

<원저>

초음파 진단모드에 따른 체표면 온도변화와 열효과에 관한 고찰

- A Study on Changes in Body Surface Temperature and Thermal Effect According to Ultrasound Mode -

^{1)일신기독병원 영상의학과·^{2)인제대학교 해운대백병원 영상의학과}}

양성희¹⁾·이진수²⁾

— 국문초록 —

최근 고위험 임신군이 증가함에 따라 과거에 비해 음향과워 세기가 높은 도플러초음파 이용이 산전 진단에서 점차 증가하고 있으며, 여러 기관에서 가이드라인을 설정하여 과도한 노출을 자제하고 있다. 따라서 본 연구에서는 장시간 초음파검사 실시에 따른 검사모드 별 체표면의 온도변화를 알아보고 열효과에 영향을 받지 않는 노출시간을 고찰해 보고자 하였다. 시간경과에 따른 B mode, C mode, PD mode 별 초음파를 조사한 부위와 조사하지 않은 부위의 온도변화를 측정하여 차이를 비교하였으며 B mode는 초음파 조사 후 10분, 50분에서, C mode는 20분부터, PD mode는 30분부터 온도변화에 유의한 차이를 나타내었다($p<0.01$). 측정시점에 따라 3개의 mode에서 모두 온도상승에 차이를 보였으며($p<0.000$), PD mode가 가장 온도변화에 민감한 반응을 나타내었다. 또한 초음파 노출시간이 증가함에 따라 온도상승 시간이 짧아짐을 알 수 있었다. 따라서 배아나 태아를 관찰하기 위한 초음파검사 시 과도한 검사시간을 피하여 진단목적으로만 신속하게 사용할 것을 권고한다.

중심 단어: 열효과, 밝기 모드, 컬러 모드, 파워도플러 모드

I. 서 론

산부인과 영역에서의 초음파검사(ultrasonography)는 비 침습적(non-invasive)으로 단순한 임신의 확인, 태아의 위치와 수 및 태반 상태의 평가, 기형의 진단 및 초음파 유도 하 시술에 이르기까지 전반적인 영역에서 폭넓게 사용되고 있다. 또한 최근에는 고위험 임신군이 증가함에 따라 과거에 비해 도플러나 사차원초음파 같은 새로운 기법의 초음파 이용이 산전 진단에서 점차 증가하고 있다[1]. 2015년 전국 6개 도시에서 현재 임신 중이거나 1년 이내에 출산한 여성 약 800명을 대상으로 한 설문조사에서는 평균 7.5회의 초음파검사를 받았다고 보고하였다. 하지만 의료 선진국에서

는 산전 초음파검사를 특별한 경우를 제외하고는 3회 정도로 제한하고 있으며 이는 우리나라가 필요이상의 초음파검사를 시행한다는 것을 의미한다[2]. 한국식품의약품안전처(ministry of food and drug safety in korea)에서는 2007년 진단초음파의 안전성에 대한 가이드라인을 설정하여 불필요한 과도한 노출은 피해야한다고 권고하고 있다. 특히 컬러나 도플러를 사용하는 초음파 영상진단장치의 경우 출력 음향과워의 세기가 제한치를 넘기기도 하기 때문에 사용자 측면에서 신중한 주의를 필요로 한다고 강조하였다[3].

진단초음파가 인간에게 미치는 잠재적인 생물학적 효과(bio effect)에 대한 현재 보고는 없으며 의학적으로 초음파검사를 시행하는 것은 우려할 필요는 없다고 주장하지만, 임신한 쥐를 대상으로 한 장시간 초음파조사를 실시한

동물연구에서 세포손상에 의해 무뇌증(anencephaly), 척추갈림증(spina bifida), 뇌탈출증(encephalocele), 소뇌증(microcephaly) 등이 유발한다고 보고되고 있다[4].

초음파가 생체조직에 영향을 주는 중요한 기전은 초음파가 조직을 투과하는 과정에서 파동의 진폭이 감소하여 그 진폭이 줄어든 만큼 에너지는 열로 변환되어 흡수에 의해 조직의 온도가 상승하는 열효과(thermal effect)와 공동화(cavitation) 같은 비열효과가 있으며 태아에게 미치는 중요한 기전은 열효과로 알려져 있다[5]. 아직까지 고열에 의한 태아기형이나 발달장애가 입증된 보고는 없으나 쥐를 대상으로 한 연구에서와 마찬가지로 태아에게도 미칠 수 있는 영향의 가능성을 고려하여야 한다[6].

초음파진단에 사용되는 주요 모드(mode)에는 밝기(bright mode; B mode), 컬러(color mode; C mode), 파워도플러(power doppler; PD mode) 등이 있다. 따라서 본 연구에서는 주로 진단에 사용되는 B mode와 함께 임신초기 태아의 심음(heart beat) 및 움직임을 가시화하기 위해 사용되는 C mode나 PD mode의 초음파 검사시간에 따른 체표면 조직의 온도변화의 값을 도출하여 열효과에 영향을 받지 않는 노출시간을 고찰해 보고자 한다.

II. 대상 및 방법

1. 실험대상

2017년 1월~3월까지 인체온도의 영향을 줄 수 있는 특별한 질병이 없으며 온도변화의 폭이 적은 건강한 가임기 여성 30명을 대상으로 동의를 구한 후 실험을 진행하였다. 평균 나이는 22.63세, 평균 체질량지수(body mass index; BMI)는 20.66 kg/m²이었으며, 이마온도를 측정 후 평균 체온을 벗어난 군은 실험에서 제외하였다.

초음파장비는 주파수 7.5~10 MHz, 중심주파수 10 MHz의 Linear array probe(LOGIQ P6-PRO, GE, USA)를 사용하였다. 온도측정에 사용된 온도계는 피부와의 접촉 시 발생할 수 있는 오차를 줄이고자 비접촉식 온도계(Thermofinder S HFS-900, HuBDIC, korea)를 사용하였다.

2. 실험방법

1) 온도변화 측정

실험 시작 전 실내 온도에 의한 오차를 줄이고자 평균 24~26°C로 유지하였으며, 초음파의 투과력을 향상시키기 위

해 초음파 탐촉자(transducer)에 소량의 젤(gel)을 도포하여 실험시작 전 스캔 하지 않은 채 10분 경과 후 왼쪽허벅지(실험군)와 오른쪽허벅지(대조군)의 온도를 측정하였다.

왼쪽허벅지에 각각의 모드 즉 B mode, C mode, PD mode에 따라 일반적으로 초음파검사 시 탐촉자로 가해지는 정도의 압력을 가한 뒤 좌우로 움직여가며(swing) 초음파스캔을 실시하였다. 10분에서 50분까지 10분 간격으로 비접촉식 온도계를 사용하여 피부와 최대한 가까운 거리(2 cm)를 유지하여 측정하였다. 3회 측정 후 측정된 3회의 평균 온도값을 산출하였다[7]. 오른쪽허벅지에는 초음파스캔을 하지 않은 채 왼쪽허벅지와 마찬가지로 10분 간격으로 온도를 측정하였다.

스캔을 위한 조건은 B mode는 TIS(thermal index tissue) 0.3, 주파수 10 MHz, 출력 100 %, Depth 4 cm, C mode와 PD mode는 TIS 0.4, B mode와 동일한 조건하에 color box 즉 ROI(region of interest)는 가로 3.4 cm, 세로 2.3 cm로 지정하였다.

2) 통계분석

초음파 조사 시간에 따른 온도변화의 표준편차 범위 내 평균값을 구하였다. 시간에 따른 양쪽허벅지 온도의 차이분석은 독립표본 T검정(Independent t-test)을, 각 모드에 따른 조사시간 별 온도차이분석은 반복측정 분산분석(Repeated measure ANOVA)을 사용하였다. 수집된 자료의 통계분석은 SPSS(statistics software version 24.0 IBM, USA)를 이용하여 처리하였으며, 모든 통계량의 유의수준은 $p < 0.05$ 로 정하였다.

III. 결 과

1. 체표면 온도변화

초음파 조사 전(base)을 포함하여 조사 후 10, 20, 30, 40, 50분 각 6단계로 분류하여 온도변화를 관찰하였으며, 초음파를 조사한 왼쪽허벅지에서는 모드 별 평균 온도값이 시간이 경과함에 따라 증가하였다. 반면 초음파를 조사하지 않은 오른쪽허벅지에서는 일정한 온도를 유지하였다.

B mode에서 초음파 조사 후 왼쪽허벅지의 시간에 따른 평균 온도변화는 10분 후에 일시적으로 온도가 감소하다가 서서히 증가하였으며, 10분($p=0.018$), 50분($p=0.007$)에서 통계적으로 유의한 차이를 나타냈다(Table 1).

C mode에서는 온도감소 없이 일정하게 상승하였으

Table 1 Change in thigh temperature difference with time in B mode

Time (min)	Area	Temperature (mean±SD)	<i>t</i>	<i>p</i> value
Base	Right	35.80±0.35	-1.739	0.087
	Left	35.63±0.41		
10	Right	35.84±0.36	-2.454	0.018
	Left	35.46±0.78		
20	Right	35.87±0.47	-1.585	0.118
	Left	35.59±0.82		
30	Right	35.95±0.35	-0.991	0.326
	Left	35.84±0.52		
40	Right	35.97±0.33	1.023	0.311
	Left	36.06±0.34		
50	Right	35.97±0.31	2.823	0.007
	Left	36.21±0.32		

Table 2 Change in thigh temperature difference with time in C mode

Time (min)	Area	Temperature (mean±SD)	<i>t</i>	<i>p</i> value
Base	Right	36.09±0.17	-0.416	0.679
	Left	36.06±0.25		
10	Right	36.05±0.15	0.393	0.696
	Left	36.08±0.32		
20	Right	36.12±0.16	2.648	0.010
	Left	36.26±0.24		
30	Right	36.13±0.14	5.040	0.000
	Left	36.35±0.19		
40	Right	36.20±0.29	4.132	0.000
	Left	36.49±0.27		
50	Right	36.14±0.19	7.633	0.000
	Left	36.59±0.26		

Table 3 Change in thigh temperature difference with time in PD mode

Time (min)	Area	Temperature (mean±SD)	<i>t</i>	<i>p</i> value
Base	Right	36.10±0.30	-0.241	0.810
	Left	36.08±0.30		
10	Right	36.11±0.38	0.671	0.505
	Left	36.19±0.45		
20	Right	36.13±0.28	1.914	0.061
	Left	36.28±0.34		
30	Right	36.18±0.22	3.110	0.003
	Left	36.40±0.30		
40	Right	36.15±0.23	4.000	0.000
	Left	36.50±0.40		
50	Right	36.20±0.26	5.447	0.000
	Left	36.65±0.37		

며, 조사 후 20분($p=0.010$)부터 유의한 차이를 보였다(Table 2).

PD mode의 경우 C mode와 마찬가지로 온도감소 없이

일정하게 상승하였으며, 조사 후 30분($p=0.003$)부터 시간이 경과함에 따라 유의한 차이를 보이며 온도가 상승하는 경향을 보였다(Table 3).

2. 시간에 따른 모드별 온도차이

왼쪽허벅지(실험군)의 모드 별 온도변화의 평균과 표준편차는 B mode $35.80 \pm 0.62^\circ\text{C}$, C mode $36.30 \pm 0.31^\circ\text{C}$, PD mode $36.35 \pm 0.41^\circ\text{C}$ 로 측정되었다(Table 4). 다변량 검정에서 측정 시점에 따른 온도변화는 유의한 차이를 보였으며 ($p=0.000$), 개체 간 효과검정에서 모드에 따라 측정시간 별 온도변화 역시 통계적으로 유의한 차이를 나타내며 변화하였다($p=0.000$), (Fig. 1).

Table 4 Change in left thigh temperature of each mode

N=30	Temperature	F	p value
B mode	35.80 ± 0.62		
C mode	36.30 ± 0.31	23.236	0.000
PD mode	36.35 ± 0.41		

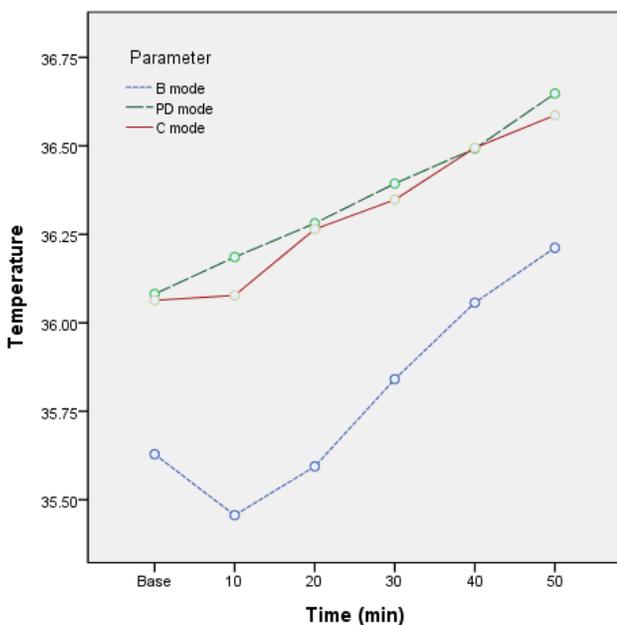


Fig. 1 Change in left thigh temperature of each mode compared to base with times

IV. 고찰

현재 산과 영역에서 초음파검사는 산전 관리, 진단의 핵심을 이루는 검사 중 하나로 중요한 역할을 하고 있으며 대다수의 의사나 산모는 초음파가 태어나 배아에게 안전할 것이라는 막연한 믿음으로 검사를 시행하고 있다. 현재까지 태아에게 영향을 줄 수 있는 가장 잘 알려진 원인은 고열이

며, 고열(hyperthermia)은 뼈가 있는 조직에서 가장 많은 흡수가 일어나고 두개골로 둘러싸인 신경계에 가장 많은 영향을 일으킨다고 하였다[1].

포유류를 포함한 동물실험에서 열효과는 뼈의 경계면에서 가장 크다고 알려졌으며, 생체조직의 온도상승과 손상이 입증되었다. 또한 세포분열을 멈추게 하고 때로는 분열되고 있는 세포를 파괴시킬 수 있어 모체의 급격한 온도상승은 배아의 뇌 발달과 기능에 심각한 문제를 일으키기도 한다. 이런 효과는 관류(perfusion)가 부족한 임신 초기에서 생물학적 영향이 뚜렷하다. 이러한 이론을 바탕으로 동물실험의 결과를 인간에게 그대로 적용시키는 것은 무리가 있지만 간과할 수는 없다[8,9].

산부인과에서 실시되는 임신초기 초음파검사는 특별한 경우를 제외하고는 대부분 고주파수의 경질초음파(vaginal ultrasonography)를 시행하고 있으며, 태아의 심음을 확인하기 위해 펄스도플러나 칼라도플러를 추가로 사용하고 있다. Merritt 등[10]의 연구에서 초음파의 주파수가 높거나 강도가 높을수록 온도가 증가하며 또한 노출시간이 길수록 온도의 상승이 커진다고 보고하였으며, 도플러초음파의 경우 1.5°C 이상의 온도상승을 유발할 수도 있으므로 우리나라에서만 아니라 국제초음파협회(World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology; WFUMB), 미국 FDA(Food and Drug Administration), EU의 EFSUMB(European Federation of Societies for Ultrasound in Medicine and Biology)등에서는 음향출력에 대한 한계치를 제시하여 출력이 높은 도플러 등의 초음파 이용은 조심스럽게 사용해야 한다고 권고하고 있다[11].

국내에서 진행된 초음파의 열효과에 관한 연구는 실제 산모를 대상으로 진행되지는 못하였다. 유 등[12]의 인체모사조직을 이용한 온열효과에 관한 연구에서 초음파 트랜스듀서의 재질에 따라 온도상승에 차이가 있음을 밝힌바 있으며, 정 등[13]은 생체모의매질을 이용하여 온도상승효과를 비 침습적으로 가시화하여 확인함으로써 유효성을 검증하기도 하였다. 김 등[7]의 평균 나이 29세 여성에게 실시한 주파수 3.5 MHz convex probe B mode를 이용한 허벅지 온도변화에 대한 연구에서는 초음파 검사 시 50분부터 온도가 검사 전 보다 1°C 이상 상승하는 것을 확인하였으며 40분 내에 초음파검사를 시행하는 것이 안전하다고 추론하였다. 하지만 실제로 임상에서 사용되어지는 경질초음파와는 환경적으로 차이가 있으며 다양한 파라미터의 연구가 이루어지지 못하는 것이다.

따라서 본 연구에서는 문헌고찰에 의해 비교적 연부조직이 많은 허벅지 체표면의 온도를 측정하여 초음파 조사 시

온도가 상승하면 하복부의 온도도 올라갈 것이라는 가정에 연구를 진행하였다. 또한 임신초기 태아 초음파검사 시 실시하는 경질초음파와 비슷한 고주파수와 검사 깊이로 초음파를 조사한 체표면과 조사하지 않은 체표면의 온도를 비교함과 동시에 일반적으로 사용하는 B mode와 함께 C mode, PD mode의 유의미한 온도변화 차이를 고찰하고 안전 한 노출시간의 기준을 마련하고자 하였다.

그 결과 B mode에서는 초음파를 조사한 허벅지의 경우 조사 후 50분부터 검사 전보다 0.58°C 상승하였으며 조사하지 않은 허벅지와 유의한 온도차이를 나타내었다 ($p=0.007$). 조사 후 10분에서는 오히려 일시적으로 온도가 하강하였다. 이것은 젤(gel) 도포로 인한 온도저하 효과와 혈류의 냉각(cooling)효과로 사료되며 김 등[7]의 연구와 일치하는 결과를 나타내었다. C mode에서는 B mode에서처럼 일시적인 온도 하강은 일어나지 않았으며 조사 후 20분부터 유의한 온도차이가 나타났었다($p=0.010$). PD mode에서는 조사 후 30분부터 유의한 차이를 보이며 지속적인 온도 상승을 나타내었다($p=0.003$). 조사 시간에 따른 모드 별 전체 평균온도의 차이분석에서는 PD mode에서 가장 민감한 온도상승의 경향을 보였다($p=0.000$).

본 연구의 제한점은 가임기 여성 30명을 대상으로 소규모 실험을 진행하였고, 실험 방법에서 탐촉자 자체 마찰에 의한 온도상승의 변화는 보완하지 않았다. 또한 초음파에 노출되지 않은 체표면에 비해 노출 된 체표면은 일정 시간이 후 온도상승에 있어서 유의미하게 차이를 보이며 상승하였지만 1°C 이상 급격히 상승하는 결과를 나타내지는 않았다. 또한 사람을 대상으로 한 직접 경질초음파를 시행하여 실시 되지 못하여 연구결과를 체표면 조직의 온도상승 시간을 절대적 기준으로 보기에는 한계가 있다. 그러나 태아의 기초 체온이 모체의 체온보다 $0.3\sim 0.5^{\circ}\text{C}$ 더 높고, 연부조직이나 뼈에서는 초음파 에너지를 더 많이 흡수한다는 것을 감안할 때 실험에서 나타난 결과보다 더 많은 온도상승이 일어날 수도 있음을 고려해야 한다[14].

현재 초음파 열효과에 의한 임신초기 태아손실이나, 염색 체이상, 기형, 소아암, 태아성장이상, 신경학적 발달이상 등이 인간에게서 뚜렷하게 나타났다는 보고는 없으며, 이러한 두려움 때문에 의학적으로 필수적인 초음파검사의 시행을 주저할 필요는 없다.

따라서 이러한 이론적인 근거를 바탕으로 잠재적인 태아에 대한 생물학적 효과와 부작용으로 인해 오랜 시간의 초음파 노출은 자제할 것을 경고하며, 대규모 연구에 의한 역학적조사로 초음파 위해성에 대한 객관적인 자료의 마련이 필요하다고 사료된다.

V. 결 론

본 연구는 초음파진단에 사용되는 진단모드 별 시간에 따른 온도상승의 유의성을 살펴보고 배아나 태아를 관찰하기 위한 초음파검사 시 열효과에 영향이 없는 시간을 고찰하고자 진행되었다. 결과적으로 B mode는 초음파 조사 후 50분, C mode는 20분 PD mode는 30분에서 유의한 차이를 보이며 온도는 상승하였으며, PD mode에서 가장 민감한 반응을 나타내었다. 또한 노출시간이 증가함에 따라 온도상승의 시간이 짧아짐을 알 수 있었다. 따라서 임신 초기 배아나 태아를 관찰하기 위한 초음파검사 시 PD mode는 조심스럽게 사용할 필요가 있으며, 과도한 검사시간을 피하여 신속하게 진단목적으로만 시행되어야 할 것이다. 또한 산전초음파를 시행하는 검사자는 초음파의 생물학적 효과를 충분히 숙지하고 무분별한 남용은 자제할 것을 권고한다.

REFERENCES

1. Park JS: Is Diagnostic Ultrasound Harmful to the Fetus?. The Journal of the Korean Medical Association., 51, 823-830, 2008
2. Kim SH, Im SJ, Kang HL, Choi EH, Kim YL, Kim AL: A basic research study for strengthening pregnancy and childbirth support. National Health Insurance Service., 30-37, 2015
3. Guidelines for the safety of ultrasonic medical devices, ministry of food and drug safety in korea, 2004
4. Ang ES Jr, Gluncic V, Duque A, Schafer ME, Rakic P: Prenatal exposure to ultrasound waves impacts neuronal migration in mice. Proceedings of the National Academy of Sciences of the United States of America. 103, 12903-12910, 2006
5. Sim HS: Ultrasonography Anatomy & Scan Technique 3rd edition, Hanmi Medical Publishing Co, 85-87, 2016
6. Abramowicz JS: Prenatal exposure to ultrasound waves: is there a risk?. Ultrasound in Obstetrics & Gynecology., 29, 363-367, 2007
7. Kim JW, Im HS: A Study On Temperature Changes In Thigh According To Diagnostic Ultrasonography Scan Time. Journal of the Korean Society of Radiology, 6, 201-206, 2012

8. Abramowicz JS, Barnett SB, Duck FA, Edmonds PD, Hynynen KH, Ziskin MC: Fetal thermal effects of diagnostic ultrasound. *Journal of ultrasound in Medicine*, 27, 541–559, 2008
9. Bly S: Obstetric ultrasound biological effects and safety. *Journal of Obstetrics and Gynaecology Canada*, 27, 572–580, 2005
10. Merritt CR, Kremkau FW, Hobbins JC: Diagnostic ultrasound bioeffects and safety. *Ultrasound Obstetric & Gynecology*, 2, 366–374, 1992
11. Sheiner E, Shoham VI, Hussey MJ, et al.: First-trimester sonography: is the fetus exposed to high levels of acoustic energy?. *Journal of Clinical Ultrasound*, 35, 245–249, 2007
12. Yoo SH, Choi WJ, Lee SW: A Study on the Actual Output and Thermal Effect in Tissue Mimicking Phantom by the Material of the Ultrasonic Transducer. *Korean Society of Physical Medicine*, 10, 91–97, 2015
13. Jung JH, Kim JS, Ha KL, Kim MJ, Cao YG: Tissue Mimicking Phantom for Visualization of Temperature Elevation Caused by Ultrasound. *The Journal of the Acoustical Society of Korea*, 33, 291–299, 2014
14. Arther RM, Gurumurthy KV: A single-pole model for the propagation of ultrasound in soft tissue. *The Journal of the Acoustical Society of America*, 77, 1589–1597, 1985

•Abstract

A Study on Changes in Body Surface Temperature and Thermal Effect According to Ultrasound Mode

Sung-Hee Yang¹⁾·Jin-Soo Lee²⁾

¹⁾*Department of Radiology, Ilsin Christian Hospital*

²⁾*Department of Radiology, University Haeundae Paik Hospital*

Recently, as the number of high-risk pregnancies increases, the use of new techniques such as Doppler, which have higher acoustic power than in the past, has been increasingly used in prenatal diagnosis and guidelines have been set up by various organizations to prevent excessive exposure. Therefore, in this study, we tried to investigate the temperature change of the body surface for each test mode according to the long time ultrasound examination and to examine the exposure time which is not influenced by the thermal effect. B mode, C mode, and PD mode according to time, and the temperature difference between exposed and unexposed sites were compared. As a result, the B mode showed a significant difference in the temperature change from 10 minutes, 50 minutes after exposed, 20 minutes from the C mode, and 30 minutes from the PD mode ($p < 0.01$). In all three modes, the temperature difference was different ($p < 0.000$), and PD mode was the most sensitive to temperature change. Also, it was found that the temperature rise time was shortened with the increase of the ultrasonic exposure time. Therefore, it is recommended that ultrasonography to observe the embryo or fetus should be used only for diagnostic purposes, avoiding excessive test time.

Key Words: Thermal effect, B mode, C mode, PD mode