4회씩 시행하여 총 16회의 소작을 하였으며, 각 소작군마다 전체 소작 시간, 발생 전력, 및 저항을 측정하여 기록하였다

소작이 끝난 후 바로 외과용 칼을 이용하여 소작부의 정중앙 부위를 절단하기 위해 전극을 뽑지 않은 상태에서 두 전극의 종축을 따라 절단하였고 열손상으로 인해 변색된 부위의 길이(length), 폭(width), 겹친 부위의 너비(overlapping width) 및 겹친 부위의 잘록하게 소작 되지 않은 부위 (waist)들의 최대 길이를 자를 이용하여 측정하였다(Fig. 2).

이 측정치들은 윌콕슨의 순위합 검정법(Wilcoxon rank sum

Fig. 1. Dual probes designed by our group. Two expandable radiofrequency electrodes are connected by electric cable after each insulator was removed.

Table 1. Protocol for 4 cm Ablation

Deploy to	Set Target Temp at:	Set Power at:	Set Timer at:	Duration of Ablation
2 cm	80。C	90W	8.0 min	Until Target Temp is reached then deploy to 3 cm
3 cm	105。C	90W	7.5 min	Until Target Temp is reached then deploy to 4 cm
4 cm	110。C	90W	7.0 min	7 minutes at Target Temp.

Temp: Temperature

test)을 이용하여 통계적으로 검정하였고 의미있는 p - value 는 0.05이하로 정했다.

결 과

소작 후 두 고주파 전극을 연결하는 가상의 선에 최대한 가까이 절단하여 본 결과 전극이 들어간 부위가 뾰족하게 소작되어 두 개의 자루 모양이 겹친 형태로 병변이 나타났다(Fig. 3). 이러한 병변의 길이를 측정한 결과는 Table 2에 요약하였다. 그 결과 2 cm간격의 소작군에서 길이, 폭, 겹친 부위의 너비 모두에서 동시 소작군의 길이가 연속 소작군보다 통계적으로 의미 있게 큰 것으로 나타났다. 또한 3 cm 간격의 소작군에서는 길이, 겹친 부위의 너비에서 통계적으로 의미 있게 동시 소작군의 길이가 연속 소작군보다 긴 것으로 나타났으나 폭에 있어서는 통계적 의미가 없는 것으로 나타났다 (Fig. 4)

2 cm 간격 연속 소작군에 있어서 소작시간은 각각 평균 11분 30초와 10분 37초로 평균 총 22분 7초가 소요되었고 3 cm 간격 연속 소작군에서는 각각 평균 11분30초와 11분으로 평균 총 22분 30초 소요되었다. 2 cm간격 동시 소작군의 경우는 소작시간이 평균13분 39초가 걸렸고 3 cm 간격 동시 소작군은 평균14분 17초 였다. 따라서, 전극간 간격의 차이에 따라 소작시간의 차이는 보이지 않았으나 연속 소작군 (n=8)이 동시 소작군 (n=8)에 비해 소작시간이 약 1.6배 정도 더 걸렸다.

소작이 끝날 때 측정한 전력은 2 cm간격 연속 소작군에서는 평균23.8와트와 22.3와트였고 3 cm 간격 연속 소작군인 경우에 23.3와트, 21.3와트로 큰 차이를 보이지 않았다. 그러나 동시 소작을 했을 때는 2 cm 간격 동시 소작군의 경우 평균 40.5와트였고 3 cm 간격 동시 소작군에서는 48.8와트 였다. 연속 소작군 보다 동시 소작군 일 때 공급되는 전력이 2 cm 간격일 경우 약 1.7배이고 3 cm간격일 경우는 2.1배임을 알 수 있었다.

두 전극사이에 소작된 부위의 위쪽에 병변쪽으로 오목하게 소작 되지 않은 부분(waist)이 생겨서 소작된 병변은 완전한 구형을 이루지 못하였다(Fig. 5). 그 길이는 2 cm 간격 연속소작군의 경우는 평균 0.58 cm으로 나타났고 2 cm간격 동시소작군의 경우는 평균 0.28 cm으로 나타났다. 3 cm간격 연속 소작군과 동시 소작군에서 각각 1.65 cm, 1.48 cm로 나타났다. 그러나 소작된 부위의 아래쪽에는 두 전극사이에는 소작 되지 않은 부위가 발생하지 않았다(Table 3).

고 찰

간암에 대한 고주파 열치료는 수술적 절제가 불가능한 환자에 있어 매우 유용한 비침습적 치료법으로 인정받고 있다. 이는 비교적 안전하고도 간단한 시술로서 외과적 절제술보다 낮은 치사율에 반해 우수한 국소소작효과를 보이는 것에 기인하는 것으로 여겨진다. 하지만 초기의 일부 보고와는 달리 특히 전이암에 있어서는 치료부 주위에의 국소 재발율이 매우 높아

Table 2. Summary of Results of Measured Value of Ablated Lesion According to their inter-probe Space in Each Group

Group	Interval	Length	OW*	Width	Time
SM*	2 cm	5.81 cm	5.65 cm	4.63 cm	13 m39 s
	3 cm	6.04 cm	6.78 cm	4.48 cm	14 m17 s
SQ*	2 cm	5.2 cm	5.05 cm	4.06 cm	22 m7 s
	3 cm	4.99 cm	5.6 cm	4.28 cm	22 m30 s

Note: All results were average of four-trial of each probe intervals.
SM*: simultaneous, SQ*: sequential OW*: Overlapping Width.

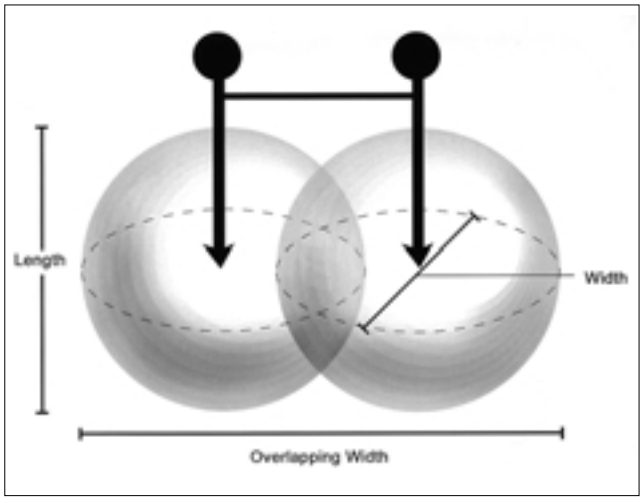

Fig. 2. Measurement of the ablated lesion.

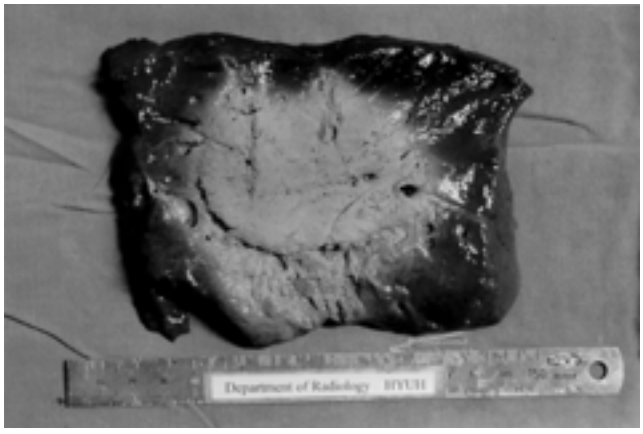

Fig. 3. Photograph of specimen shows simultaneous thermal ablated lesion that looks like lying a tear drop upon another one.

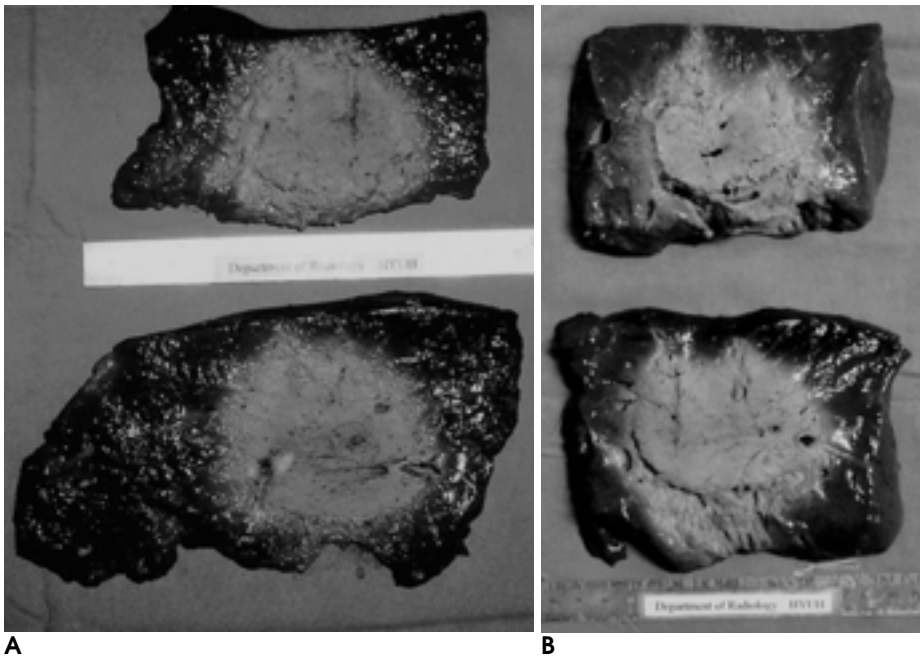

Fig. 4. Comparison of simultaneous and sequential ablated lesion. (**A**) Photograph of specimens shows ablated lesion with 2 cm inter-probe space. Upper: Sequentially ablated specimen, Lower: Simultaneously ablated specimen (**B**) Photograph of specimen shows ablated lesion with 3 cm inter-probe space. Upper: Sequentially ablated specimen, Lower: Simultaneously ablated specimen.
Note that the length of waist is longer in 3 cm interprobe spacing than in 2 cm.

Table 3. Summary of Results of Waist in Each Group

	Group	2 cm interval	3 cm interval
Proximal	SM*	0.28 cm	1.48 cm
	SQ*	0.58 cm	1.65 cm
Distal	SM*	0 cm	0 cm
	SQ*	0 cm	0 cm

SM*: simultaneous, SQ*: sequential
Proximal: Length of waist created in proximal portion of the electrode.
Distal: Length of waist created in distal portion of the electrode.

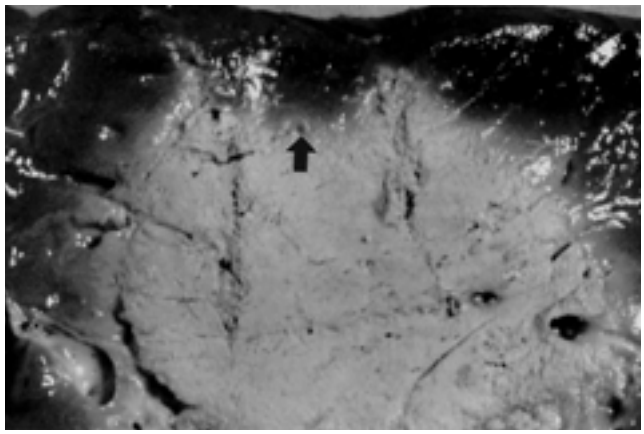

Fig. 5. This photograph shows waist (arrow).

이에 대한 대안이 절실히 필요한 실정이다. 국소 재발율을 최소화하기 위해 고주파 열치료에서도 외과적 절제술에 있어서의 원칙이라 할 수 있는 종양주위 정상조직에 대한 1cm 안전연(safety margin) 개념이 강조되고는 있으나 현행 고주파 기기의 제한된 단위 소작 면적과 중첩 소작시 원하는 부위로의 전극의 이동의 기술적 어려움으로 인해 충분한 안전연을 포함한 소작이 항상 가능하지는 않다.

따라서, 성공적인 고주파 열치료를 위한 최대 현안중 하나는 단위 시간 내에 얼마나 넓은 면적을 소작해 내는가이다. 이는 안전연의 확보라는 측면뿐 아니라 현재 종양 직경 5 cm에 한정되어 있는 치료 대상을 확대시킬 수 있을 뿐 아니라, 동일한 크기의 종양이라도 치료 시간을 단축시킬 수 있는 주요한 요인이 될 수 있다. 지금까지 여러 연구자들에 의해 제시된 단위 소작당 부피를 증가시키려는 방법들로 다발성 직선형 전극을 이용한 동시 소작(7), 확산형 전극을 이용한 소작법(12), 냉각형 전극을 이용한 소작법(13) 및 다양한 조직내 환경의 조정을 통한 소작 범위의 확대(14 - 17) 등이 보고된 바 있다. 이 연구는 1995년 Goldberg 등의 다발성 직선형 전극을 이용한 실험적 연구에 의거하여 직선형 대신 다발성의 확산형 전극을 이용한 동시 소작의 유용성을 알아보고자 하였으며, 연구 결과가 기존 보고와 유사하게 동시 소작군이 연속 소작군에 비해 소작 부피에 있어서 우수한 소작 효과를 보이는 것을 확인할 수 있었다. 이 실험에서는 소 간의 부피로 인해 불가피하게 4 cm 소작 조건을 적용하였으나 실제 5 cm 소작조건으로 인체 내에서 동시 소작할 경우 단위 소작으로 인한 소작부 최대 직경을 7 cm까지도 확대 가능할 것으로 보여 매우 우수한 소작효과를 얻을 수 있을 것으로 보인다. 동시 소작군이 연속 소작군에 비해 소작 부피에 있어서 우수한 소작 효과를 보이는 이유에 대해서는 상술한 Goldberg등의 연구에서 제시된 바 있는데, 두 전극에서 나오는 열의 발산이 더해져 상승효과를 보일 뿐 아니라 전류의 흐름을 바꾸어 더 넓은 범위의 조직에 걸쳐 고주파 영역(radiofrequency field)을 생성하기 때문으로 추정되고 있다(7).

효과적인 중첩 소작을 위해서는 각 전극 사이의 적절한 간격

의 설정이 중요하다. 다침 전극을 이용한 기존의 연구에 따르면 두 전극의 사이가 1.5 cm 이내 일 때 타원형의 모양을 갖는 병변이 나타나고, 그 이상인 경우는 두 개의 독립된 병변이 나온다고 하였다(3). 이번 실험에서는 소작 최대 직경이 4 cm으로 예상되었기 때문에 두 전극의 사이를 2 cm 와 3 cm로 두 군으로 나눈 뒤 실험을 시행하였다. 그 결과 전극의 확산된 내장형 전극의 원위부 즉, 병변의 아래쪽 부위에는 두 전극으로 인한 소작 부위가 자연스럽게 융합된 소작부위를 보인 반면, 근위부 쪽 즉 병변의 위쪽 부위에는 두 전극에 의한 소작 부위가 자연스럽게 융합되지 않아 일종의 잘록한 허리 모양의 비소작부위(waist)가 남는 경향이 있었다(Fig. 5). 비소작 부위의 길이는 두 전극의 간격이 2 cm에서 3 cm으로 벌어지면서 길어졌으며 이러한 현상은 실제 임상 적용시 소작되는 면적을 더 크게 하기 위해 두 전극의 간격을 너무 넓혀 설치할 경우 전극의 근위부에 불완전한 소작을 유발할 가능성이 있을 것으로 생각된다.

Dodd 등은 1 cm 안전연의 확보를 강조하면서 컴퓨터를 이용한 이상적인 중첩소작 모델을 제시한 바 있는데, 상기한 전극간의 소작부 사이에 발생할 수 있는 비소작부(waist)를 모두 소작해내기 위해서는 각 소작부 직경끼리 23%의 중첩을 한 상태에서 최고 14회까지의 중첩소작이 필요하다고 제시한 바 있다. 그러나, 실제 임상에 적용하기는 실현성이 없으며 약 소작부 직경끼리 58%의 중첩을 한 상태에서 전극을 후진해가며 소작하는 원통형 소작법(cylindrical ablation)이 그 대안으로 될 수 있다고 제시한 바 있다(19).

소작 종료시 고주파 발생기에 측정된 전력은 동시 소작군에서 연속 소작군에 비해 약 2배 정도 높은 것으로 나타났다. 즉, 동시 소작시에는 두 개의 전극에 전력이 공급되기 때문에 결국 각각의 전극에 공급되는 전력의 양은 동시 소작군이나 연속 소작군에 큰 차이가 없을 것으로 생각된다. 대부분의 단독 소작시 설정해 놓은 목표온도에 이르는 소작 초반 몇 분을 제외하고는 온도를 유지하기 위해 대부분 자동으로 출력이 강하되어 조절된 상태에서 총 150와트 출력 중 약 20와트 내외 밖에 사용하지 않는 것을 고려해 볼 때, 최근 개발되어 사용되기 시작한 고용량의 고주파 발생기 한 대를 이용하여 3 - 4개의 전극까지도 동시 소작이 가능할 수 있다는 것을 시사해주고 있다 할 것이다.

소작 시간은 연속 소작군이 동시 소작군에 비해 1.6배 정도 걸려 동시 소작이 약 37.5%의 시간 감축 효과가 있음을 알 수 있었다. 동시 소작군이 연속 소작군 보다 소작하는데 걸리는 시간이 짧으므로 실제 임상적용시 시술시간의 단축으로 인해 치료에 대한 환자의 순응도를 높일 수 있을 것이라 기대된다. 따라서, 종괴의 크기가 너무 커서 불가피하게 시술을 2회 이상에 걸쳐 나누어 시행하는 경우를 줄일 수 있을 것으로 여겨지며, 시술시간의 지연 등으로 인한 동통조절의 문제나 장시간 시술로 인한 초음파 기기의 활용 문제 등에 대해서도 긍정적 영향을 미칠 것으로 보인다. 한편 이 연구에서는 두 개의 전극에 국한시켰지만 3개 이상의 전극을 이용함으로써 약 5 cm크기의 종괴까지도 주위 1 cm의 안전연을 포함하여 1회 소작만으로도 소작을 종료할 수도 있을 것이다. 다만, 이의 임상에의 실용화를 위해서는 각 전극을 손쉽게 연결할 수 있는 adaptor및 전환스위치 등의 개발이 필요할 것으로 보인다.

하지만, 이 연구가 갖는 가장 중요한 의미 중 하나는 단순한 소작 면적의 확대 이외에도 동시 소작법이 완전소작의 가능성을 그 만큼 향상시킬 수 있다는 점을 제시했다는 점이다. 즉, 소작을 희망하는 부위에 미리 전극을 설치하고 이 전극에 동시에 전원을 가함으로써 소작 중 발생하는 미세 기포로 인한 전극 이동에의 어려움을 피할 수 있어(9) 부정확한 전극 위치 이동으로 인한 불완전 치료의 가능성을 줄일 수 있을 것으로 기대된다. 따라서, 음창(Sonic window)이 불량한 종괴 부위나 혈관 손상의 위험이 있는 종괴 부위 등에 대해 소작 시작 전에 미리 안전하게 전극을 설치함으로써 불완전 치료의 가능성을 최소화함과 동시에 불량한 시야에서의 무리한 전극 이동으로 인해 발생할 수도 있는 출혈 등의 합병증 등도 감소시킬 수 있을 것으로 기대된다.

이 실험의 몇 가지 제약점으로는 첫째, 생체 외에서 제한된 횟수의 실험을 통해 얻은 예비실험 결과로서 실제 임상적용에 있어서는 소위 열씻김 현상(Heat Sink Effect) 등의 고려된 생체 내 실험을 통한 검증이 필요하다는 점이다. 둘째는 현재 매우 고가인 고주파 전극을 여러 개 동시에 사용하는데 대한 경제적 문제가 실제 임상에 적용하는 데 가장 큰 장애물이 될 것으로 예견된다. 따라서, 이 실험에서 입증된 연속 소작법은 보다 저렴한 고주파 전극의 개발이라는 전제조건이 충족된 다음에야 그 유용성이 배가될 것으로 기대된다.

결론적으로 두 개의 전극을 이용하여 동시에 소작하는 방법은 하나의 전극으로 두 번 연속 소작하는 것보다 더 넓은 소작병변을 얻을 수 있어 여러 번 중첩 소작해야 하는 경우에 전극을 재위치 시키는 어려움을 덜어 줄 수 있고 또한 소작 시간을 줄일 수 있어 보다 저렴한 고주파 전극이 상용화되는 시점이 되면 고주파 열치료의 치료효율을 크게 향상시킬 수 있을 것으로 기대된다.

참 고 문 헌

1. Schafer DF, Sorrell MF. Hepatocellular carcinoma. *Lancet* 1999; 353:1253-1257
2. Allgaier HP, Deibert P, Olschewski M, et al. Survival benefit of patients with inoperable hepatocellular carcinoma treated by a combination of transarterial chemoembolization and percutaneous ethanol injection-a single-center analysis including 132 patients. *Int J Cancer* 1998;79:601-605
3. Goldberg SN, Gazelle GS. Radiofrequency Tissue ablation: physical principles and techniques for increasing coagulation necrosis. *Hepatogastroenterology* 2001;48:359-367
4. McGahan JP, Brock JM, Tesluk H, Gu WZ, Schneider P, Browning PD. Hepatic ablation with use of RF electrocautery in the animal model. *J Vasc Interv Radiol* 1992;3:291-297
5. Rossi S, Fornari F, Pathies C, Buscarini L. Thermal lesions induced by 480KHz localized current field in guinea pig and pig liver. *Tumori* 1990;76:54-57
6. 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

7. Goldberg SN, Gazelle GS, Dawson SL, Rittman WJ, Mueller PR, Rosenthal DI. Tissue ablation with radiofrequency using multiprobe array. *Acad Radiol* 1995;2:670-674
8. Rossi S, Di Stasi M, Buscarini E, et al. Percutaneous RF interstitial thermal ablation in the treatment of hepatic cancer. *AJR Am J Roentgenol* 1996;167:759-768
9. McGahan JP, Gu WZ, Brock JM, Tesluk H, Jones CD. Hepatic ablation using bipolar radiofrequency electrocautery. *Acad Radiol* 1996;3:418-422
10. Livraghi T, Goldberg SN, Monti F, et al. Saline-enhanced radiofrequency tissue ablation in the treatment of liver metastases. *Radiology* 1997;202:205-210
11. Goldberg SN, Gazelle GS, Compton CC, Mueller PR, Tanabe kk. Treatment of intrahepatic malignancy with radiofrequency ablation: radiologic-pathologic correlation. *Cancer* 2000;88:2452-63
12. 허정남, 임현철, 김용수 등. 전이성 간암의 고주파 열치료: 병행 항암화학요법의 효용성. *대한방사선의학회지* 2001;45:147-154
13. Rossi S, Buscarini E, Garbagnati F, et al. Percutaneous treatment of small hepatic tumors by an expandible RF needle electrode. *AJR Am J Roentgenol* 1998;170:1015-1022
14. Lorentzen T. A cooled needle electrode for radiofrequency tissue ablation: thermodynamic aspects of improved performance compared with conventional needle design. *Acad Radiol* 1996; 3:556-63
15. Miao Y, Ni Y, Mulier S, et al. Ex vivo experiment on radiofrequency liver ablation with saline infusion through a screw-tip cannulated electrode. *J Surg Res* 1997;71:19-24
16. Goldberg SN, Hahn PF, Halpern E, Fogle RM, Gazelle GS. Radiofrequency tissue ablation: effect of pharmacologic modulation of blood flow on coagulation diameter. *Radiology* 1998;209: 761-767
17. Patterson EJ, Scudamore CH, Owen DA, Nogy 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
18. Dodd GD, Frank MS, Aribandi M, Chopra S, Chintapalli KN. Radiofrequency thermal ablation: computer analysis of the size of the thermal injury created by overlapping ablations. *AJR Am J Roentgenol* 2001;177:777-782

대한방사선의학회지 2003;48:163 - 169

J Korean Radiol Soc 2003;48:163 - 169

An Experimental Study of Simultaneous Ablation with Dual Probes in Radiofrequency Thermal Ablation[1]

Il Soo Jang, M.D., Hyunchul Rhim, M.D., Byung Hee Koh, M.D., On Koo Cho, M.D., Heung Suk Seo, M.D., Yongsoo Kim, M.D., Youngsun Kim, M.D., Jeong-Nam Heo, M.D.

[1]*Department of Diagnostic Radiology, College of Medicine, Hanyang University*

Purpose: To determine the differences between sequential ablation with a single probe and simultaneous ablation with dual probes.

Materials and Methods: Using two 14-gauge expandable probes (nine internal prongs with 4-cm deployment), radiofrequency was applied sequentially ($n=8$) or simultaneously ($n=8$) to ten ex-vivo cow livers. Before starting ablation, two RF probes with an inter-probe space of 2 cm ($n=8$) or 3 cm ($n=8$) were inserted. In the sequential group, switching the connecting cable to an RF generator permitted ablation with the second probe just after ablation with the first probe had finished. In the simultaneous group, single ablation was performed only after connecting the shafts of both RF probes using a connection device. Each ablation lasted 7 minutes at a target temperature of 105 - 110$_{\circ}$C. The size and shape of the ablated area, and total ablation time were then compared between the two groups.

Results: With 2-cm spacing, the group, mean length and overlapping width of ablated lesions were, respectively, 5.20 and 5.05 cm in the sequential group ($n=4$), and 5.81 and 5.65 cm in the simultaneous group ($n=4$). With 3-cm spacing, the corresponding figures were 4.99 and 5.60 cm in the sequential group ($n=4$), and 6.04 and 6.78 cm in the simultaneous group ($n=4$). With 2-cm spacing, the mean depth of the proximal waist was 0.58 cm in the sequential (group and 0.28 cm in the simultaneous group, while with 3-cm spacing, the corresponding figures were 1.65 and 1.48 cm. In neither group was there a distal waist. Mean total ablation time was 23.4 minutes in the sequential group and 14 minutes in the simultaneous group.

Conclusion: In terms of ablation size and ablation time, simultaneous radiofrequency ablation with dual probes is superior to sequential ablation with a single probe. A simultaneous approach will enable an operator to overcome difficulty in probe repositioning during overlapping ablations, resulting in complete ablation with a successful safety margin.

Index words : Liver, interventional procedures
Liver, radiofrequency ablation

Address reprint requests to : Hyunchul Rhim, M.D., Department of Diagnostic Radiology, College of Medicine, Hanyang University, 17 Haengdang-dong, Seongdong-gu, Seoul 133-792, Korea.
Tel. 82-2-2290-9164 Fax. 82-2-2293-2111 E-mail: rhimhc@hanyang.ac.kr