

# CONTENTS

序	2
---	---

## 第1章 エラストグラフィ

1-1) 硬さの指標	10
1-2) エラストグラフィの基本原理	11
(1) フックの法則	11
(2) 弾性波の波動方程式	11
1-3) エラストグラフィの分類	12
(1) 外力による分類 1: 静的と動的エラストグラフィ	12
(2) 外力による分類 2	13
(3) 観測技術による分類	13
1-4) 超音波を外力として使えないのか?	14

## 第2章 変位, 歪み, 応力と弾性率

2-1) 弾性率と弾性コンプライアンス	18
2-2) 応力	19
2-3) 弾性率	21
(1) ヤング率 (E)	21
(2) 剪断(ずり)弾性率 ( $\mu$ )	22
(3) 体積弾性率 (K)	22
(4) E, $\sigma$ , $\mu$ , K の関係	23
(5) 弾性率の単位	23
2-4) 歪みテンソル	23
2-5) 応力テンソル	25
2-6) 弾性率テンソルとラメの定数	26
(1) 弾性率テンソル	26
(2) 対称弾性率テンソル	27
(3) 横等方性弾性率テンソル	27
(4) 等方性弾性率テンソル	29
(5) $\mu$ と $\lambda$	31
2-7) 波動方程式へ	33
2-8) 生体と流体の弾性率	33

## 第3章 波動

3-1) 弾性波	40
3-2) 縦波と横波	40
(1) 縦波	40
(2) 横波	41
(3) 動的エラストグラフィの対象は横波	41

3-3) 波動方程式	42
(1) ずり弾性波	43
(2) 弦の波動	44
(3) 音波	45
(4) 縦波の弾性波	46
(5) 電磁波	46
(6) 水の波	47
3-4) 波動方程式の解が波動関数	48
3-5) エラストグラフィと波動方程式の解	49
3-6) もうひとつの波動方程式?	49
3-7) 正余弦波の場合	52

## 第4章 超音波検査

4-1) 超音波って何?	56
(1) 超音波は聞こえない音	56
(2) 超音波は縦波	56
4-2) 超音波検査の原理	58
(1) 音響インピーダンス	58
(2) エコー発生部位の特定	59
4-3) モード	59
(1) Aモード	59
(2) Bモード	60
(3) Mモード	61
4-4) ドブラ法	61
4-5) 超音波の生体傷害	63

## 第5章 静的エラストグラフィ

5-1) 歪み $f_{11}$	68
5-2) 弾性率を計測できない	69
5-3) 「硬さ」の代役としての $f_{11}$	69
(1) 歪みはあらゆる方向に生じる	70
(2) 歪みは計測条件に左右される	70
(3) 代役の条件	70
5-4) より正確に歪みを計測する	71
(1) 空間的相互相関法	71
(2) 適応伸展法	72
(3) 位相シフト法	72
(4) CAM	74
5-5) 弾性率にこだわる	74
5-6) 硬さの指標としての歪みと弾性率	75
(1) 変位, 歪みと弾性率の関係	75
(2) 組織コントラストの再現性	76
5-7) 乳房超音波エラストグラフィ	77

(1) elasticity score	77
(2) FLR	78
(3) 臨床的有用性	79
5-8) 乳房以外の超音波静的エラストグラフィ	80
5-9) MR 静的エラストグラフィ	80

## 第6章 動的エラストグラフィ

6-1) 弾性波の速度から弾性率を算出	86
(1) 動的エラストグラフィで弾性率 $\mu$ を算出する	86
(2) 横波のずり弾性率	87
(3) 画像読取法	87
(4) 弾性率再構成法	87
6-2) 生体は完全弾性体ではない	88
6-3) 動的エラストグラフィの新しい展開	90
(1) 異方性	90
(2) 均一性と境界条件	92
(3) 非圧縮性と縦波・横波の分離	93
(4) 密度	93
(5) 減衰と粘性率	94
6-4) 静的と動的エラストグラフィの特徴	99

## 第7章 トランジエント・エラストグラフィ (transient elastography)

7-1) transient	102
(1) 何が transient なの?	102
(2) transient vibration の利点	103
7-2) 加振装置・トランスデューサー一体型プローブ	103
7-3) 1D	104
(1) 単一エレメント	104
(2) 弾性率の算出	106
7-4) 2D	106
7-5) 肝線維症との相関	107
(1) 生検との比較	107
(2) トランジエント・エラストグラフィの弱点	107
7-6) プローブ振動の補正	108
(1) 変位の距離による微分は歪み	108
(2) MIRD	108
(3) MDEA	109
(4) SA	109
7-7) 縦波のずり弾性波?	109

## 第8章 ARFI イメージング

8-1) ARFI って何?	114
----------------	-----

8-2) 圧力ビームと追跡ビーム	115
(1) 物理的特徴	115
(2) 照射のタイミングと範囲	117
8-3) 変位測定	118
8-4) 弾性率算出法	118
8-5) ARFI イメージングの特徴	119
8-6) 臨床応用	119

## 第9章 MRI

9-1) 静磁場	124
(1) 磁場	124
(2) 磁場にさらされた原子核	125
9-2) RF	126
9-3) MR 信号	127
(1) 誘導起電力	127
(2) MR 信号から M の大きさと位相へ	128
9-4) 傾斜磁場	130
(1) 磁場傾斜	130
(2) 傾斜磁場印加時の共鳴周波数と位相	131
(3) 磁場傾斜強度	132
(4) 磁場傾斜の正負と表示法	132
(5) スルーレート	132
(6) 磁場が時間的に変動する場合の位相	133
9-5) 位相折り返し	135
9-6) 位相画像と強度画像	136

## 第10章 MR エラストグラフィ

10-1) MRE の過程	140
10-2) 外部振動	141
(1) 外部振動の周波数	141
(2) 外部振動の方向	142
(3) 外部振動発生 (加振) 装置	142
(4) 超音波振動は計測対象にならない	144
10-3) 変位エンコード傾斜磁場	145
(1) MSG の方向	145
(2) 弾性波の進行方向, 変位方向と撮像面との関係	146
10-4) 外部振動と MSG の同期	147
10-5) 弾性波の波長から速度, 弾性率へ	153
(1) 位相画像	153
(2) 位相オフセットと波長測定の空間分解能	154
10-6) MRE の PSD	155
10-7) MRE の感度	156
(1) $\Delta\phi$ の増加と SNR	156

(2) 位相折り返し .....	157
<b>10-8) n 算出法 .....</b>	<b>157</b>
(1) 波長法 .....	157
(2) 位相勾配法 .....	158
(3) 微分方程式直接逆問題法 .....	158
(4) 有限要素法 .....	158
<b>10-9) 組織の異方性, 均一性, 粘性率 .....</b>	<b>159</b>
<b>10-10) MRE による肝線維化診断 .....</b>	<b>160</b>
(1) 生検, TE との相関 .....	160
(2) 多周波数 MRE による肝線維化診断 .....	164
<b>10-11) MRE の臨床応用 .....</b>	<b>164</b>
(1) 肝臓 .....	164
(2) 脳 .....	164
(3) 乳房 .....	165
(4) 心臓 .....	166
(5) 筋肉 .....	167
(6) 組織焼灼術 .....	167

## 第 11 章 静的 MR エラストグラフィ

(1) 変位しない isochromat の位相シフト .....	172
(2) 変位した isochromat の位相シフト .....	173
(3) 変位後から変位前を差し引く .....	173

## Appendix

### 1 スカラー, ベクトル, テンソル

1) スカラーとベクトル .....	176
2) ベクトル内積と外積 .....	176
3) テンソル .....	178
4) 対称テンソル .....	181
5) 対角行列 .....	181
6) 歪みテンソルのトレース .....	182

### 2 周波数, 周期, 波数, 波長

1) 空間領域の余弦波 .....	184
2) 波数, 位相, 波長 .....	185
3) 周波数と周期 .....	187
4) 時間と空間領域の余弦波 .....	188
5) 複素表示と Euler の公式 .....	190

### 3 $\nabla$ , grad, div, rot

1) $\nabla$ (ナブラ) .....	192
2) div と rot の意味 .....	193

索引 .....	198
----------	-----