

海綿骨の超音波スペクトロスコピー

-超音波で骨質を評価できるか-

Ultrasonic spectroscopy of cancellous bone

同志社大, °松川 真美

Doshisha Univ., °Mami Matsukawa

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

はじめに

米国国立衛生研究所 (NIH) は Consensus Development Panel (2000 年) において、「骨強度」は骨密度と骨質に関連し、「骨質」とは様々な要素の総括概念であるとした。伊東はこの「骨質」を「構造特性」と「材料特性」に分け、前者はマクロな骨の形状や構造、後者はミネラル化度や微結晶、コラーゲン、異方性、マイクロクラックなどを含めたマイクロなレベルの影響によると述べている¹。超音波による骨計測は、骨の構造、物性を、音波の伝搬特性として総合的に提示するものである。従って、様々な骨の物性がどのように音波の伝搬特性に結びつくのか、測定周波数や測定領域の大きさに留意しつつ、各レベルにわたる詳細な検討が必要になる。

そこでここでは骨粗鬆症の進行を鋭敏に反映する海綿骨をとりあげ、MHz 域の超音波法と GHz 域の顕微 Brillouin 法という、周波数や測定領域のサイズが大きく異なる2つの計測法について述べる。

マクロな超音波スペクトロスコピー

MHz 域の超音波伝搬特性は、骨梁径 (100-200 μm) や骨梁間隙 (数百 μm) が波長に近いので、マクロな骨梁構造の影響を大きく受ける。このため、骨粗鬆症初期における骨梁構造や骨孔形状の変化を、超音波で再現性よく評価する技術が期待されている。

骨梁 (固体) 間隙を骨髄 (液体) が満たしている海綿骨中の音波伝搬は複雑であるが、興味深いことに MHz 域では高速波、低速波と呼ばれる縦波の2波伝搬現象が観測される²⁻⁴。前者は骨梁部分を中心に伝搬する波、後者は骨髄を中心に伝搬する波である。この現象は整列した骨梁に沿って音波が伝搬する場合に観測され、高速波の伝搬速度が骨梁配向の異方性に、低速波の振幅が海綿骨の骨量に依

存して変化する。このため、2波伝搬現象の有無と各波の特性把握により、in vivo骨計測が可能となる。新しい橈骨用超音波2波計測装置 (応用電機) は本メカニズムに基づいており、低速波振幅から推定した骨量値はX線法で測定した骨量値と高い相関を示す⁵。

マイクロな超音波スペクトロスコピー

骨マトリクス中の音波物性計測手法として、超音波顕微鏡と顕微 Brillouin 光散乱法が利用される⁶⁻⁸。後者は薄膜状の骨試験片を用いて、骨中の GHz 域の音速を非接触で測定する試みである。光散乱を用いているので容易に微小領域 (直径10 μm) の音速異方性を測定でき、数十-数百 μm オーダーの骨の微細構造の影響を受けないため、骨マトリクスの物性計測が可能となる。この手法ではin vivo評価は難しいが、比較的簡便に骨の不均一性、異方性が評価できる。実際に、実験用小動物の新生骨と成熟骨の評価が行われており、数週間程度の新生骨では成熟骨より縦波音速が低く、柔らかいことが報告されている⁹。

まとめ 一超音波で骨を診るには一

マルチスケールで物性・構造が変化する骨の超音波物性は各レベルの影響を受ける。従って骨の超音波計測の際には、測定周波数と領域を考慮して、どのような要因が測定結果に影響するかを詳細に検討する必要がある。

文献

- 1) 伊東, 生体医工学, **44**, 496 (2006).
- 2) Hosokawa, et al, *J.Acoust.Soc.Am.*, **101**, 558 (1997).
- 3) Bossy, et al, *Medicine and Biology*, **50**, 5545 (2005).
- 4) Mizuno, et al, *J.Acoust.Soc.Am.*, **128**, 3181 (2010).
- 5) Otani, et al, *Jpn.,J. Appl. Phys.*, **48**, 07GK05 (2009).
- 6) Lees, et al, *Connective Tissue Research*, **24**, 187 (1990).
- 7) Raum, et al, *Physics in medicine and biology*, **51**, 747 (2006).
- 8) Kawabe, et al, *J.Acoust.Soc.Am.*, **132**, EL54 (2012).
- 9) Mathieu, et al, *J. Biomech. Eng.*, **133**, 021006 (2011).