한국정보전자통신기술학회논문지(jkiiect)'16-02, Vol.9 No.1
논문 15-09-01-045 http://dx.doi.org/10.17661/jkiiect.2016.9.1.045

초음파 집속을 위한 트랜스듀서 어레이 집속 각도 설정

이상식*

A transducer array for focusing the ultrasound setting angle

Sang-sik Lee*

요 약 비만을 치료하기 위해 다양한 비만 치료기가 개발되어 왔으며, 초음파는 온열 및 진동작용으로 지방이 분해가 되기 쉬운 상태로 변하게 만든 후 혈액 및 림프액의 흐름을 촉진시켜 혈액으로 지방산 배출이 될 수 있도록 한다. 이러한 초음파 비만 치료기에 트랜스듀서 어레이가 사용되는데 트랜스듀서 어레이의 집속각도와 주파수는 지방을 분해하는데 중요한 영향을 미칠 수 있다. 본 논문에서는 트랜스듀서 어레이의 주파수를 설정하기 위해 27kHz, 1MHz, 3MHz의 주파수에 직경 5mm, 10mm, 16mm의 트랜스 듀서를 적용하여 파장과 근위장을 구하여 설정온도에 가장 짧은 시간에 도달하는 주파수를 설정하고, 3개 면이 닿는 트랜스듀서의 집속 각도를 설정하였다. 결과적으로 3MHz 주파수 일 때 설정온도에 도달하는 시간이 짧았으며, 집속각도는 40°가 적정하였다.

Abstract The treatment of obesity have been developed various devices for the treatment of obesity, the ultrasound is to be made after the state changes to become easy fat decomposition by heat and vibrations to facilitate the flow of blood and lymph fatty acid released into the blood. There is such ultrasonic transducer array is used in obesity therapy focusing angle of the transducer array and the frequency may have a significant impact on the degradation of fat. In this paper, we set the frequency that reaches the shortest time to a set temperature 27kHz, 1MHz, by applying a transducer with a diameter of 5mm, 10mm, 16mm for the frequency of 3MHz, obtain the wavelength and near the stomach in order to set the frequency of the transducer array , which was set to the focusing angle of the transducer with three contact surfaces. As a result, the time to reach the set temperature was short days when 3MHz frequency, the focusing angle is titrated is 40 °.

key words : Transducer array, Obesity treatment device, Frequency , Ultrasonic, Ultrasonic focusing

1. 서론

의료용으로 사용되는 초음파는 진단뿐 만 아니라, 초음파가 가지는 가온, 진동 효과를 이용하여 통증완화, 노화억제, 비만 예방 및 치료, 피부탄력 증가 및 영영성분의 피부 투입 등 다양한 영역에서 활용되고 있다. 초음파의 온열 및 진동작용을 통해 지방의 분해가 되기 쉬운 상태로 변하게 만든 후 혈액 및 림프액의 흐름을 촉진시켜 혈액으로 지방산 배출을 원활히 할 수 있도록 하여 체내에 축적된 지방을 분해, 배출 될 수 있도록 한다.[2]

또한 굴곡이 있는 피부에서도 효율적인 초음파 전달이 가능하도록 트랜스튜서 어레이의 집속 각도가 중요하다. 트랜스듀서에서 방출되는 초음파는 near range 안에서 하나의 집속점으로 집속되고, 이 때 집중되는 에너지에 의해 온열 및 진동효과가 극대화 되게 된다. 집속점을 벗어나는 초음파 에너지는 확산되어 퍼지므로 다른조직에는 영향을 미치지 않고 목표하는 부분에만 강력한 초음파 에너지를 전달하여 안전하고 효율적인 지방분해가

This work was supported by research fund of Catholic Kwandong University(CKURF-201407130001)
* Corresponding Author : Biomedical Engineering, Catholic Kwandong University, Gangneung, Korea(lsskyj@cku.ac.kr)
Received Janurary 12, 2016 Revised Janurary 20, 2016 Accepted February 1, 2016

가능하다. 에너지 집속을 위해 트랜스튜듀서가 일정한 각을 가지는 형태가 되므로 표피에 밀착되지 않은 부분이 발생하지 않도록 설정을 해야한다.

본 연구에서는 피하지방을 효율적으로 제거하기 위하여, 일정한 각을 가지도록 초음파 트랜스듀셔를 배열하여 초음파 에너지를 일정한 거리에 집속시킬수 있도록 트랜스튜서 어레이의 집속각도를 연구하였다.[5]

2. 재료 및 방법

2.1 초음파 집속을 위한 트랜스듀서 어레이 설계

피하지방에 에너지가 집중될 수 있도록 아래 그림 1과 같이 3각 형태로 초음파 발진기를 배치하고, 경사각의 기울기를 통해 에너지가 집중되는 깊이를 일정하게 유지될 수 있도록 설계한다.

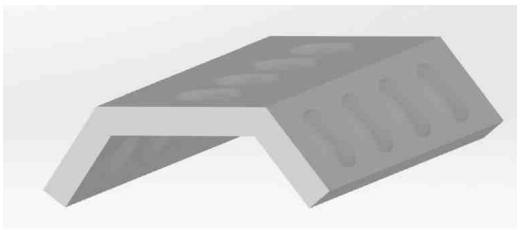

그림 1. 트랜스듀서 어레이 구조 설계
Fig. 1. Transducer array structure design

2.2. 트랜스듀서 사이즈 및 주파수

27kHz, 1MHz, 3MHz 각각의 주파수에 대해 직경 5mm, 10mm, 16mm의 트랜스 듀서를 적용하고 파장의 값은 아래 식 1을 적용하여 구한다. 파장의 값을 구한 뒤 각각의 직경에 대한 근위장을 구하여 비교한다.

$$\text{파장}(\lambda)=c/f(c=\text{전파속도},f=\text{주파수}) \quad (1)$$

2.3. 트랜스듀서 어레이 집속 각도 계산

집속각도를 결정하기 위하여 아래 그림 2와 같이 수직방향과 대각선 방향을 전제로 하여 각도를 설정하였다. 집속각도 계산을 위하여 Snell's law를 적용하였으며 아래 식 2와 같다.

$$\frac{sm\alpha}{sm\beta}=\frac{v_1}{v_2}=>\sin\theta_2=\frac{c_2}{c_1}sin\theta_1 \quad (2)$$

c1= 매질 1에서의 음속
c2= 매질 2에서의 음속
Θ1= 입사각
Θ2= 굴절각

3. 실험 및 고찰

27kHz, 1MHz, 3MHz 각각의 주파수에 대해 직경 5mm, 10mm, 16mm의 트랜스 듀서를 적용하여 파장(λ)=c/f를 적용하여 각각의 근위장 값을 구한다. 근위장은 $D_2/4\lambda$의 식을 사용하였으며, 여기서 λ는 파장, D는 직경이다.

27kHz 일 때 λ값은 0.05m값이 나왔으며 직경 5mm, 10mm, 16mm의 트랜스 듀서를 적용한 근위장은 각각 0.125mm, 0.5mm, 1.28mm가 산출되었다.

1MHz 일 때 λ값은 0.148m 값이 나와 직경 5mm, 10mm, 16mm의 트랜스 듀서를 적용한 근위장은 0.04m, 0.0168m, 0.043m가 산출되었다. 마지막으로 3MHz의 주파수에 대한 λ는 0.000493m이며, 직경 5mm, 10mm, 16mm의 트랜스 듀서를 적용한 근위장은 0.0126m, 0.0507m, 0.1298m이다 각각의 주파수와 직경에 따른 근위장 길이는 아래 표 1과 같다.

표 1. 주파수와 직경에 따른 근위장 길이
Table 1. Stomach muscle length with respect to the frequency and the diameter

	5mm	10mm	16mm
27kHz	0.125mm	0.5mm	1.28mm
1MHz	4mm	16.8mm	43mm
3MHz	12.6mm	50.7mm	129.8mm

트랜스듀서 어레이 집속각도는 그림 2와 같이 수직방향과 대각선 방향으로 계산하였다. 수직방향에서는 물(10mm)-연부조직(5mm)의 설정값을 주었으며, 대각선 방향은 물(8.2mm)-연부조직

(9.06mm)로 설정하였다. Snell's law를 적용하여 매질 1(물)에서의 음속은 1480m/s, 매질 2(연부조직)에서의 음속은 1540m/s이고, 입사각은 38°이다. $\sin\theta_2 = \frac{1540}{1480} sin38^\circ$ 를 계산하면 굴절각도가 약 40°가 된다.

상승온도에 따른 주파수 결정을 하기 위하여 아래 식 3을 적용하였다.

$$\triangle T = \frac{\alpha a I t}{\rho c m} \quad (3)$$

여기서 αa는 흡수계수, I는 강도, t는 시간, ρ는 조직밀도 cm은 비열이다. 예를 들어 1MHz, 1w/cm2의 초음파 적용 시 초당 0.014℃, 분당 0.8℃ 상승한다. $\triangle T = \frac{\alpha a I t}{\rho c m}$ 에서 ρcm를 A라 가정하면 1MHz, 1w/cm2, 0.014c/s 지방흡수계수 0.63dβ/cm이면 A값은 45가 된다. 이 값은 인체에 적용하는 값이기 때문에 불변이다. 이에 초당 상승하는 온도는 0.014℃가 된다. 즉 사람의 체온 36.5℃, 지방의 과다온도는 42℃ 이므로, 최소한 5.5℃이상의 온도 상승이 필요하다. 1초당 0.014℃가 상승되므로 총 5.5℃상승하는데 걸리는 시간은 약 392초가 걸리고 3개의 면에서 조사가 되므로 약 140초 정도가 소요 된다. 즉 1MHz의 주파수를 사용할 경우 적절한 온도까지 상승하는 시간이 오래 걸리므로 3MHz로 결정한다.

아래 그림 2은 피하지방에 에너지를 집중시킬 수 있는 트랜스튜서 어레이 설계를 한 그림이다. 3개의 면이 닿는 각도는 127°일 때 가장 안정적이었고 그림 3는 설계된 트랜스듀서 어레이로 시물레이션을 한 그림이다.

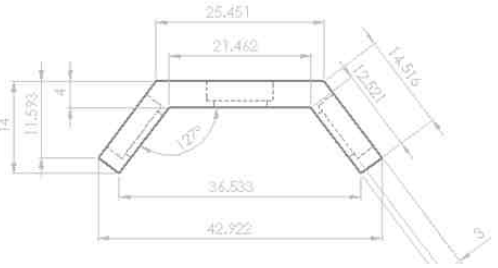

그림 2. 트랜스 어레이 구조 설계(단위:cm)
Fig. 2. Trans array architecture design

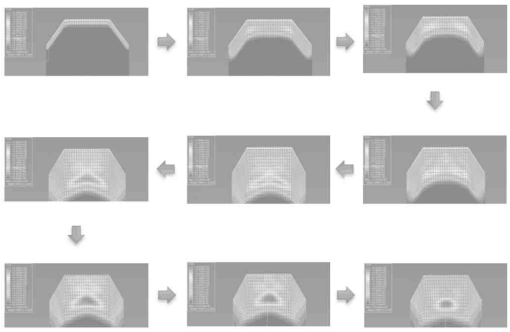

그림 3. 127° 각도로 배치된 초음파 트랜스듀셔에서 3MHz 초음파 중첩 시물레이션
Fig. 3. 3MHz ultrasound simulation nested in the ultrasonic transducers arranged in a 127 ° angle

4. 결론

본 연구는 기존의 비만치료기 기기 보다 더 안전하고 효율적인 초음파 비만 치료기 개발에 있어 굴곡이 있는 피부에 적정한 트랜스튜서 어레이 집속각도와 주파수 설정, 이에 따른 시물레이션을 실시하였다.

27kHz, 1MHz, 3MHz 중에서 5.5℃를 올리는데 가장 적정한 주파수는 3MHz 였으며, 3개의 트랜스듀서 어레이의 닿는 각도는 127° 일 때 가장 안정적이었다. 이에 굴절각은 41°이다.

본 연구에서를 통해 연구된 트랜스듀서 어레이 집속 각도는 피하지방의 두께를 일정한 것으로 가정하고 개발 및 실험을 진행하였으며, 실제 필드에서 적용하기 위해서는 부위별, 피하지방의 두께별로 다변화된 강도와 주파수를 적용할 필요가 있다. 초음파 집속에 의한 캐비테이션 효과로 효과적인

지방분해가 가능하며, 요즘 대두되고 있는 안전한 미용 및 비만 치료 방법으로 적용이 가능하다.

REFERENCES

[1] Salonen, Jukka T., and Riitta Salonen. "Ultrasound B-mode imaging in observational studies of atherosclerotic progression." Circulation 87.3 Suppl (1993): II56-65.

[2] Corretti, Mary C., et al. "Guidelines for the ultrasound assessment of endothelial-dependent flow-mediated vasodilation of the brachial artery: a report of the International Brachial Artery Reactivity Task Force." Journal of the American College of Cardiology 39.2 (2002): 257-265.

[3] Wagner, Robert F., et al. "Statistics of speckle in ultrasound B-scans." Sonics and Ultrasonics, IEEE Transactions on 30.3 (1983): 156-163.

[4] Apfel, Robert E., and Christy K. Holland. "Gauging the likelihood of cavitation from short-pulse, low-duty cycle diagnostic ultrasound." Ultrasound in medicine & biology 17.2 (1991): 179-185.

[5] Gill, Robert W. "Measurement of blood flow by ultrasound: accuracy and sources of error." Ultrasound in medicine & biology 11.4 (1985): 625-641.

[6] Lee,J.S, Cho, S.H. and Kim, Y.Y.“Radiation Pattern of Lamb Waves Generated by Circular Magnetostrictive Patch Transducer” Physics Letters, Vol.90, No.5(2010):654-663

[7] Kwon, H. S., Park, S. C., Cho, S. H., Lee, S. S. and Kim, J. Y. “Guided Wave Phased Array for Inspection of Plate Structures” Transactions of the Korean Society for Noise and Vibration Engineering, Vol. 19, No. 1(2009): 56-63

[8] Velichko, A. and Wilcox, P. D. “ Guided Wave Arrays for High Resolution Inspection” The Journal of the Acoustical Society of America, Vol. 123, No. 1(2008): 186-196

[9] Fromme, P., Wilcox, P. D., Lowe, M. J. S. and Cawley, P. “On the Development and Testing of a Guided Ultrasonic Wave Array for Structural Integrity Monitoring, Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control” IEEE Transactions on, Vol. 53, No. 4(2006): 777-785

[10] Wilcox, P., Lowe, M. and Cawley, P.“Omnidirectional Guided Wave Inspection of Large Metallic Plate Structures Using an EMAT Array, Ultrasonics, Ferroelectrics and Frequency Control” IEEE Transactions on, Vol. 52, No. 4(2005): 653-665

저자약력

이 상 식(Sang-Sik Lee) **[종신회원]**

- 1993-2000년 LG전선(주)
- 1996-2000년 성균관대학교 박사
- 2001-2004년 (주)미도테크
- 2004-2010년 성균관대학교 연구교수
- 2011-현재 가톨릭관동대학교 의료공학과 교수

<관심분야>

의용메카트로닉스, u-Health, 생체역학, 의용전기전자