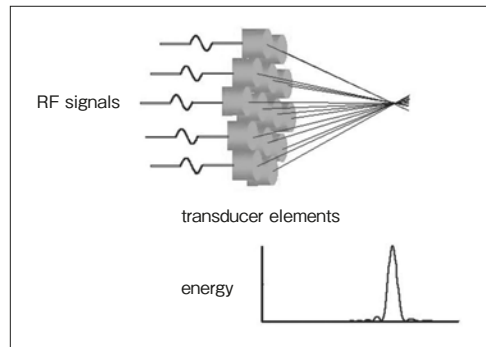


- Focused ultrasound のこと
- 超音波を集束させて病変を熱凝固させる

1) Lynn JG, et al.: A new method for the generation and use of focused ultrasound in experimental biology. J General Physiology, 26: 179-193, 1942.

超音波は直進性が高く焦点を結ばせることが容易である。FUS(focused ultrasound surgery)は、 $100\text{W}/\text{cm}^2$ を超える強さの高密度超音波を微小な焦点域に集めて得られる高密度焦点式超音波(high intensity focused ultrasound: HIFU)の振動エネルギーが組織の吸収係数に応じて熱に変換される原理を応用し、短時間のうちに局所温度を $60\sim 100^\circ\text{C}$ まで上昇させ、焦点域内の組織のみを熱凝固により壊死させる局所治療法である(図1)。しかも焦点からはずれた部位での超音波密度は低いので隣接する組織には熱による影響を与えないため、侵襲性が低い¹⁾。

図1 集束超音波療法 (FUS)の原理



複数の element からなる凹面 transducer からの超音波を一点に集束させることによって、集束点にのみエネルギーが集中し、温度が上昇する。

MR ガイドを用いる理由

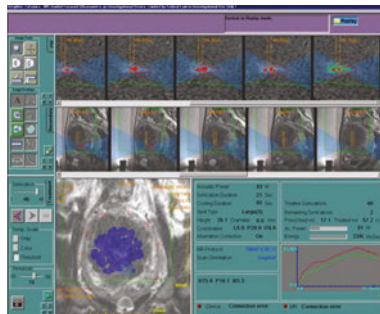
- ① 治療部位を三次元的に高精度に特定できる。
- ② 治療部の組織内温度計測ができる。

- ①: 高空間、高コントラスト分解能のMRIを用いることによって治療部位を三次元的に高精度に特定できる(図2)。
- ②: MRIの共鳴周波数は、温度によってわずかながら変化するため、超音波照射前後で治療部のプロトンの位相がわずかにずれる。その位相のずれから温度計測が可能となり(位相差分法)、目的部が治療効果温度に上昇していることを確認できる(図2)。

このように、MR装置と組み合わせることにより、治療時に位置情報と温度情報を両方同時にほぼreal timeに観察できるため、安全かつ正確、迅速にFUSが行える²⁾。

2) McDannold N, et al.: MRI evaluation of thermal ablation of tumors with focused ultrasound. J Magn Reson Imaging, 8: 91-100, 1998.

図2 MR-guided FUSによる子宮筋腫の治療



筋腫の周囲の腸管、子宮内膜を傷つけないように、筋腫の辺縁から1cmほどmarginをとり(図の左下)、治療する。最低2方向の画像で集束部位が筋腫より周辺組織にはみ出していないことを確認し(図中段)、治療部の温度変化の計測を同時に行う(図上段)。

- 3) Okada A, et al: Non-invasive magnetic resonance-guided focused ultrasound treatment of uterine fibroids in a large Japanese population: impact of the learning curve on patient outcome. *Ultrasound Obstet Gynecol.* 34: 579-583. 2009.
- 4) Okada A, et al: A case of hepatocellular carcinoma treated by MR-guided focused ultrasound ablation with respiratory gating. *Magn Reson Med Sci.* 5: 167-171. 2006.

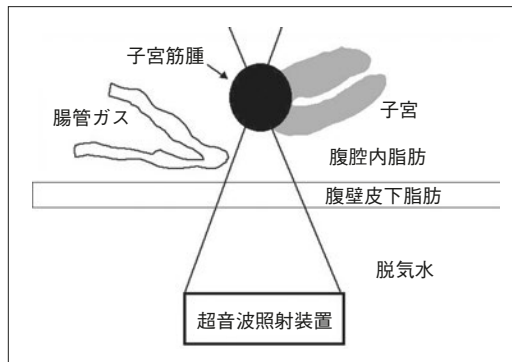
適応

病変が安全に超音波を集束させうる部位にあること。

対象疾患は、安全に超音波を集束させることができる部位にあるということになる。つまり、途中で超音波を遮る厚い骨や消化管ガスなどがある場合は、超音波が反射したり、超音波の波長は電磁波に比べて短く著明に減衰するため十分な超音波の集束ができず、基本的には適応外となる。また、超音波が集束する焦点部のサイズは $3 \times 3 \times 10\text{mm}$ から $5 \times 5 \times 30\text{mm}$ と調整できるが、焦点部を治療部に設定するときに、熱凝固すると障害が起こる部分(大血管, 神経, 腸管など)から焦点がはずせない場合は、治療できない場合がある(図3)。

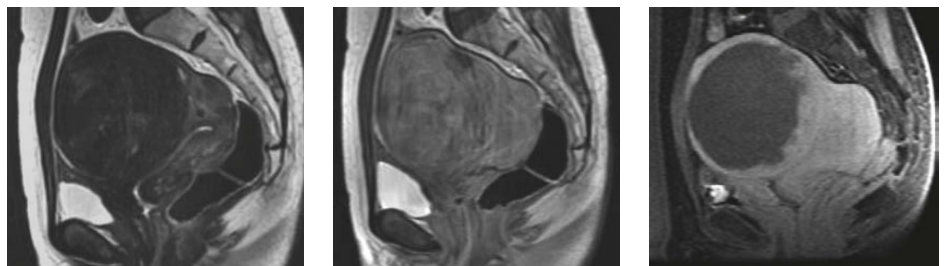
現在、治療や応用が報告されている臓器、病変は前立腺(癌, 肥大症), 乳房(乳癌, 乳腺腫), 子宮筋腫³⁾, 骨(骨腫瘍の疼痛緩和), 脳(血液脳関門の透過性亢進), 肝(肝腫瘍)⁴⁾などである(図4, 5)。

図3 FUS の治療計画



皮膚と筋腫の間に腸管がないことを確認して治療計画を立てる。皮膚面にもガスが入らないようにする。途中でガスがあると同部で超音波が遮られ筋腫の治療ができないだけでなく、ガスの存在部で高温を発生するため火傷や他の臓器障害を起こす可能性がある。

図4 FUS 前後の子宮筋腫



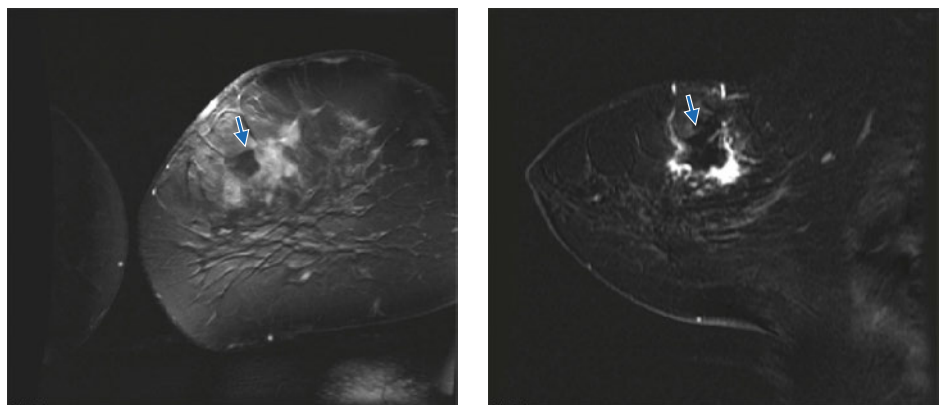
a 治療前 T2 強調画像

b 治療前造影 T1 強調画像

c 治療後造影 T1 強調画像

子宮体部前壁の筋層内筋腫のみが広範に壊死しており、治療後の画像で同部が造影欠損として描出されている。

図5 乳癌症例



a 治療後造影 T1 強調横断像

b 治療後造影 T1 強調矢状断像

凝固された腫瘍部が治療後の画像で無濃染領域として描出されている(→)。