

고주파 열치료시 간문맥과 열원사이의 거리에 따른 온도분포 해석 A Study on the Temperature Distribution between Haptic Portal Vein and Heat Source during the Procedure of Radio-Frequency Thermal Ablation

*강동원, 방윤환, 김세영, 문경률, 최진승, #탁계래

*D. W. Kang, Y. H. Bang, S. Y. Kim, J. S. Choi, K. R. Mun, #G. R. Tack (grtack@kku.ac.kr)
한국대학교 의료생명대학 의학공학부

Key words : Radio frequency thermal ablation, Haptic portal vein, Finite element method

1. 서론

간세포암을 치료하는데 있어서 근치적 절제술이나 간이식수술이 절대적 표준으로 알려져 있다[1]. 그러나 이러한 외과적 치료는 근치도가 높으나 침습도가 크기 때문에 그 적용에 있어 여러 가지 제약이 따르게 된다[2]. 최근에 침습도가 낮은 장점을 가지는 고주파 열 치료(radio-frequency ablation)가 도입되면서 여러 병원에서 적극적으로 시행하고 있으며[3], 환자 측에서만 뿐만 아니라 일부 의사들도 선호하는 치료법으로 자리 잡아가고 있다[4-7]. 이 기술은 100~500kHz(보통 460kHz)의 교류가 흐르는 전극을 조직 내에 침투시켜 주변조직의 이온떨림(ionic vibration)으로 인한 마찰열에 의해서 조직이 응고되는 원리를 이용한 것이다. 고주파 열치료의 효과에 대해서는 많은 보고가 있었으며, 국소 재발율이 18~38%로 보고된 바 있다[8]. 종양의 위치는 고주파 열치료 후 국소 재발과 관련한 중요한 인자 중 하나로서 종양이 간문부 근처에 있을 경우 인접한 큰 혈관의 열셋김 현상(heat-sink effect)으로 인해 잔존 종괴 없이 종양을 완전 소작(complete ablation)을 할 수 없다는 단점을 가지고 있지만 이러한 점에 대한 인식이 무시되고 있는 것이 현실이다 [2]. 따라서 본 연구에서는 고주파 열치료시에 혈관의 유무에 따른 열손실의 차이를 알아보기 위하여 유한요소해석과 실제 시술 시의 환경과 유사한 실험을 통해 분석하였다.

2. 실험 방법 및 조건

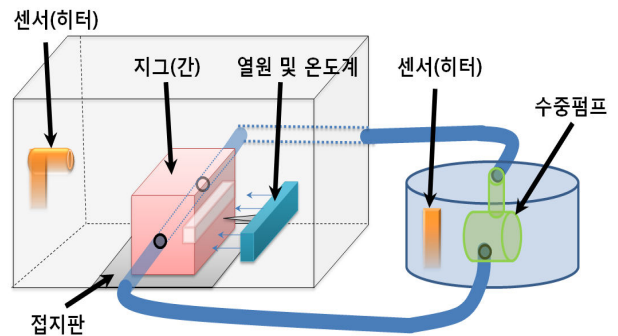
고주파 열치료시 열손실의 차이를 분석하기 위하여 시술시의 실제 환경과 유사한 실험 설계를 위하여 몇 가지 조건을 제시하였다. 첫 번째로 간조직의 초기 온도는 약 36.5°C로 설정하였다. 두 번째로 간 조직은 정상 조직의 물성특성을 갖고 있으며 45°C ~ 50°C 이상에서 괴사된다. 마지막으로 간 내 전도는 원형으로 전도된다고 가정하였다. 실험에서 사용하는 고주파 열 치료기는 M-2000H (High frequency surgical unit, Medsun Co., Korea)를 사용하였으며 온도분포의 측정은 10채널 디지털 온도측정기 MV200(Yokogawa Electric Co., Japan)를 사용하였다. 고주파 열 치료기의 전극바늘은 창 모양(lancet Electrode)으로 전극은 매우 높은 전류 밀도를 형성하고 절개가 가능할 정도의 높은 온도를 조직에 가하였다.

그림1은 고주파 열치료시의 유사한 환경과 실험 설계 조건을 갖추기 위한 시스템의 구성도와 실제 제작된 실험 장치를 보여주고 있다. 여기서 간 내 혈관에서의 영향을 살펴보기 위하여 인체의 온도와 유사한 약 36.5°C의 물을 0.5cm의 반지름을 가지는 고무튜브를 이용하여 흘려보내 줄 수 있도록 설계하였다. 물의 온도는 히터기와 온도계를 이용하여 36.5°C를 유지하게 하였으며 펌프를 사용하여 물을 순환시킬 수 있게 하였고 수압을 조절할 수 있도록 조리개를 설치하였다. 이것은 고주파 치료를 하였을 경우 유체에 대한 열의 손실로 혈관과 열원사이의 거리에 따른 온도측정을 통해 정확한 온도분포를 확인하기 위함이다. 또한 지그를 설치하여 탄성이 강한 간 시편을 고정시켜 주었으며 열원의 접지판과의 접촉을 위하여 하단은 개방되게 설계하였다. 정면은 열원과 온도측정을 위해 전방에 가로로 5mm의 삽입공간을

만들었다.

3. 실험 순서

실험은 소의 간을 대체하여 실시하였다. 실험에 앞서 간을 지그 크기에 맞춰 자른 뒤, 40°C 내외의 물에 담고 초기 온도(약 36.5°C)를 맞춘다. 지그에 삽입한 간을 접지판위에 고정시키고 열원 및 온도계(MV-200)를 가상의 혈관인 튜브에 6mm 떨어진 곳에 삽입한다. 히터를 작동시켜 Chamber 내부의 온도를 36.5°C로 유지한다. 마지막으로 3.9MHz의 고주파를 발생시켜 120초간 온도분포를 측정한다. 온도분포는 열원에서 반경 3, 5, 7, 9, 11mm 떨어진 곳에서 측정하였다.



(a) 시스템 구성도



(b) 실제 제작된 실험장치

그림.1 실험 설계 조건과 흡사한 환경을 갖추기 위한 시스템의 구성도와 실제 제작된 실험장치

4. 유한 요소해석 모델링

유한요소해석에 사용된 프로그램은 다중물리현상을 분석하는데 용이한 COMSOL Multiphysics(COMSOL Inc., Sweden)를 사용하였다. Chang과 Nguyen의 모델을 기초로 하여 간조직의 영역은 단순화된 실린더 형태로 구성하였으며[9], 앞에 언급된 실험 설계의 조건과 동일하게 하기 위하여 혈관의 반지름은 0.5cm로 적용하였으며 열전달 분석을 위한 생체 열전달 방정식은 Pennes가 제시한 공식을 이용하였다[10]. 그림2는 혈관이 삽입된 유한요소 모델링을 나타내며 열원이 혈관에서 6mm 떨어진 곳에서의 온도분포와 혈관이 존재하지 않는 상태에서의 온도분포 차이를 분석하였다.

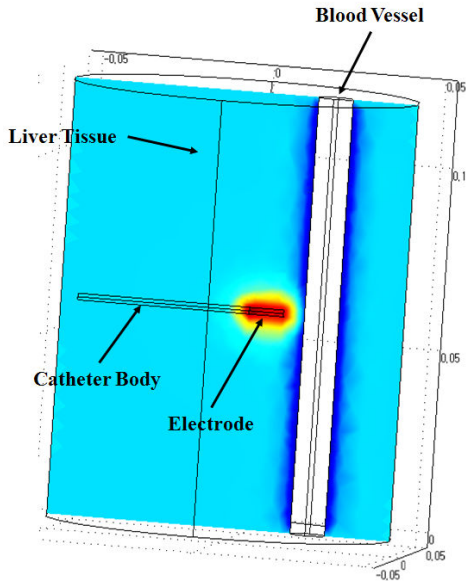
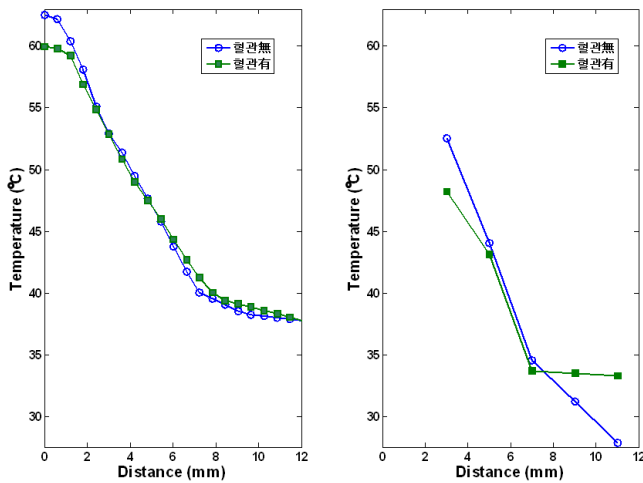


그림.2 혈관이 삽입된 유한요소 모델링

5. 결과

그림3은 120초간 고주파 열치료를 했을 경우의 유한요소해석과 실제실험의 결과이다. 실제 실험의 경우 열원과의 거리가 9mm 이내에서는 혈관이 존재하지 않을 때 높은 온도를 보였으며 9mm 이상일 경우에는 반대로 혈관이 존재할 때 온도가 높고 더욱 넓게 퍼지는 것을 알 수 있다. 유한요소해석의 경우 실제실험과 마찬가지로 혈관의 유무에 따른 온도분포 차이를 나타내었다. 하지만 혈관에 의한 열퍼짐 현상은 5.4mm로 차이를 보였으며 전체적인 온도의 분포가 실제 실험보다 높음을 알 수 있었다. 또한 열원 중심부에서의 열손실의 차이를 나타내었다. 실제 시험에서는 열원과의 거리가 3mm인 경우에 혈관의 유무에 따라 4℃의 온도 차이를 보였지만 유한요소해석의 경우 0.06℃의 근소한 차이만을 나타내었다.



(a) 유한요소해석

(b) 실제 실험

그림.3 혈관의 유무와 열원과의 거리에 따른 온도분포

6. 결론

본 연구에서는 고주파 간 중앙 절제술 시의 혈관의 영향에 대하여 분석하였다. 혈관의 유무에 따른 온도손실과 열퍼짐 현상을 알아보기 위하여 실제 시술과 유사한 환경의 실험과 유한요소해석을 통하여 비교하였다. 실험결과 두 가지 모두 혈관의 유무에 따라 열손실과 열퍼짐 현상을 나타내는 온도분포를 보였지만 거리에 따른 온도손실과 전체적인 온도가 큰 차이를

나타내었다. 이러한 차이는 유한요소해석에 있어서 실제실험과 다르게 간 조직이 열에 의해 변화되는 물성치를 예측하여 모델링하기 어렵다는 점에서 온도 차이가 발생한다고 사료된다. 또한 실제 실험의 경우는 초기 조건에 맞는 온도를 유지하는 것이 어렵다는 점과 디지털 온도계를 사용하는데 있어서 열치료시 고주파나 전류에 대한 영향을 받게 되고 간 내에 삽입하는 과정에서 정확한 위치에 고정시키기가 어렵다는 점에서 유한요소해석과 차이를 보이게 된다. 따라서 유한요소모델링에 있어서 변화되는 물성치에 관한 고찰이 필요하며 실제 실험에서는 디지털 온도측정계가 가지는 단점을 보완해 주기 위해 현재 자체 개발중인 비 침습적인 광섬유를 이용한 온도측정 장비를 사용한다면 더욱 정밀한 분석을 하는데 용이하다고 사료된다.

후기

본 연구는 한국과학재단 특장기초연구(R01-2006-000-11131-0) 지원으로 수행되었음.

참고문헌

1. Castells A, Bruix J, Bru C, et al., "Treatment of small hepatocellular carcinoma in cirrhotic patients: a cohort study comparing surgical resection and percutaneous ethanol injection," *Hepatology*, Vol.18, pp.1121-1126, 1993.
2. 이성대, "간세포암에 대한 일차치료로 고주파 열치료를 받은 환자의 특징과 재발양상에 대한 관찰," *한국간담췌외과학회지*, Vol.7, No.1, pp.55-60, 2003.
3. 이성대, 김찬영, 유희철, 이정민, 김대근, 조백환, "간세포암에 대한 일차치료로 고주파 열치료를 받은 환자의 특징과 재발양상에 대한 관찰," *한국간담췌학회지*, Vol.7, No.1, pp.55-60, 2003.
4. Goldberg S. N., Gazelle G. S., Mueller P. R., "Thermal ablation therapy for focal malignancy: a unified approach to underlying principles, techniques, and diagnostic imaging guidance," *Proceeding of SPIE*, Vol.3594, pp.2-13, 2000.
5. Rossi S., Buscarini E., Garbagnati F., Distasi M., Quaretti P., Rago M., Zangrani A., et al. "Percutaneous treatment of small hepatic tumors by an expandable RF needle electrode," *American journal of roentgenology*, Vol.170, No.4, pp.1015-1022, 1998.
6. Solbiati L., Goldberg S. N., Ierace T., Livrachi T., Meloni F., et al., "Hepatic metastases : Percutaneous radio-frequency ablation with cooled-tip electrodes," *Radiology*, Vol.205, No.2, pp.367-373, 1997.
7. Shankar S., Sonnenberg E. V., Morrison P. R. Tuncali K., Silverman S. G., "Combined Radiofrequency and Alcohol Injection for Percutaneous Hepatic Tumor Ablation," *American journal of roentgenology*, Vol.183, No.5, pp.1425-1429, 2004.
8. Bilchik AJ, Wood TF, Allegra D, et al. "Cryosurgical ablation and radiofrequency ablation for unresectable hepatic malignant neoplasm: a proposee algorithm," *Arch Surg*, Vol.135, pp.657-664, 2000.
9. I.A. Chang and U.D. Nguyen, "Thermal modeling of lesion growth with radiofrequency ablation devices," *Biomedical Engineering Online*, 3:27, 2004
10. H. Pennes, "Analysis of Tissue and Arterial Blood Temperatures in the Resting Human Forearm," *Journal of Applied physiology*, Vol. 1, No. 2, pp. 93-122, 1948.