

Wavelets 변환을 이용한 초음파 신호의 분석 (II)

홍세원, 김덕재, 최홍호
인제대학교 보건대학 의용공학과

An analysis of Ultrasound signals using wavelet transform (II)

S. W. Hong, D. J. Kim, H. H. Choi

Department of Biomedical Engineering, College of Health, Inje University.

Abstract

In this study, we proposed an application of wavelet transform for analysis of ultrasound echo signals to improve troubles of convenienced methods such as SDM, SSM. We examined method using wavelet transform to prove again our proposal which we have proposed prior time.

At first, we made phantoms by adding 0.01, 0.015, 0.02, 0.025, 0.03, 0.035, 0.04, 0.045, 0.05(g/cm³) on constant quantity of distilled water and agar, and collected echo signals. We used SDM(spectral difference method) and WTM(wavelet transform method) as signal processing method. To compare with WTM, SDM was used. In WTM, we selected detail signals of level 3 of Daubechies 16, and got derivative, calculated area of it. Next, we calculated slopes. In SDM, it was 0.0308 and in WTM, it was 0.5248.

As a result, we knew that we could know that the values using WTM showed more detailed than those using SDM. So we could concluded wavelet transform is very useful and powerful in ultrasound tissue characterization.

서론

나라 경제의 발전과 더불어 국민소득이 높아지고 먹는 음식 또한, 점차 서양과 같이 기름진 음식이 많아짐에 따라 지방간의 증상이 빠른 속도로 늘고 있으며, 간암 사망률 세계 1위라는 조사결과가 나타내듯이 간질환은 사회적으로 중요한 사망원인이 되고 있다. 특히, 어린이들의 편식으로 인한 비만화, 회식과 운동 부족, 음주등으로 인한 일반 직장인들 및 주부들의 지방간화는 상당히 심각한 상태에 이르고 있는 실정이다. 지방간은 하나의 병이라기 보다는 여러 가지 질병 상태에서 나타나는 현상이라 할 수 있으므로 대부분의 사람들은 그 중요성을 깨닫지 못하고 소홀하기 쉽지만, 그대로 방치하면 간경변이나 간암으로 발전하여 결국 사망에 이를 수도 있다. 따라서 다른 간 질환들과의 관계 측면에서 그 진단의 중요성을 감안한다면, 지방간의 조기발견은 간에 관련된 다른 여러 질병들의 진단과 치료에 중요한 역할을 할 수 있을 것이다.

현재 이루어지고 있는 지방간의 진단 및 검사 방법으로는 혈액내 지방분 검사, 간 조직 검사, 간 초음파 영상 진단, 간주사 촬영, 전산화 단층 촬영, 복강경 검사등 여러가지가 있지만, 이와 같은 종래의 여러 가지 검사들은 지방간의 유·무와 같은 정성적 판단은 가능한 반면, 지방간 내의 지질함유량을 계측하는 중증도 평가 즉, 지방간의 진행 정도를 판별하는 것에는 한계가 있다. 특히, 초음파의 B-mode화상의 pattern판정법은 검사자 자신의 개인적 주관이 개입될 여지가 많아서 지방간 초기검사의 경우 자칫하면 발견되지 못하거나 오판의 가능성이 존재하게 되고, 따라서 원하는 만큼의 정확한 data를 기대하기도 더욱 힘들다. 그러므로, 이러한 진단 및 검사를 더욱 정확하게 하기 위해서는 검사자의 주관이 개입되지 않고 객관적인 데이터를 토대로 하여 진단을 내릴 수 있는 새로운 방법이 요구되어진다.

이러한 요구에 따라 연구되어온 분야중의 하나가 초음파를 이용한 조직 특성화 분야이다. 이 분야는 초음파의 영상부문에서 해상도의 문제로 인해 한계에 도달하자, 이러한 문제점들을 극복하기 위한 방법의 하나로 시작되었는데 초음파 반사신호를 이용하여 조직의 정량적 특성을 판별하려는 것이다.

초음파가 생체조직을 통과하여 전파될 때에는 조직에 따라 여러 가지 고유한 특성을 가진 파라메타를 제공하게 되는데, 조직에서 반사되거나 투과한 초음파 신호들은 이런 파라메타들을 포함하고 있으며, 특정한 신호처리 과정을 통하여 특성 파라메타의 추출을 행하는 것이다.

지금까지의 초음파에 대한 wavelet의 적용은 주로 도플러(doppler) 신호에 대한 것이었고, 움직임이 없는 병변 조직에 대한 적용은 거의 없는 실정이다. 이것은 wavelet의 가장 큰 특징인 time-frequency analysis라는 그 자체의 강력한 능력 때문인데, 움직임이 없는 병변조직에서는 시간의 개념이 그다지 중요하지 않은 반면, 도플러 방식에서는 시간에 따라 초음파 신호가 변화하기 때문에 시간 정보가 매우 중요하다. 본 연구에서는 도플러 신호가 아닌 정지 조직에서의 초음파 반사신호를 분석하기 위해 wavelet의 또 다른 특징 중의 하나인 다중해상도 분석(multi-resolution analysis)을 이용하였는데, 이 분석방법은 여러 가지의 해상도, 즉 다수의 단계별 주파수 대역에 따라 신호를 분해하기 때문에 각 주파수 레벨에서 분해되어진 신호를 관찰할 수 있으므로 조직의 특성 파라메타를 기존의 방법에 비해 더욱 세밀하게 뽑아낼 수 있다는 장점을 가지고 있다.

Wavelet Transform

신호처리방법이 다양해지고 복잡해짐에 따라서, 신호를 보다 정확하게 처리하고자 하는 관심이 높아지고 있으며, 특히 실제 존재하는 신호들의 통계적 특성들은 비정상성을 많이 나타내고 있기 때문에 이를 위한 새로운 해석방법이 많이 연구되고 있다.

이러한 노력중의 하나가 wavelet 분석 기법이다. 이 기법은 원래 고전수학에서 신호의 선형적 표현을 다루기 위해 연구되었던 이론으로서, 현재 image compression, 지진예측, de-noising noisy data 등의 분야들에 널리 쓰이고 있으며, 1980년대에 들어서는 생체 의공학 신호의 신호처리 분야에서도 이용되어져 오고 있다.

wavelet이란 $\psi(x)$ 로 정의되는 mother wavelet을 변이시키거나 확대/축소시킴으로서 얻어지는 함수들의 집합을 의미한다. 어떤 신호 $f(x)$ 의 wavelet변환은 다음과 같이 나타낼 수 있다.

$$\text{Wave } f(a, b) = \frac{1}{|a|^{1/2}} \int \psi\left[\frac{x-b}{a}\right] f(x) dx$$

여기서 ψ 는 mother wavelet(prototype)이고, 매개 변수 a 는 크기인자로 wavelet기저의 크기를 조정하고, 매개변수 b 는 시간축상에서의 변이를 나타내므로 이를 조정하여 wavelet 기저를 원하는 곳에 놓는다. $a = a_0^m, b = nb_0 a_0^m, (a > 1, b_0 > 0, m, n$ 은 정수)일 때를 이산 wavelet transform, a, b 가 모두 실수이고 $a \neq 0$ 일 때를 연속 wavelet transform이라 한다.

wavelet transform의 가장 큰 특징은 가변적 분해능과 다중해상도(multi-resolution)라고 할 수 있다.

wavelet 분석은 mother wavelet ψ 를 어떤 주파수에서 어떤 해상도를 가지게 하느냐에 따라서 고주파수나 저주파수의 성분들을 처리하느냐가 달라지게 된다. 따라서 nonstationary signal의 해석에 있어 강력한 능력을 발휘할 수 있다. 이 기법은 높은 주파수에 대해 분석할 때는 시간축에서 창이 크기가 감소하여 좋은 시간 국부성(localization)을 보이고, 주파수 축에서는 창이 크기가 증가하여 넓은 주파수 대역을 나타낸다. 또한 nonstationary signal들 가운데에서 스펙트럼 특성이 아주 짧은 시간동안 변화하는 신호의 국소화 문제에서도 정도(精度) 제공이 가능하다.

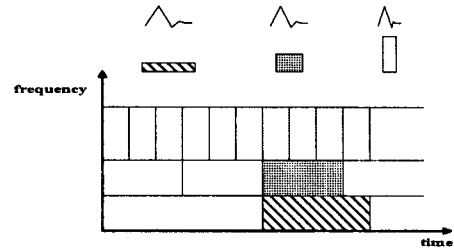
<Fig. 1>은 wavelet의 시간-주파수 특성을 보이고 있다. wavelet의 다중해상도 개념은 Mallat과 Meyer에 의해 시도되어졌는데, 이것은 웨이블릿 분석에 있어 절대적인 근간을 이루고 있다. 이 기법은 단지 레벨1에서만 입력이 있다고 가정할 때, 이 신호는 여러 가지 다른 척도를 가진 해상도로 분해가 가능하다는 것인데, 일반적으로 주파수들을 ω 로부터 2ω 까지의 옥타브밴드(Octave band)로 분해한다.

본 연구에서는 초음파 신호의 분석을 위해 mother wavelet으로서 daubechies 16을 사용하였으며 레벨 3의 detail 신호를 선택하였다.

다중해상도 분석은 다음과 같은 스케일링 함수로서 각기 다른 해상도를 가지고 분석이 수행되는데 그 스케일링 방정식은 다음과 같다.

$$W(x) = \sum_{k=-1}^{N-2} (-1)^k C_{k+1} \Phi(2x+k)$$

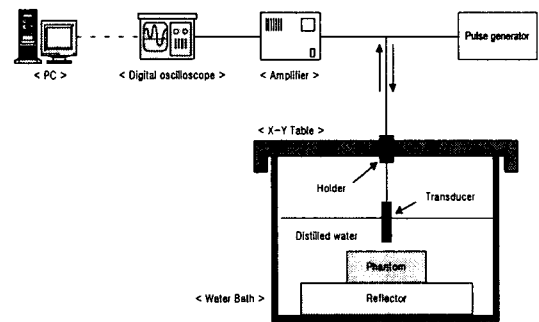
여기서 $W(x)$ 는 $\Phi(x)$ 의 스케일링 함수이고, C_k 는 웨이블릿 계수(wavelet coefficient)이다.



<Fig. 1> wavelet의 시간-주파수 분석 특성

실험방법

초음파 진동자는 2.25MHz(Aerotech社제작)의 원형 단일진동자를 사용하였으며, 펄스 발생기는 직접 제작하였다. 펄스 발생기로부터 발사되는 -80V의 부펄스는 X-Y table에 부착되어있는 2.25MHz의 초음파 transducer의 진동자를 진동시켜서 초음파를 발생시키고, 이렇게 발사되어진 초음파는 시료를 통과하여 반사판(reflector)에서 반사되어 디지털 오실로스코프(Tektronics TDS-360[®])에 저장되었다. 반사판은 5cm의 두께를 가지는 알루미늄으로 제작되었고, 시료와 반사판과 초음파 진동자는 항온수조내의 증류수속에 위치되었다. 초음파 진동자의 수평 이동과 떨림을 방지하기 위해 X-Y table을 제작하였는데, 이 장치는 초음파 진동자의 2차원적 움직임을 정밀하게 제어하기 위한 것이다. X-Y table에 부착되어져 있는 초음파 진동자를 이동시키며 반사판을 수신하였다. 항온수조내의 온도는 시료의 온도특성에 따른 변화를 최대한 일정하게 하기 위해 $25 \pm 1^\circ C$ 의 온도를 유지시켰고 가능한 한 기포의 발생을 억제하였다. <Fig. 2>에 실험장치의 구성이 나타나 있다.



<Fig. 2> 실험장치의 구성도

<table 1>에 시료의 구성물질과 각각의 중량이 보인다. 시료의 구성물질의 양을 적게 한 이유는, 지방간의 조기 발견을 가정하고 초기 지방간의 감쇠계수 값으로 시료를 제작하였기 때문이다. 증류수는 $1(ml/cm^2)$, 한천은 $0.02(g/cm^2)$ 로 일정하였고, graphite의 단위는 g/cm^2 이다.

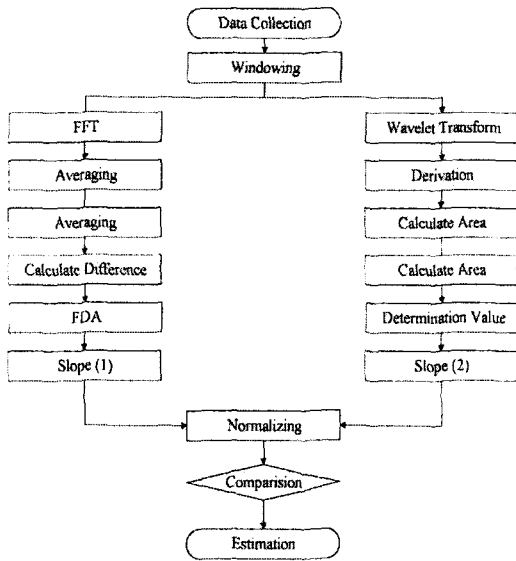
<table 1> 시료의 구성물질과 각각의 중량

시료명	N	A	B	C	D
graphite	0.00	0.01	0.015	0.02	0.025
시료명	E	F	G	H	I
graphite	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05

신호처리 및 결과

2.25MHz의 진동자로부터 발사된 초음파는 매질을 통과하여 알루미늄 반사판에서 반사되고, 다시 동일 초음파 진동자로 수신되어서, 각각 SDM과 WTM의 두 가지 방법으로 처리되어 비교되어졌다.

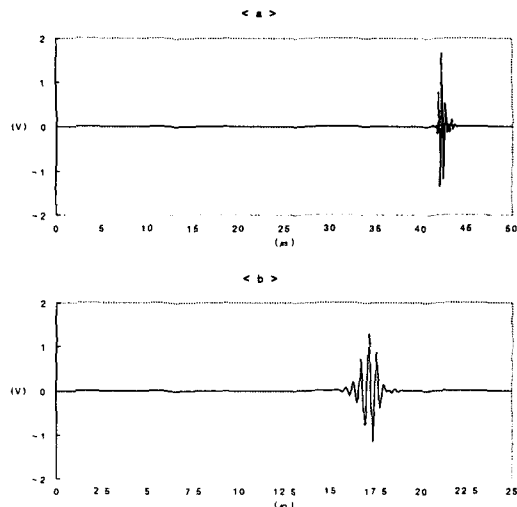
각기 다른 graphite중량을 가지고 있는 9개의 시료들로부터 10개씩의 초음파 반사신호를 각각 수신하였다. 이 때의 샘플링 주파수는 20MHz였고, 한 프레임 당 data의 수는 1000개 였다.



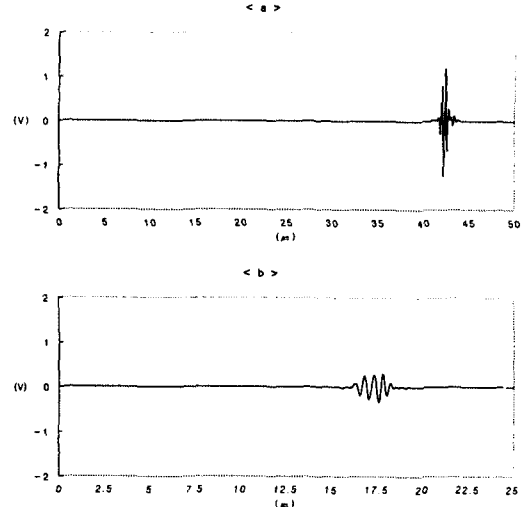
<Fig. 3> 신호처리의 전체 흐름도

db16의 data13 신호를 대상으로 처리하였다. 그 이유는 신호처리한 결과 level3의 detail신호가 각 시료들간의 의미있는 차이를 보였기 때문이었다.

<Fig.4>와 <Fig.5>에서 (a)는 수신된 신호를 관심 부분만 windowing시킨 결과이다. 지면상 모두는 보이지 못하고 몇 개의 신호만 보인다. 또한, (b)는 wavelet transform되어진 db16 detail 3의 신호이다.



<Fig. 4> 시료가 없을 때의 반사신호



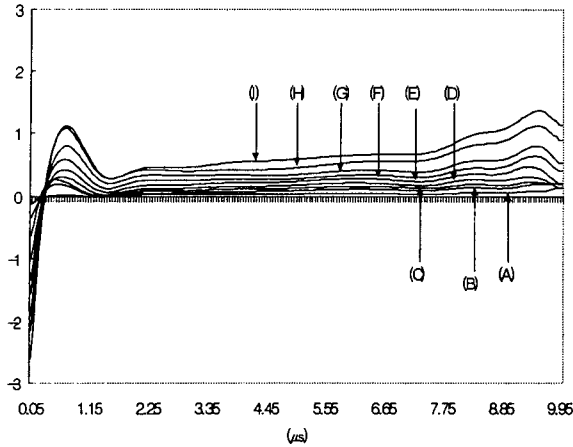
<Fig. 5> 0.05g의 graphite를 함유한 시료의 반사신호

graphite의 함량이 증가함에 따라서 초음파의 반사 신호는 그 크기가 감소하게 된다. 초음파 반사신호의 wavelet 변환신호는 전체적으로 그 형태면에서는 큰 차이를 발견하기가 어렵지만, 각 피크의 크기나 위치, 신호내 관계등의 경우는 많은 변화를 가지게 된다. 각각의 시료로부터 받은 신호들을 Matlab을 이용하여 wavelet변환시켰다. 그 다음 도함수를 취해 면적을 구하고, 각 시료들의 면적값들을 평균하여 그 값을 특성값으로 간주하였다. 그 결과가 다음의 <table 2>에서 보이고 있다. 각 시료들의 평균값들은 A~I까지 점차 감소하는 경향을 나타내고 있다. N의 값은 8.76이었다.

< table 2 > 각 시료별 WTM 결과값

	A	B	C	D	E	F	G	H	I
	0.01	0.015	0.02	0.025	0.03	0.035	0.04	0.045	0.05
	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³	g/cm ³
1	8.42	7.03	6.59	6.01	6.16	4.84	4.82	4.69	3.88
2	8.34	7.42	6.77	5.88	6.33	4.57	4.82	4.45	4.03
3	8.02	7.38	6.25	5.99	5.70	4.76	4.32	4.64	4.00
4	7.95	6.86	6.69	6.05	5.18	4.51	5.04	4.47	4.01
5	8.18	6.74	6.50	5.91	5.36	4.80	4.55	4.40	3.89
6	7.92	7.45	7.97	6.11	5.66	4.84	4.29	4.46	3.92
7	8.39	6.87	6.45	6.48	6.59	5.35	4.90	4.42	4.36
8	7.97	7.07	6.72	6.48	5.07	5.51	4.83	4.40	3.86
9	8.10	7.94	7.17	6.84	5.50	5.03	5.31	4.38	4.18
10	8.16	7.41	7.17	6.76	5.71	5.62	5.25	4.35	3.89
평균	8.15	7.22	6.83	6.25	5.73	4.99	4.82	4.47	4.01

다음 <Fig. 6>은 SDM으로 처리하는 과정 중의 하나로서 각 시료들의 log값을 평균하여 시료가 없을 때의 신호와의 차이를 그래프로 나타낸 것이다. 이러한 차이들의 기울기가 FDA값이 된다. 그림에서 육안으로 보면 A에서 I로 갈수록 그래프의 기울기가 대체적으로 증가하고 있음을 알 수 있다. 다음의 <table 3>는 각 시료별 기울기 값들을 보이고 있다.

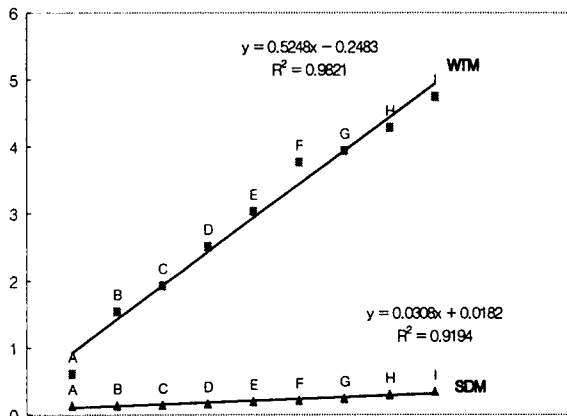


< Fig. 6 > 각 시료들의 log spectrum 차이

<table 3> SDM방법을 이용한 최종 FDA값

		기울기 값
A	0.01(g/cm ³)	0.13054
B	0.015(g/cm ³)	0.13625
C	0.02(g/cm ³)	0.14276
D	0.025(g/cm ³)	0.16386
E	0.03(g/cm ³)	0.19790
F	0.035(g/cm ³)	0.21440
G	0.04(g/cm ³)	0.24513
H	0.045(g/cm ³)	0.29925
I	0.05(g/cm ³)	0.34495

다음의 <Fig. 7>은 WTM과 SDM의 방법으로 구했던 FDA값을 비교하고 있다. 각각의 단위가 다르기 때문에 직접 비교는 되지 않고, 대신에 그 기울기로서 비교하였다.



< Fig. 7 > WTM과 SDM의 각 FDA값의 기울기 비교

SDM으로 구했던 FDA값의 시료별 기울기는 0.0308이었고, WTM으로 구했던 FDA값의 경우는 0.5248이었다. 따라서 WTM의 경우가 더욱 큰 기울기 값을 보이는데 이러한 사실에서 생각해 볼 때 지방간의 초기 진단시 구별하기 어려운 미세한 병변 진행 정도의 차이를 감지하는데 있어 WTM이 기존의

SDM에 비해 더욱 우수하다는 것을 알 수 있다.

결론

본 연구에서는 강력한 신호처리 방법 중의 하나인 Wavelet Transform에 의한 초음파 에코 신호의 분석법을 제안하였으며, in vitro실험을 통하여 제안 내용을 검증하였다. 각각 0.01, 0.015, 0.02, 0.025, 0.03, 0.035, 0.04, 0.045, 0.05(g/cm³)의 graphite와 0.02(g/cm³)의 한천, 그리고 증류수로 구성된 시료들을 제작하였다. 2.25MHz의 주파수를 가진 원형 단일 초음파 진동자로부터 발사된 초음파 신호는 시료들을 통과하여 5cm두께의 알루미늄 반사판에서 반사되어지고, 이 반사신호에서 특성 파라메타를 검출하여 조직의 특성을 정량적으로 측정하였다.

SDM과 WTM의 두가지 방법을 이용하여 감쇠량을 측정하였고, 얻어진 결과들을 수치적으로 비교하였다. WTM에서는 daubechies 16을 mother wavelet으로 하여 detail 3의 신호를 의미 있다고 간주하였으며, 각 도함수를 구하고 나서, 그 area를 구하였다. 그 결과, 상당히 변별력있는 값들이 추출되어질 수 있었다. SDM에서는 수신된 반사신호들을 FFT하여 log를 취하고, 평균하였다. 그 다음 각 시료별 log spectrum의 차를 구해서 그 기울기를 구하였는데, SDM에서도 변별력있는 값들을 얻을 수는 있었지만 대단히 그 차이가 작았다. WTM의 경우 시료에 따른 FDA값의 변화 기울기가 0.5248, SDM의 경우는 0.0308로서 두가지 방법이 많은 차이를 보임을 알 수 있었다.

연구 결과, wavelet 변환에 의한 방법은 초음파 신호의 감쇠 정도를 정량화시켜서 조직의 특성을 판별하는데 하나의 방법이 될 수 있으며, 그 분해능 면에서는 기존의 감쇠량 측정법인 SDM보다 더 우수하다는 것을 알 수 있었다. 또한 이렇게 얻어진 data들은 각 인체조직의 특성을 판별함에 있어 기초자료가 될 수 있으리라 생각된다.

Reference

- [1] 홍세원, 윤세진, 최홍호, "Wavelets 변환을 이용한 초음파 신호의 분석 (I)", 대한의용생체공학회 춘계학술대회 논문집, Vol.19, No.1, pp. 391-394, 1997.
- [2] Nubuyuki Taniguchi, Kouichi Itoh, HiroakiMori, "Studies on Ultrasonic Tissue Characterization-Measurement of Frequency Dependent Attenuation and Echo Level of Fatty Liver in Rats-", Jpn J Med Ultrasonics, Vol.19, No. 9, pp. 1-17, 1992.
- [3] Xiao-Liang Xu, Ahmmed H. Tewfik, James F. Greenleaf, "Time Delay Estimation Using Wavelet Transform for Pulsed-Wave Ultrasound", Annals of BME., Vol. 23, 1995, pp. 612-621
- [4] Nobuyuki Taniguchi, Kouichi Itoh, "Spectral-Shift Zero-Crossing法による周波數依存減衰に關する研究-皮下脂肪への應用-", JSUM Proceedings, pp 657-658, 1989.
- [5] 赤松興一, 橋本博之, 宮内總一郎, et al., "ラット脂肪肝および肝硬便における肝の超音波伝搬速度", JSUM Proceedings, pp 299-300, 1985.