

Comparative Study on Signal Strength of Mechanical Index Using Ultrasound Machines with SonoVue Contrast

Myung-Seok Kim,¹ Sang-Hyun Kim^{2,*}

¹Department of Radiology, Seoul National University Hospital

²Department of Radiological Science, Shinhan University

Received: December 21, 2018. Revised: February 15, 2019. Accepted: February 28, 2019

ABSTRACT

The purpose of this study was to compare the MI using SonoVue along with different machines output and to infer the meaning of the signal difference under the same condition. All of the comparative instruments showed strong signal values at early stage as MI value increased. Over time, the inter-instrumental signal values showed signal attenuation under all conditions except for 10 min of the condition of MI 0.1 of RS85A. E9 and EPIQ7 showed signal degradation due to microbubble collapse over time at all MI values. In the comparison of equipment, the signal strengths of MI 0.1, 0.2, and 0.4 were high in order of EPIQ7, RS85A and E9. In the quantitative analysis, there were statistically significant from the SNR and CNR that were obtained from RS85A and E9 (P-value<0.05). In the quantitative analysis, Epiq7 was statistically significant except for CNR as the MI value was changed. In the contrast-enhanced ultrasound, even though MI value was low (MI <0.05), it will be helpful for diagnosis, controlling the MI and scan time because a difference in signal intensity was shown between the three machines.

Keywords: Contrast Enhanced Ultrasonography, SonoVue, micro bubble, SNR, MI

I. INTRODUCTION

초음파 조영제는 미세기포를 포함하는 현탁액의 형태로 초음파 영상의 대조도를 높이기 위한 목적으로 주로 사용 되어 왔다.^[1] 이는 기존의 초음파 B-mode나 Doppler mode 초음파에서 볼 수 없었던 작은 혈관이나 모세혈관의 혈류를 실시간으로 시각화하여 보여줄 수 있을 뿐만 아니라 신체 내부 장기의 구조와 움직임을 더욱 신호를 강조하여 보여줄 수 있다. CT 나 MRI 조영제와는 다르게 초음파 조영제는 호흡을 통해 배출되므로 신장에 영향을 주지 않아 신부전이 있는 환자나 갑상선 질환이 있는 환자에게도 사용이 가능하다. 또한 조영제 부작용으로 발생하는 과민 반응이나 Anaphylaxis 발생 빈도가 거의 없어 다른 조영제에 대한 반응이

있는 환자에게도 안전하다. 또한

조영제 주입을 안전하게 여러 번 받을 수 있어 필요에 따라 초음파 검사를 통해 병변이나 장기를 검사할 수 있다는 장점이 있다.^[2,3]

조영제의 구성은 지질막으로 구성된 미세기포 (Micro bubble)이다. 이들 기체를 싸고 있는 지질막의 구성 성분은 조영제에 따라 다소 차이가 있으며 그 크기가 대부분 2-10 μm 전후로 적혈구와 비슷하거나 약간 작아서 전신순환이 가능하게 되어 다양한 장기와 혈관의 검사 및 진단이 가능하다.^[4] 미세기포는 Mechanical Index (MI, 기계적 지수)의 값에 의해서 그 반응이 달라지게 된다. MI는 초음파 주파수의 제곱근으로 나눈 최대 희박 압력 (Peak rare fractional pressure)으로 정의된다. 즉, $MI = p/\sqrt{fc}$ (p: 최대희박압력, fc: 펄스의 중심 주파수)으로

* Corresponding Author: Sang-Hyun Kim

E-mail: kbm0821@shinhan.ac.kr

Tel: +82-31-870-3417

표현될 수 있다.^[6]

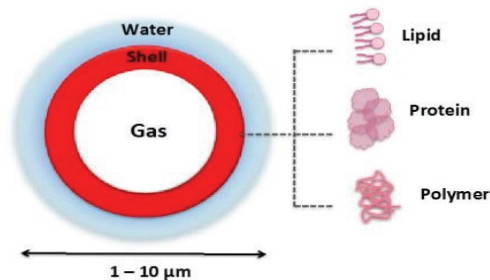


Fig. 1. Basic structure of micro bubble surrounded by various shell^[5].

일반적으로 MI 0.1 이하의 낮은 기계지수 영역대에서는 미세기포가 수축 (compression)과 팽창 (expansion)이비슷한 선형 진동 (linear oscillation)을 하며, 주변 조직도 동시에 선형 진동을 하므로 조영제 특이 신호는 발생하지 않는 것으로 알려져 있다. 또한 MI 0.2-0.5 사이에서는 압축에 비해 팽창을 더 많이 하게 되는 비선형 진동 (oscillation)을 하게 되어 주변 조직의 선형 진동과 구분되는 초음파 조영제 특이 신호 (harmonic)가 생성된다. MI 0.5 이상에서는 미세기포가 파괴되면서 순간적으로 초음파 조영제 특이신호를 보여 짧은 시간이나마 조영 증강 초음파 영상화가 가능하다.

미국 FDA에서는 1.9 이상의 기계지수 값은 인체에 대한 잠재적 위험성이 있을 가능성을 고려하여 허가 하지 않고 있다.^[7,8,9] 따라서 임상 초음파 기기에서의 조영 증강 초음파 검사는 대개 MI 0.1- 0.3의 값 사이를 보이게 되는데, MI 값의 실제 계산은 상당히 복잡하고 영상에 따라 다양하므로 초음파 기기 제조회사가 다른 경우에는 그 절대 값이 달라질 수 있다. 따라서 사용하는 초음파기기가 서로 다른 경우에 기계지수 값이 동일하게 사용될 수는 없지만 이러한 한계점에도 불구하고, 기계적 지수는 초음파 조영제 검사의 가장 중요한 지표라고 할 수 있다.^[11] 이에 우리는 대표적인 초음파 조영제인 SonoVue를 이용하여, 조영제가 파괴되지 않는 범위인 즉, MI 0.5 이하의 조건에서 초음파 장비 간 Acoustic power에 따른 MI 값의 조건을 여러 개로 나누어, 달라지는 Micro bubble의 신호 강도 변화에

따른 관계를 유추해 보고 장비 간 동일 조건 시 초음파 조영 영상을 획득하여 신호 강도의 차이를 비교 분석해보고자 한다.

II. MATERIAL AND METHODS

1. 실험 장비

본 연구의 영상 실험에 사용된 장비는 LOGIQ E9(GE Healthcare, Chalfont St. Giles, UK), EPIQ7 (Philips Healthcare, Best, the Netherlands), RS85A (Samsung Medicine, Seoul, South Korea)이며 가장 대표적으로 많은 검사를 차지하는 복부를 검사하기에 최적화된 기준을 찾기 위해 Transducer는 아래 Table1과 같이 정하였다. 그리고 Transducer의 고정을 위해 고정대를 이용하여 초음파 Transducer가 Phantom에 가해지는 압력을 동일하게 만들었다.

Table 1. The configuration and effective frequency and resolution of probes used for each equipment test

Equipment	Probe	Bandwidth
LOGIQ E9(GE Healthcare)	Convex 1-6	1.6-6.0 MHz
EPIQ 7 Ultrasound	Convex 2-5	1.0-5.0 MHz
RS85	Convex 2-6	2.0-6.0 MHz

2. 초음파 조영제

본 실험에서 사용된 조영제는 2세대 초음파 조영제로서 SonoVue (Bracco, Milan)를 사용하였다. SonoVue (sulphur hexafluoride micro bubbles)는 2001년 이탈리아의 Bracco사에 의해 처음 개발 및 시판되기 시작하였으며, 특징적으로 물 및 혈액에 잘 녹지 않고 매우 안정적인 sulfur hexafluoride (SF6) gas를 2-10μm의 Phospholipidic monolayer shell 안에 담고 있는 미세기포 이다.^[12] 다른 조영제와 달리 주변 세포에 의한 탐식이 적고 주로 혈관 내에 머물러 있어, 혈관의 가시성을 향상시키는 역할을 하여, 중앙의 혈관 분포 등의 혈관상의 특성을 평가하는데 도움이 된다. 또한 낮은 기계지수에서 미세기포의 파괴를 최소화하면서도 영상을 만들 수 있

기 때문에 지속적인 영상의 획득이 가능하다.^[13] 임상 초음파에서 권고된 SonoVue의 투약용량은 1회 검사 시 최대 2.4ml이며, 지연기 영상을 위해 의사의 판단 하에 1회 더 투여가 가능한 것으로 알려져 있다.^[14] 하지만 본 실험에서는 Phantom을 통한 연구로 1회 투약용량을 고려하지 않고 주입하여 검사하였다.

3. PHANTOM

조영제 주입 및 초음파 조사매질로 인체 등가물질인 Gelatin을 이용하여 Phantom을 자체 제작하였다. Phantom의 구성 물질은 Distilled water, Gelatin, Glycerin으로 구성되어 있으며 각각의 재료를 아래 구성비율과 동일하게 혼합하여 제작하였다. 그 안에 관류영상 재현하기 위해 조영제가 지나갈 수 있는 통로를 만들기 위해 Inner Diameter (ID) / Outer Diameter (OD)가 각각 0.3*1.3mm / 2.0*3.0mm의 Medical grade material PVC 재질로 된 Extension tube를 Phantom 내에 삽입하였다. Fig. 2는 제작된 실험을 위한 자체 제작 Phantom이며 Table 2는 Phantom의 구성 비율을 나타낸다.

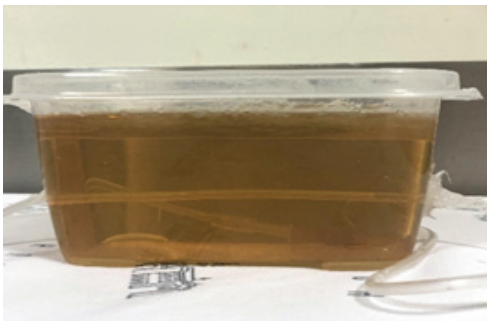


Fig. 2. Phantoms made of self-made, equivalent materials for experiments.

Table 2. A component ratio of phantom

Material	Rate(%)
Distilled water	60.0
Gelatin (200 bloom)	30.0
Glycerin	10.0

4. 초음파 조사 실험

Phantom의 정량적인 신호 획득을 위해 Distilled

water 100cc당 조영제 1cc를 Mix하여 분당 300 RPM의 속도로 Auto circulator를 이용하여 Phantom 내 관류영상을 만들었다. 검사의 변동성을 줄이기 위하여 장비 간 초점 (focus)과 초점거리 (depth)를 각각 Phantom의 tube 중심부에 맞춰 동일하게 설정하였고 Frequency, Frame rate, DR (dynamic range), Gain, TGC (Time gain compensation) 또한 동일함으로 설정하였다. 장비 내에 있는 CEUS (Contrast-enhanced ultrasound) 모드에서 Transverse scan을 기준, 움직임으로 인한 변동성을 줄이기 위해 Holder를 이용하여 Fig. 3과 Fig. 4와 같이 Transducer를 고정 후 초음파를 주사하였다. 초음파 장비의 Acoustic power 조절을 통해 장비 간 MI 값을 0.1, 0.2, 0.4의 값으로 설정하여 조사하였으며 Phantom 내 조영제가 순환을 시작하는 시간을 기점으로 각각 1분, 3분, 5분, 10분일 때, 영상을 획득하였고 정량적 평가를 위해 동일 조건에서 10번씩 반복하여 영상을 획득하였다.

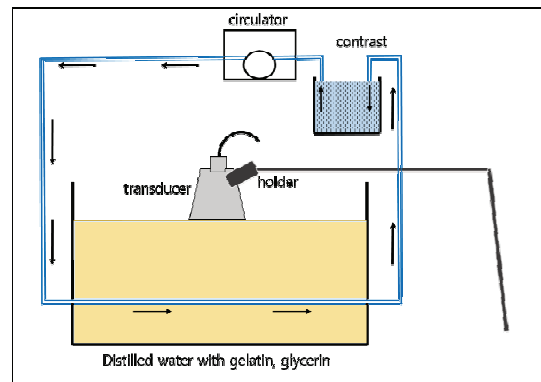


Fig. 3. Ultrasound laboratory diagram.

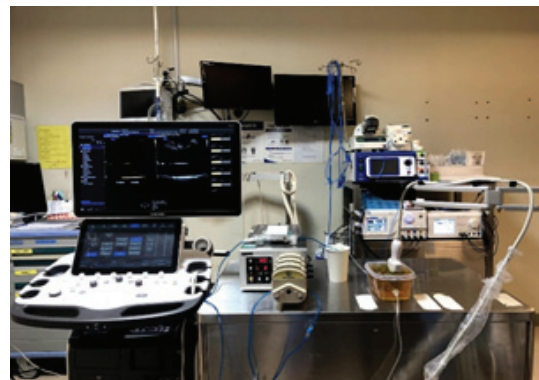


Fig. 4. Set-Up for Ultrasonic Signal Strength Measurement.

Table 3. Parameter of preset value of ultrasonic equipment

Frequency(MHz)	3~5
Depth(cm)	8
Frame rate(fps)	3
Gain	50
TGC	MID LINE
DR(dynamic range)	50

5. 영상평가

초음파 조사 후 획득한 조영 증강 영상은 PACS 를 통해 저장하였으며 영상의 신호 값의 분석은 Window width (W/W) 256, Window level (W/L) 128의 값으로 PACS 내에 있는 Analysis tool을 이용하여 ROI 를 설정하였으며, ROI Area-1.11 cm², Length-3.73 mm, Zoom-96.25% 기준으로 하여 영상 Phantom의 조영제가 지나가는 통로의 중심부에서 각각의 조건에 따른, 평균값 과 표준편차 값을 구하였다. 또한 영상의 CNR과 SNR 을 구하기 위해 Background 신호는 조영제가 지나가는 통로의 중심부 위에서 초음파 영상기준 2cm 위의 위치 에서 동일 ROI를 설정하여 Fig. 5과 같이 측정하였다.

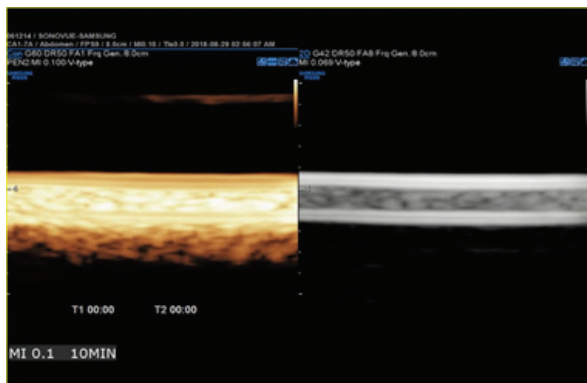


Fig. 5. ROI Settings for Image Evaluation.

그리고 획득한 측정 데이터 값을 적용하여 SNR 과 CNR 산출에 필요한 데이터를 정량적으로 측정 하였다.

SNR과 CNR은 Eq. (1), Eq. (2)^{15,16} 같이 측정하 였다.

이렇게 얻어진 신호 강도 값을 그래프로 전환하

여 장비 간 상관성에 대해 비교 평가하였다.

$$SNR = \frac{(BackgroundROI\text{mean} - ROI\text{mean})}{ROIStd} \quad (1)$$

$$CNR = \frac{(ROI\text{mean} - BackgroundROI\text{mean})}{\sqrt{(NoduleStd)^2 + (BackgroundStd)^2}} \quad (2)$$

6. 데이터 처리

측정된 CNR과 SNR의 통계학적 검정은 SPSS (Ver. 23, IMB)을 이용하였다. 모든 결과 값들은 평 균과 표준 편차로 나타내었고, 그룹 간 결과 값들 과 그에 따른 SNR, CNR들은 비모수 통계검정 (Nonparametric statistical test) 방법인 Kruskal - Wallis test를 통하여 이를 확인하였고 통계의 유의 수준은 0.05로 p-value<0.05 일 때 통계적으로 유의 한 것으로 해석 하였다.

III. RESULT

1. 장비 간 MI값 변화에 따른 결과

초음파 장비 간 MI 값의 0.1, 0.2, 0.4 변화에 따른 시 간적인 차이에 대한 신호 값은 Table 4, 5, 6과 같다.

신호 값의 비교를 위해 그래프 화 하였을 때의 결 과는 Fig. 6과 같다. 세장비 모두 MI 값이 높아 짐에 따라 초기 신호 모두 강한 신호 값을 보였으 며 MI 0.4에서 가장 높은 신호 강도를 MI 0.1에서 가장 낮은 신호 강도를 확인하였다. 시간이 경과함 에 따라 MI 간 신호 강도의 차이는 처음보다 줄어 들었다. 그리고 MI 0.1에서는 RS85A 장비만이 10 분경과 후에서 조영제 신호 강도가 줄어들지 않고 초기와 비슷한 값을 보였고 E9, EPIQ7 두 장비는 모든 MI 값에서 시간의 경과에 따라 Micro bubble 의 붕괴에 따른 신호 감소를 보였다.

장비 별 각각 MI 값에서 신호 값은 다르지만 비 슷한 양상을 보였다. MI 0.1의 값에서 초기 신호가 가장 낮게 나왔고 MI 0.4의 값에서는 초기 신호가 가장 높게 나왔다. 시간이 지남에 따라 조영제가 파괴되는 시점(3분)이 지나도 그 신호 강도는 MI

0.4에서 가장 높은 신호 강도를 보였다. 장비 별 비교에서는 MI 0.1, 0.2, 0.4 모두 EPIQ7, RS85A, E9 순으로 높은 신호 강도를 보였다. 동일 값에 따른 장비 별 신호의 변화 결과는 Fig. 7과 같다. 장비 간 동일 MI 값에 따른 신호 강도의 차이는 EPIQ7, RS85A, E9의 순으로 신호 강도를 보였으며 MI 0.1에서 장비 간 신호 강도 차이가 가장 컸음을 확인하였다.

2. 정량적 평가

총 다른 조건에서 얻어진 360장의 영상에서 Eq. (1)과 Eq. (2)를 통해 얻어진 MI 변화와 시간에 따른 SNR, CNR의 평균값과 표준편차 및 그에 따른 p-value 값은 다음과 같다. RS85A 장비에서의 MI와 시간에 변화에 따른 SNR의 값은 세장비 중 가장 낮은 SNR값을 보였다.

SNR과 CNR의 p-value값은 모두 $p < 0.05$ 로 통계적으로 유의하였다. 그리고 시간에 변화에 따른 SNR, CNR의 p-value 또한 $p < 0.05$ 로 통계적으로 유의하였다. E9 장비에서의 MI와 시간의 변화에 따른 SNR, CNR의 값이 세장비 중 가장 높게 나왔으며 p-value 값은 모두 $p < 0.05$ 로 통계적으로 유의하였다. EPIQ7 장비에서의 MI와 변화에 따른 SNR, CNR의 값 중 SNR의 값이 0.0539로 p-value의 값이 0.05 이상으로 결과가 나왔다.

하지만 그 외 MI 값 변화에 따른 CNR과 시간의 변화에 따른 SNR, CNR 모두 $p < 0.05$ 로 통계적으로 유의하였다.

Table 4. RS85A Signal value with MI adjustment and time change

MI	TARGET (1 min) mean (±SD)	TARGET (3 min) mean (±SD)	TARGET (5 min) mean (±SD)	TARGET (10 min) mean (±SD)
0.1	162.987 (±15.78)	165.877 (±16.16)	164.3506 (±11.81)	156.51 (±14.66)
0.2	197.751 (±12.97)	184.435 (±14.74)	174.735 (±12.93)	129.471 (±12.18)
0.4	207.736 (±10.94)	195.532 (±12.59)	187.608 (±14.22)	162.8834 (±16.27)

Table 5. E9 Signal value with MI adjustment and time change

MI	TARGET (1 min) mean (±SD)	TARGET (3 min) mean (±SD)	TARGET (5 min) mean (±SD)	TARGET (10 min) mean (±SD)
0.1	114.185 (±9.31)	114.224 (±4.91)	113.02 (±4.19)	104.815 (±7.36)
0.2	122.835 (±6.91)	116.734 (±6.68)	114.776 (±3.97)	105.708 (±3.49)
0.4	127.274 (±8.49)	121.079 (±6.75)	115.7 (±3.96)	109.716 (±8.07)

Table 6. EPIQ7 Signal value with MI adjustment and time change

MI	TARGET (1 min) mean (±SD)	TARGET (3 min) mean (±SD)	TARGET (5 min) mean (±SD)	TARGET (10 min) mean (±SD)
0.1	208.2 (±7.17)	208.385 (±6.71)	204.627 (±7.91)	192.757 (±9.57)
0.2	224.882 (±5.00)	219.823 (±5.24)	213.361 (±6.65)	200.931 (±8.06)
0.4	232.665 (±6.62)	226.382 (±5.00)	217.66 (±5.33)	203.701 (±7.50)

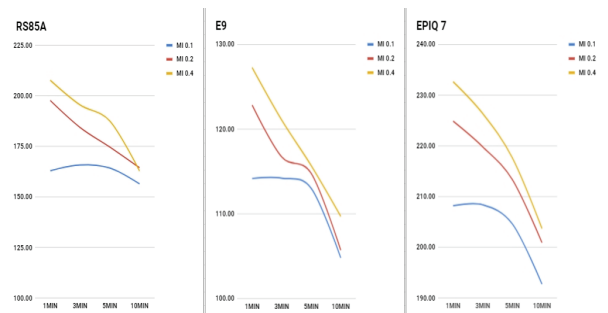


Fig. 6. Signal strength comparison by MI value and time between equipment.

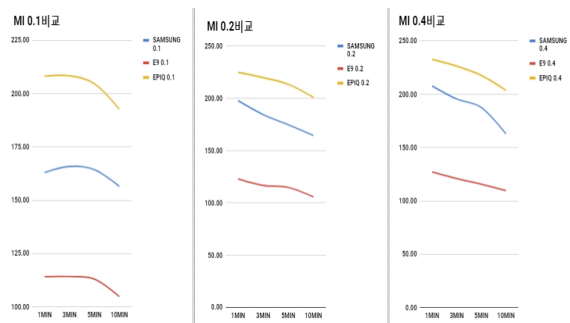


Fig. 7. The variation of signals between equipment according to the same MI.

Table 7. Mean value, standard deviation and p-value of SNR, CNR according to changes in MI

Equipment	MI	SNR (\pm SD)	p-value	CNR (\pm SD)	p-value
RS85A	0.1	11.74(\pm 2.947)	0.000	16.61(\pm 4.168)	0.000
	0.2	14.76(\pm 4.391)		20.87(\pm 6.210)	
	0.4	15.37(\pm 5.215)		20.87(\pm 6.210)	
E9	0.1	20.67(\pm 9.068)	0.005	29.22(\pm 12.825)	0.005
	0.2	25.24(\pm 11.234)		35.70(\pm 15.889)	
	0.4	19.34(\pm 7.231)		27.35(\pm 10.226)	
EPIQ7	0.1	20.49(\pm 7.169)	0.539	12.53(\pm 3.966)	0.000
	0.2	22.27(\pm 8.223)		10.94(\pm 4.139)	
	0.4	22.09(\pm 7.480)		7.77(\pm 15.24)	

Table 8. Mean value, standard deviation and p-value of SNR, CNR according to changes in Time

Equipment	Time	SNR (\pm SD)	p-value	CNR (\pm SD)	p-value
RS85A	1min	15.62(\pm 5.572)	0.050	22.10(\pm 7.887)	0.050
	3min	13.39(\pm 4.363)		19.22(\pm 6.171)	
	5min	14.26(\pm 3.340)		20.17(\pm 4.724)	
	10min	12.37(\pm 4.199)		17.49(\pm 5.938)	
E9	1min	15.33(\pm 3.442)	0.000	21.68(\pm 4.867)	0.000
	3min	20.25(\pm 5.164)		28.64(\pm 7.303)	
	5min	30.85(\pm 10.433)		43.63(\pm 14.754)	
	10min	20.56(\pm 9.885)		29.07(\pm 13.979)	
EPIQ7	1min	24.36(\pm 7.734)	0.000	11.17(\pm 3.814)	0.000
	3min	25.35(\pm 7.725)		13.62(\pm 3.847)	
	5min	21.52(\pm 5.749)		9.29(\pm 3.098)	
	10min	15.23(\pm 4.581)		7.57(\pm 1.923)	

IV. DISCUSSION

장비 간 MI 값에 따라 발생한 신호를 획득하여 분석해본 결과 MI 0.5 이하의 값에서의 조영제 신호 값은 장비에 상관없이 MI 값에 비례하여 신호 증가하는 것을 보였다. 또한 실험 전 Micro bubble 이 MI 값의 증가에 따라 파괴되는 시간이 짧아질 것이라고 보았지만 실제 실험에서는 3분이 지나는 시점까지는 모든 조건에서 일정한 폭으로 감소하는 경향을 보였다. 이는 일정 값 (MI>0.5)의 범위에서는 Acoustic power의 크기에 따른 신호 감소보다는 시간의 흐름에 따른 조영제 노출 시간에 의한 파괴가 더 크게 신호 감소를 만드는 원인이라 생각된다. 또한 신호를 표현하는 데 있어 장비마다 Noise를 감소시키거나 신호를 증폭시키는 처리기술의 차이가 실제 조영 검사에서 표현되는 것을 확인

하였다. EPIQ7 장비의 경우 신호 강도 값이 다른 두 장비에 비해 값이 높게 나왔으나 반대로 Noise 신호 강도 값 또한 높게 측정되었다. 그 결과 MI 값에 따른 SNR의 p-value값이 통계적으로 유의하지 않게 나온 원인이라 생각된다.

신호 강도에 있어서 생기는 Non-linear한 신호로 인한 Qualitative (misclassification of tissue)와 Quantitative (error in concentration estimation) artifact 를 증가시켜 영상의 진단을 어렵게 할 수 있다는 사실을 Fig. 8과 같이 확인하였다.

이는 가령 경동맥 초음파 같은 혈관 구조물의 조영 증강 초음파 검사에서 가까운 벽면과 먼 벽면 사이에 뚜렷한 신호 강도의 차이가 난다는 것을 보여준다. 이것은 실제 혈관의 Plaque 같은 질환을 평가하거나 이물질의 부정확하게 진단할 수 있다. 물론 조영 증강 초음파가 여러 방면에 있어 좋은 장

점들이 존재하지만 이러한 **Artifact**를 최소화하기 위한 다양한 방법을 사용하여 검사하여야 할 것이다.



Fig. 8. Show increasing visual far wall artifact (arrow) with increasing concentration of micro bubbles within the flow phantom. (A) Contrast-enhanced image is on the left and (B) B-mode reference is on the right.

첫 번째, 육안적 평가를 위해 검사자는 다양한 조건의 변화를 조절하며 검사를 해야 할 것이다. 두 번째, 조영제 주입량을 감소시켜 검사를 하게 되면 이러한 **Artifact**가 감소하겠지만 반대로 신호 대 잡음비를 감소시켜 영상의 질에 영향을 줄 수 있다. 따라서 검사자는 검사의 목적과 방향을 잘 설정하고 장비 간 특성을 고려하여 조영 증강 초음파 검사를 해야 함을 실험을 통해 알 수 있었다.

본 연구에 있어 한계점은 첫 번째로, 실제 환자의 대상이 아니라 모형 Phantom에 조영제를 적용하여 사용하였기 때문에 환자의 호흡이나 체내 순환에 있어 손실되는 신호 강도를 고려하지 못했다는 점이다. 실제 인체를 대상으로 하는 조영 증강 초음파 검사에서는 체내 순환 중 환자의 초음파 조영제가 환자의 호흡을 통해 배출되면서 발생하는 조영 신호 감소나 체내 순환을 하는 이유로 실제 신호 값의 변화가 환자마다 다르다. 따라서 본 실험이 관류 영상을 모방한 실험이긴 하나 이러한 변수를 적절하게 적용하지 못한 부분이 있다. 따라서 후속 연구에서는 인체특성을 더 고려한 연구가 진행되어야 할 것으로 생각된다.

두 번째. 장비 간 측정 Parameter를 통일시켜 실험 하였으나 조영 신호 분석에 대한 실험의 반복횟

수가 적어 일반화하기에는 어렵다는 점이다. 하지만 위 실험을 기초로 반복적 실험을 통한 지속적인 연구를 함으로서 임상에서 하기 힘든 주파수나 출력 값의 정량적 측정 및 분석을 손쉽게 할 수 있고 나아가 장비의 여러 원인에서 발생할 수 있는 Image quality 저하의 원인에 있어 주파수 혹은 MI 값의 비교 및 분석이 가능하게 되므로 Quality control적인 평가측면에서도 적용 가능할 것이라 생각된다.

V. CONCLUSION

조영 증강 초음파 검사에 있어 낮은 MI 값 (MI <0.5)이라 하더라도 장비 간 MI 값과 노출 시간에 따른 신호 강도 값이 다르기 때문에 실제 임상 검사에 있어 보고자 하는 장기 및 혈관의 구조와 병변의 특징 그리고 scan 시간을 고려하여 초기 관류 영상의 획득 및 지연기 영상의 획득 시 MI 값의 조절이 필요하다.

Reference

- [1] B. C. Tran, J. B. Seo, T. L. Hall, J. B. Fowlkes, C. A. Cain, "Microbubble-enhanced cavitation for noninvasive ultrasound surgery," *IEEE Transactions on Ultrasound*, Vol. 50, No. 10, pp. 1296-1304, 2003.
- [2] Fabio Piscaglia, Luigi Bolondi, "The safety of Sonovue in abdominal applications: retrospective analysis of 23188 investigations," *Ultrasound Medicine and Biology*, Vol. 32, No. 9, pp. 1369-1375, 2006.
- [3] Gail ter Haar, "Safety and bio-effects of ultrasound contrast agents," *Medical Biological Engineering Computing*, Vol. 47, No. 8, pp. 893-900, 2009.
- [4] Shashank Sirsi, Mark Borden, "Microbubble Compositions, Properties and Biomedical Applications," *Bubble Science Engineering and Technology*, Vol. 1, No. 1-2, pp. 3-17, 2009.
- [5] J. Y. Lee, *Diagnostic technology and treatment research trend using ultrasound BRIC View*, University of Oxford, 2015-T13, 2015.
- [6] Quaila E. *Contrast Media in Ultrasonography: Basic Principles and Clinical Application*. Springer, Berlin

Heidelberg New York, pp. 15-30, 2005.

- [7] Flemming Forsberg, Daniel A Merton, Barry B Goldberg, "In vivo destruction of ultrasound contrast microbubbles is independent of the mechanical index," *Journal of Ultrasound in Medicine*, Vol. 25, No. 1, pp. 143-147, 2006.
- [8] Shohet RV, Chen S, Zhou YT, Wang Z, Meidell RS, Grayburn PA, etc. al. "Echocardiographic destruction of albumin microbubbles directs gene delivery to the myocardium," *Circulation : Journal of the American Heart Association*, Vol. 101, No. 22, pp. 2554-2556, 2000.
- [9] Wei K, Jayaweera A. R., Firoozan S., Linka A., Skyba D. M., Kaul S., "Quantification of myocardial blood flow with ultrasound induced destruction of microbubbles administered as a constant venous infusion," *Circulation : Journal of the American Heart Association*, Vol. 97, No. 5, pp. 473-483, 1998.
- [10] T. Fontanilla, Contrast-enhanced ultrasound image optimization: Tips and tricks, ECR 2012, At Vienna, Austria, pp. 13, 2012.
- [11] Burns P. N., Wilson S. R., "Microbubble contrast for radiological imaging," *Ultrasound Quarterly*, Vol. 22, No. 1, pp. 15-23, 2006.
- [12] Bracco Lumason Prescribing Information, 2016.
- [13] Maggon K.K., "Medical uses of sulfur hexafluoride," *Drugs of the Future*, Vol. 19, No. 12, pp. 1101-1107, 1994.
- [14] Stenberg B, Talbot D, Khurram M. etc. al., "A new technique for assessing renal transplant perfusion preoperatively using contrast-enhanced ultrasound (CEUS) and three-dimensional ultrasound (3DUS) – a porcine model pilot study," *Ultraschall in der Medizin*, Vol. 32, No. 2, pp. 8-13, 2011.
- [15] D. H WI, Y. J. Kim, S. H. Kim, etc. al., "The Study on the Usefulness of Bone Suppression Function In the Chest PA," *The Korean Society of Radiological Imaging Technology*, Vol. 14, No. 1, pp. 65-74, 2017.
- [16] Detlef-Mentrup, Sascha-Jockel, Bernd-Menser, etc. al., "Interactive Scatter Correction For Grid-less Bedside Chest Radiography: Performance for a Chest Phantom. Radiation protection Dosimetry," Vol. 169, No. 1-4, pp. 308-320, 2016.

Sonovue 초음파 조영제를 이용한 장비 간 Mechanical Index의 변화에 따른 신호 강도 비교연구

김명석,¹ 김상현^{2,*}

¹서울대학교병원 영상의학과

²신한대학교 방사선학과

요 약

본 실험의 목적은 SonoVue를 이용하여 장비 간 MI 값 및 시간 변화에 따른 관계를 유추해 보고, 신호 차이를 비교 분석하는 것이다.

비교 장비 모두 MI 값 증가에 따라 초기에 강한 신호 값을 보였다. 시간의 경과에 따라 장비 간 신호 값은 RS85A의 MI 0.1의 조건의 10분경과를 제외한 모든 조건에서 신호 감소를 보였다. 장비 간 비교에서 EPI Q7, RS85A, E9순으로 높은 값이 나왔고, RS85A와 E9의 SNR과 CNR의 정량적 평가에서 모두 p-value<0.05로 통계적으로 유의하였다. EPIQ7에서의 MI 값의 SNR을 제외한 CNR과 시간에 따른 SNR, CNR 모두 통계적으로 유의하였다. 이를 통해 조영 증강 초음파 검사에 있어 낮은 MI 값 (MI<0.5)이더라도 장비 간 신호 강도 차이가 있으므로 MI 값과 시간을 조절하여 검사하는 것이 권고된다.

중심단어: 조영 증강 초음파 검사, 초음파 조영제, 미세기포, 신호 대 잡음비, 기계적 지수

연구자 정보 이력

	성명	소속	직위
(제1저자)	김명석	서울대학교병원 영상의학과	방사선사
(교신저자)	김상현	신한대학교 방사선학과	교수