

超音波照射下における DMPC マイクロバブルの粘弾性測定

Measurement of the viscoelasticity of DMPC microbubbles under ultrasound irradiation

同志社大¹, 千葉大² ◯(M2)村尾将¹, (D)田畑拓¹, 吉田憲司², 小山大介¹

Doshisha Univ.¹, Chiba Univ.², ◯Masashi Murao¹, Hiraku Tabata¹ Kenji Yoshida², Daisuke Koyama¹,

E-mail: dkoyama@mail.doshisha.ac.jp

1. はじめに

超音波映像法において粒径数 μm のマイクロバブルは、画像コントラスト改善のための造影剤として用いられる。またマイクロバブルは超音波に対する強い非線形応答を示し、その散乱波を利用したイメージングに活用できるため、超音波照射下におけるバブルの挙動は重要である。これに関する重要なパラメータとしてバブルの共振周波数が挙げられ、主にバブル粒径に強く依存するものの臨床応用可能な数 μm のバブルの場合、バブルを構成する周囲分子膜の粘弾性の影響を無視することができなくなる。そこで本報告では、周囲に粘弾性分子膜を有するマイクロバブルを作成し、超音波照射下におけるその粘弾性評価について検討を行った。

2. 実験方法

マイクロバブルの周囲分子膜材料である DMPC (Dimyristoylphosphatidylcholine) 190 mg および PEG (Polyethylene glycol) 130 mg を生理食塩水 (Phosphate-buffered saline) 25 mL に溶解させ、DMPC 溶液 10 mmolL^{-1} を作成した。2つのシリンジを用意し、一方にマイクロバブルの周囲分子膜材質となる DMPC 溶液 3.0 mL を、もう一方に内部気体となる難溶性フルオロカーボンガス 6.0 mL を満たし、それぞれのシリンジを結合した後、溶液とガスを手作業で 50 回往復・混合することでマイクロバブルを発生させた。超音波ホモジナイザ (125 W) を用いてバブル懸濁液をさらに 1 分間攪拌し、最終的なバブル懸濁液とした。バブルの粒径分布は光学顕微鏡にて測定した。

マイクロバブル周囲分子膜の粘弾性を評価するため、PVDF 超音波トランスデューサ (自作、直径 10 mm) 2本を脱気した生理食塩水で満たした小型チャンバ内に対向して設置した (Fig. 1)。トランスデューサに周波数 1 MHz、正弦波 1 波の電気信号を入力して液中にパルス超音波を送波し、もう一方のトランスデューサで受波した波形を周波数解析した。トランスデューサ間の液中にバブル懸濁液を注入し、注入前後の透過波の周波数スペクトルの差分を求め、バブル周囲膜の効果を考慮した理論式^[1]によるカーブフィッティングを行うことで周囲膜の粘弾性を評価した。

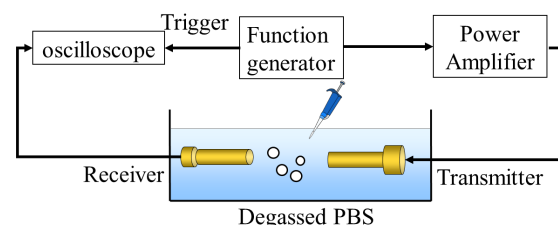


Fig. 1 Experimental setup using two PVDF transducers and DMPC microbubbles.

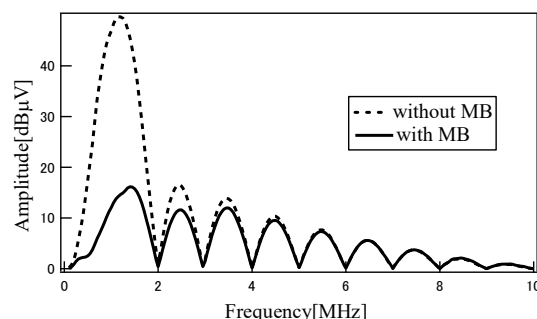


Fig. 2 Frequency spectra of the observed waves.

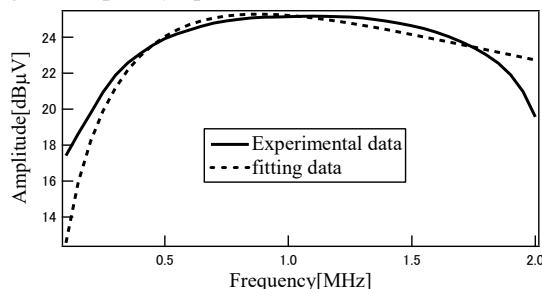


Fig. 3 Difference between the frequency spectra in Fig. 2 and the theoretical fitting curve.

3. 実験結果

作成したバブル懸濁液を光学顕微鏡にて観測した結果、平均粒径は $2 \mu\text{m}$ であった。バブル懸濁液注入前後の透過波の周波数スペクトル (Fig. 2) の差分より、バブル振動による損失の周波数成分を求め、理論式によるフィッティングを行った (Fig. 3)。バブルの共振周波数と思われる 1 MHz 付近において大きな減衰が確認できた。0~2 MHz の区間において理論式によるカーブフィッティングを行った結果、共振周波数は 0.88 MHz、膨張粘度は 2.03 pNs/m と算出された。

参考文献

- [1] D. Chatterjee, K. Sarkar, Ultrasound in Med. & Biol. 29, 1749 (2003)