

Table des matières

Chapitre 1. Principes d'imagerie ultrasonore et du traitement de signal	1
S. Lori BRIDAL	
1.1. Introduction : évaluation des systèmes vivants par échographie	1
1.2. Sondes échographiques	4
1.2.1. Matériaux piézoélectriques : conversion électroacoustique	4
1.2.2. Transducteurs	5
1.2.3. Modélisation de la réponse du transducteur	7
1.2.4. Fréquence et période d'oscillation	8
1.2.5. Fréquence de résonance du transducteur et bande passante	9
1.3. Ondes ultrasonores longitudinales	11
1.3.1. Vibrations le long de l'axe de la propagation de l'onde	11
1.3.2. Équation d'onde élastique, en 1D	12
1.3.3. Propagation de l'onde	15
1.4. Ultrasons pulse-écho	17
1.4.1. Impulsions ultrasonores	17
1.4.2. Pression et intensité.	19
1.4.3. Choix de la fréquence centrale	19
1.4.4. Atténuation.	20
1.4.5. Vitesse de propagation	20
1.4.6. Effets de la propagation non linéaires	21
1.4.7. Réflexion, transmission et réfraction	21
1.4.8. Diffusion et <i>speckle</i> acoustique.	22
1.4.9. Cavitation et indice mécanique	24
1.4.10. Réchauffement et indice thermique.	24
1.4.11. Pression de radiation acoustique	25
1.5. Formation d'une image	25
1.5.1. Un ensemble de signaux pouvant être visualisé de plusieurs façons	25

1.5.2. Diffraction et focalisation naturelle	26
1.5.3. Focalisation électronique et ondes planes ultrarapides	26
1.5.4. Innovations techniques clés	28
1.5.5. Compensation temporelle du gain	28
1.5.6. Rapport contraste-sur-bruit	28
1.5.7. Volume du faisceau et résolution spatiale.	28
1.5.8. Fréquence de répétition d'impulsions et cadence d'image	29
1.6. D'autres modes d'imagerie pour sonder les systèmes vivants	30
1.6.1. Doppler	30
1.6.2. Propagation d'ondes de cisaillement et propriétés élastiques	32
1.6.3. Imagerie échographique de contraste	33
1.6.4. Imagerie super-résolue	34
1.6.5. Imagerie photoacoustique	34
1.7. Bibliographie.	35

Chapitre 2. Transducteurs, systèmes d'imagerie et formation d'image 37

Enrico BONI, Alessandro RAMALLI, Alessandro Stuart SAVOIA
et Piero TORTOLI

2.1. Transducteurs ultrasonores.	37
2.1.1. Principes fondamentaux des transducteurs	38
2.1.2. Technologies de transducteurs	45
2.2. Techniques de formation d'image	51
2.2.1. Modules de construction de systèmes d'imagerie	51
2.2.2. Imagerie ultrarapide	54
2.2.3. Imagerie 3D	58
2.2.4. Amélioration de la qualité d'image avec des techniques de formation de faisceau.	59
2.3. Systèmes d'imagerie avancés : architectures avancées et plateformes de recherche	60
2.3.1. Architecture de transmission	61
2.3.2. Architecture de réception	62
2.4. Conclusion	63
2.5. Bibliographie.	63

Chapitre 3. Ondes de cisaillement et évaluation des propriétés mécaniques de tissus 71

Stefan CATHELIN et Bruno GIAMMARINARO

3.1. Introduction : une perspective historique de la palpation	71
3.1.1. Définition de l'élasticité	72

3.1.2. Élastographie clinique et applications émergentes.	74
3.1.3. Plan du chapitre	74
3.2. Ondes sonores dans les tissus humains : l'homme liquide	75
3.3. Au-delà de l'imagerie ultrasonore : l'homme solide.	77
3.4. Le problème de la source de l'onde de cisaillement	78
3.4.1. Source de vibrations externes à piston.	80
3.4.2. Pression de radiation acoustique	81
3.4.3. Source électromagnétique	83
3.4.4. Sources lasers et bulles.	84
3.4.5. Sources naturelles.	85
3.5. L'élastographie au-delà des ultrasons	86
3.6. Bibliographie.	88

Chapitre 4. Échographie Doppler et cartographie des flux sanguins 93

Alfred C.H. YU

4.1. Doppler en mode continu (<i>continuous-wave</i> , ou CW).	94
4.1.1. Origine des signaux dans le sang	94
4.1.2. Équation Doppler dans le contexte de mesure du flux sanguin . .	95
4.1.3. Implémentations pratiques et considérations	98
4.1.4. Format d'affichage et applications	99
4.2. Doppler pulsé.	101
4.2.1. Principes d'évaluation du flux sanguin en mode pulsé	101
4.2.2. Concept d'échantillonnage à temps lent.	103
4.2.3. Implémentation en pratique	104
4.2.4. Considérations techniques : repliement de spectre (<i>aliasing</i>) et résolution Doppler.	106
4.2.5. Doppler CW et Doppler pulsé	108
4.3. Doppler couleur (<i>color flow imaging</i> , ou CFI)	109
4.3.1. Une extension du Doppler pulsé à une fenêtre.	110
4.3.2. Principe d'estimation des couleurs de pixel	111
4.3.3. Estimation de puissance Doppler et cartographie	112
4.3.4. Considérations d'imagerie.	114
4.4. Nouvelles techniques de cartographie de flux.	116
4.4.1. Imagerie de flux <i>B-flow</i>	116
4.4.2. Estimation de vecteur de flux	117
4.4.3. Imagerie de flux avec l'imagerie ultrarapide	118
4.4.4. Cartographie de flux en 3D	120
4.5. Conclusion	121
4.6. Bibliographie.	122

Chapitre 5. Échographie cardiaque	125
Konstantina PAPANGELOPOULOU, Marta ORLOWSKA, Sjoerd NOOIJENS et Jan D'HOOGHE	
5.1. Introduction à l'échographie cardiaque	125
5.1.1. Maladie cardiaque, anatomie et fonction	126
5.1.2. Mesures cliniques typiques	129
5.1.3. Besoins cliniques à pourvoir	137
5.2. Imagerie ultrarapide (en 2D).	138
5.2.1. Émission multiligne	139
5.2.2. Ondes planes et divergentes	140
5.2.3. Potentiel clinique	142
5.3. Imagerie volumétrique	144
5.3.1. 3DUS du cœur	144
5.3.2. Configuration idéale pour la 3DUS cardiaque	145
5.3.3. Défis matériels	146
5.3.4. Formation de faisceau – défis et solutions	150
5.3.5. Défis logiciels	151
5.4. Bibliographie	152
Chapitre 6. Agents de contraste ultrasonore : caractérisation microvasculaire	161
Simona TURCO, Peiran CHEN, Andrej LYSHCHIK, Ahmed EL KAFFAS et Massimo MISCHI	
6.1. Introduction	161
6.2. Échographie par agent de contraste et réponse acoustique	164
6.2.1. Imagerie de contraste spécifique	166
6.2.2. Calibration pour l'évaluation de la concentration d'UCA	167
6.3. Analyse des cinétiques de l'UCA	169
6.3.1. Analyse par injection de bolus	170
6.3.2. Analyse avec un taux d'infusion constant	180
6.3.3. Analyse spatiale	182
6.3.4. Analyse spatio-temporelle en 3D	186
6.4. Défis actuels et perspectives	192
6.5. Bibliographie	195
Chapitre 7. Limites de résolution et échographie super-résolue	209
Vincent HINGOT et Olivier COUTURE	
7.1. Introduction	209
7.1.1. Échelles en biologie et en médecine	209
7.1.2. Résolution dépendant de la longueur d'onde et de la géométrie	211

7.1.3. Compromis résolution/pénétration	214
7.1.4. Résolution du dilemme résolution/pénétration	216
7.1.5. Super-résolution par microscopie à localisation moléculaire	218
7.2. Microscopie de localisation à ultrasons	220
7.2.1. Les microbulles comme source de contraste pour la localisation microscopique.	220
7.2.2. Le processus de microscopie de localisation par ultrasons	223
7.2.3. Localisation de sources ponctuelles et individuelles	225
7.2.4. Suivi interimage de microbulles en mouvement	227
7.2.5. Visualisation de données de microscopie de localisation par ultrasons	228
7.2.6. Comparaison avec la micro-CT comme méthode de référence	229
7.3. Thèmes liés à la microscopie de localisation par ultrasons	230
7.3.1. Définition et mesure de la résolution	230
7.3.2. Artefacts fréquents et méthodes de compensation.	233
7.3.3. Microscopie de localisation par ultrasons : de la 2D à la 3D.	235
7.3.4. Intelligence artificielle	236
7.4. Perspectives et défis.	237
7.4.1. Applications de l'échographie en super-résolution	237
7.4.2. Défis à venir et perspectives.	241
7.5. Bibliographie.	243

Chapitre 8. Correction des sources de dégradation d'image de tissus hétérogènes en échographie pulse-écho.

Guillaume RENAUD, Danaï E. SOULIOTI et Gianmarco PINTON

251

8.1. Introduction.	251
8.2. Sources de dégradation d'image	253
8.2.1. Aberration et aberrateur	253
8.2.2. Diffusions multiples (réverbérations)	258
8.2.3. Importance de la fréquence ultrasonore	259
8.2.4. Illustration de l'impact des aberrations et des diffusions multiples sur la qualité de l'image sur des simulations numériques	260
8.2.5. Élasticité anisotrope dans l'os.	264
8.2.6. Hétérogénéité de l'atténuation (ombrages et améliorations).	266
8.3. Méthodes de correction.	269
8.3.1. Besoins en techniques de correction en échographie de diagnostic.	269
8.3.2. Correction de phase d'aberration.	270
8.3.3. Correction d'élasticité anisotrope dans l'os.	277
8.3.4. Réduction des diffusions multiples avec l'imagerie tissulaire harmonique	279

8.4. Limites actuelles de correction des sources de dégradation d'image et perspectives	282
8.4.1. Besoins en réseaux matriciels et en puissance de calcul	282
8.4.2. Correction d'aberration en temps réel et hors ligne	282
8.4.3. Quantification de flux sanguin	282
8.5. Bibliographie	283

Chapitre 9. Tomographie et spectroscopie : photoacoustique 289

Théotim LUCAS et Jérôme GATEAU

9.1. Mélange d'ultrasons et d'ondes optiques	289
9.1.1. Propriétés optiques des tissus biologiques	290
9.1.2. Interaction entre ondes optiques et ultrasonores	291
9.2. Génération d'ultrasons et détection tomographique en imagerie photoacoustique	292
9.2.1. Génération optique d'ondes ultrasonores dans les tissus biologiques	292
9.2.2. Détection tomographique ultrasonore	296
9.2.3. Reconstruction d'une image photoacoustique	303
9.3. Imagerie photoacoustique multispectrale	306
9.3.1. Séparation d'absorbeurs optiques avec différents spectres d'absorption	306
9.3.2. Absorbeurs endogènes et exogènes	308
9.4. Conclusions et perspectives	313
9.5. Bibliographie	314

Glossaire 319

Liste des auteurs 335

Index 337