

# **Ghid introductiv în ecografia musculoscheletală pentru reumatologi**

---

**G.A.W. Bruyn, MD, PHD**

**W.A. Schmidt, MD**

<b>1. Introducere</b>	<b>13</b>
1.1 Perspectivă istorică	14
<b>2. Fundamentele ecografiei musculoscheletale</b>	<b>17</b>
2.1 Frecvența și lungimea de undă	17
2.2 Generarea undelor de ultrasunete	17
2.3 Reflexie și transmisie	18
2.4 Atenuarea	18
2.5 Glosar de ultrasunete	18
<b>3. Alegerea unui sistem de ultrasunete</b>	<b>21</b>
<b>4. Anatomia ecografică generală</b>	<b>25</b>
4.1 Distincția dintre structurile anatomice	27
<b>5. Umărul</b>	<b>29</b>
5.1 Scanări standard ale umărului	29
5.1.1 Vedere transversală a tendonului bicepsului (Scanare standard 5-1)	29
5.1.2 Vedere longitudinală a tendonului bicepsului (Scanare standard 5-2)	30
5.1.3 Vedere transversală anterioară a umărului (Scanare standard 5-3)	31
5.1.4 Vedere transversală anterioară a umărului (Scanare standard 5-4)	32
5.1.5 Vedere longitudinală laterală a umărului (Scanare standard 5-5)	33
5.1.6 Vedere longitudinală laterală a umărului (Scanare standard 5-6)	34
5.1.7 Vedere transversală posterioară a umărului (Scanare standard 5-7)	35
5.1.8 Vedere longitudinală posterioară a umărului (Scanare standard 5-8)	36
5.1.9 Vedere a articulației acromioclaviculare a umărului (Scanare standard 5-9)	37
5.1.10 Vedere axilară a umărului (Scanare standard 5-10)	38
5.1.11 Vedere a articulației sternoclaviculare (Scanare standard 5-11)	39
5.1.12 Injectarea ghidată cu ultrasunete a bursei subacromial-subdeltoidiene	40
5.1.13 Injectarea ghidată cu ultrasunete în articulația glenohumerală	41
5.2 Patologia umărului	42
5.2.1 Patologia tendonului bicepsului 1	42
5.2.2 Patologia tendonului bicepsului 2	43
5.2.3 Bursita subdeltoidă și condrocalcinoză	44
5.2.4 Rupturi ale calotei rotatorilor	45
5.2.5 Alte patologii ale calotei rotatorilor	46
5.2.6 Sinovita și efuziunea articulației glenohumerale	47
5.2.7 Patologii ale articulațiilor acromioclaviculare și sternoclaviculare	48

<b>6.1</b>	<b>Scanări standard ale cotului</b>	<b>49</b>
6.1.1	Vedere longitudinală anterioară a articulației humeroulnare (Scanare standard 6-1)	49
6.1.2	Vedere longitudinală anterioară a articulației humeroradiale (Scanare standard 6-2)	50
6.1.3	Vedere transversală anterioară a cotului (Scanare standard 6-3)	51
6.1.4	Vedere longitudinală posterioară a cotului (Scanare standard 6-4)	52
6.1.5	Vedere transversală posterioară a cotului (Scanare standard 6-5)	53
6.1.6	Vedere longitudinală laterală a cotului (Scanare standard 6-6)	54
6.1.7	Vedere longitudinală medială a cotului (Scanare standard 6-7)	55
6.1.8	Vedere transversală a nervului ulnar al cotului (Scanare standard 6-8)	56
6.1.9	Vedere longitudinală a nervului ulnar al cotului (Scanare standard 6-9)	57
6.1.10	Injectarea ghidată cu ultrasunete a cotului	58
<b>6.2</b>	<b>Patologia cotului</b>	<b>59</b>
6.2.1	Sinovita cotului	59
6.2.2	Entezita și bursita cotului	60
6.2.3	Sindromul de tunel cubital și nodulii reumatoizi	61
<b>7.</b>	<b>Articulația radiocarpiană și degetele</b>	<b>63</b>
<b>7.1</b>	<b>Scanări standard ale articulației radiocarpiene și ale degetelor</b>	<b>63</b>
7.1.1	Vedere longitudinală dorsală radială a articulației radiocarpiene (Scanare standard 7-1)	63
7.1.2	Vedere longitudinală dorsală cubitală a încheieturii mâinii (Scanare standard 7-2)	64
7.1.3	Vedere longitudinală a tendonului extensor ulnar al carpului (Scanare standard 7-3)	65
7.1.4	Vedere transversală dorsală a articulației radiocarpiene (Scanare standard 7-4)	66
7.1.5	Vedere transversală a tendonului extensor ulnar al carpului (Scanare standard 7-5)	67
7.1.6	Vedere longitudinală radială volară a articulația radiocarpiene (Scanare standard 7-6)	68
7.1.7	Vedere longitudinală fața volară ulnară a articulației radiocarpiene (Scanare Standard 7-7)	69
7.1.8	Vedere transversală volară a articulației radiocarpiene(Scanare Standard 7-8)	70
7.1.9	Vedere longitudinală volară a articulațiilor MCF (Scanare Standard 7-9)	71
7.1.10	Vedere transversală volară a articulațiilor MCF (Scanare Standard 7-10)	72
7.1.11	Vedere dorsală longitudinală a articulațiilor MCF (Scanare Standard 7-11)	73
7.1.12	Vedere volară longitudinală a articulațiilor IFP (Scanare Standard 7-12)	74
7.1.13	Vedere transversală volară a articulațiilor IFP (Scanare Standard 7-13)	75
7.1.14	Vedere dorsală longitudinală a articulațiilor IFP (Scanare Standard 7-14)	76
7.1.15	Vedere volară longitudinală a articulațiilor IFD (Scanare Standard 7-15)	77
7.1.16	Vedere longitudinală dorsală a articulațiilor IFD (Scanare Standard 7-16)	78
7.1.17	Injectia ghidată ecografic în articulația radiocarpiană	79
7.1.18	Injectia ghidată ecografic în tunelul carpian	80
7.1.19	Injectia ghidată ecografic în tecile tendoanelor	81
7.1.20	Injectia ghidată ecografic în articulația MCF	82

<b>7.2 Patologia articulației radiocarpene și a degetelor</b>	<b>83</b>
7.2.1 Sinovita articulației radiocarpene I	83
7.2.2 Sinovita articulației radiocarpene II	84
7.2.3 Tenosinovita articulației radiocarpene I	85
7.2.4 Tenosinovita articulației radiocarpene II	86
7.2.5 Sindromul de tunel carpian	87
7.2.6 Eroziuni și osteofite ale articulațiilor degetelor	88
7.2.7 Sinovită/efuziune a articulațiilor degetelor	89
7.2.8 Tenosinovita tendoanelor flexoare ale degetelor	90
<b>8. Șold</b>	<b>91</b>
<b>8.1 Scanări standard ale șoldului</b>	<b>91</b>
8.1.1 Vedere longitudinală anterioară a șoldului (Scanarea standard 8-1)	91
8.1.2 Vedere transversală anterioară a șoldului (Scanarea standard 8-2)	92
8.1.3 Vedere longitudinală laterală a șoldului (Scanarea standard 8-3)	93
8.1.4 Vedere longitudinală a trohanterului mare (Scanarea standard 8-4)	94
8.1.5 Vedere transversală a trohanterului mare (Scanarea standard 8-5)	95
<b>8.1.6 Injectarea ghidată cu ultrasunete a șoldului</b>	<b>96</b>
<b>8.2 Patologia șoldului</b>	<b>97</b>
8.2.1 Sinovită/efuziune a șoldului I	97
8.2.2 Bursita iliopsoasului	98
8.2.3 Artroza/Osteonecroza șoldului	99
8.2.4 Artropatia cristaliniană și artroplastia șoldului	100
8.2.5 Anomalii ale trohanterului mare	101
<b>9. Genunchi</b>	<b>103</b>
<b>9.1 Scanări standard ale genunchiului</b>	<b>103</b>
9.1.1 Vedere suprapatelară longitudinală a genunchiului (Scanare standard 9-1)	103
9.1.2 Vedere suprapatelară transversală a genunchiului (Scanare standard 9-2)	104
9.1.3 Vedere longitudinală laterală a genunchiului (Scanare standard 9-3)	105
9.1.4 Vedere medială longitudinală a genunchiului (Scanare standard 9-4)	106
9.1.5 Vedere infrapatelară longitudinală a genunchiului (Scanare standard 9-5)	107
9.1.6 Vedere infrapatelară transversală a genunchiului (Scanare standard 9-6)	108
9.1.7 Vedere posterioară transversală a genunchiului (Scanare standard 9-7)	109
9.1.8 Vedere posterioară longitudinală a genunchiului (Scanare standard 9-8)	110
9.1.9 Injectția ghidată ecografică a genunchiului	111
<b>9.2 Patologia genunchiului</b>	<b>112</b>
9.2.1 Sinovită / revărsat articular al genunchiului I	112
9.2.2 Sinovită / revărsat articular al genunchiului II	113
9.2.3 Modificări patologice ale tendoanelor genunchiului I	114
9.2.4 Modificări patologice ale tendoanelor genunchiului II	115
9.2.5 Osteofite, eroziuni și corpuri libere la nivelul genunchiului	116
9.2.6 Bursita prepatelară și infrapatelară	117
9.2.7 Chistul Baker	118
9.2.8 Afecțiuni ale cartilajului și depunerilor de cristale	119

<b>10. Glezna, piciorul și degetele de la picioare</b>	<b>121</b>
<b>10.1 Scanări standard ale gleznei, piciorului și a degetelor de la picioare</b>	<b>121</b>
10.1.1 Vedere longitudinală anterioară a gleznei (Scanarea standard 10-1)	121
10.1.2 Vedere anterioară transversală a gleznei (Scanarea standard 10-2)	122
10.1.3 Vedere medială transversală a gleznei (Scanarea standard 10-3)	123
10.1.4 Scanare medială longitudinală a gleznei (Scanarea standard 10-4)	124
10.1.5 Scanare laterală transversală a gleznei (Scanare standard 10-5)	125
10.1.6 Vedere laterală longitudinală a gleznei (Scanare standard 10-6)	126
10.1.7 Vedere posterioară longitudinală a gleznei (Scanare standard 10-7)	127
10.1.8 Vedere posterioară transversală a gleznei (Scanare standard 10-8)	128
10.1.9 Vedere proximală longitudinală plantară a piciorului (Scanare standard 10-9)	129
10.1.10 Vedere longitudinală anterioară a mijlocului piciorului (Scanare standard 10-10)	130
10.1.11 Vedere longitudinală anterioară a degetelor de la picioare (Scanare standard 10-11)	131
10.1.12 Injecția ecoghidată a gleznei	132
10.1.13 Injecția tecii tendonului peronier	133
10.1.14 Injecția articulației MTF	134
<b>10.2 Patologia gleznei, piciorului și a degetelor de la picioare</b>	<b>135</b>
10.2.1 Sinovită/revărsat al gleznei și articulației talonaviculare	135
10.2.2 Tenosinovita piciorului și a gleznei	136
10.2.3 Patologia tendonului lui Ahile I	137
10.2.4 Patologia tendonului lui Ahile II	138
10.2.5 Durere de călcâi: entezopatie, pînteni calcaneeni și efuziune	139
10.2.6 Fasciita plantară și patologiile ale mijlocului piciorului	140
10.2.7 Patologia articulațiilor MTF	141
<b>11. Ecografia arterială (Vasculita, boli ale țesutului conjunctiv)</b>	<b>143</b>
<b>11.1 Vasculita</b>	<b>143</b>
11.1.1 Arterita temporală (cu celule gigante)	143
11.1.2 Arterita cu celule gigante ale vaselor mari și arterita Takayasu	146
<b>11.2 Arterele Digitale</b>	<b>147</b>
<b>12. Ecografia glandelor salivare</b>	<b>149</b>

**În** reumatologie, anamneza și examenul fizic sunt elementele fundamentale ale procesului de diagnosticare, în care sunt evaluate o varietate de semne și simptome care trebuie să fie ponderate în ceea ce privește valorile predictive pozitive și negative. Deși lipsesc cifrele exacte, se estimează că, prin intermediul anamnezei și al examinării fizice, diagnosticul provizoriu corect este stabilit la 80–90% dintre pacienți la prima vizită la medic. La celelalte 10–20%, sunt necesare etape suplimentare de diagnosticare, adică teste de laborator și investigații imagistice, pentru a stabili un diagnostic. Ecografia s-a dovedit a fi mai sensibilă decât examinarea clinică pentru detectarea sinovitei la pacienții cu artrită reumatoidă (AR) precoce; în plus, s-a demonstrat că este de două până la șapte ori mai sensibilă decât radiografiile convenționale pentru a detecta eroziuni mici în articulațiile degetelor. În unele studii, sensibilitatea ultrasunetelor pentru detectarea sinovitei și a eroziunilor este comparabilă cu cea a IRM, în timp ce în altele a fost raportată ca fiind inferioară, în funcție de locul și de accesibilitatea articulației. Ecografia este, de asemenea, capabilă să detecteze colecții minuscule de lichid în articulații, anomalii entezale, cum ar fi calcifieri în entezofite, edemul tecii tendinoase și acumularea de lichid la nivelul tecii tendoanelor degetelor. Prin intermediul examinării Power Doppler semnalele, ultrasunetele sunt capabile să codifice semnalele vaselor de sânge mici dilatate în diferite locuri anatomice, inclusiv enteze, teci tendinoase și sinoviale articulare. Doppler color combinat cu ultrasunetele în tonuri de gri poate detecta edemul peretilor arteriali, de exemplu, în arterita temporală. Ecografia în tonuri de gri poate da o impresie preliminară de sinovită articulară, dar semnalele pozitive ale Power Doppler-ului vor confirma cu

siguranță o inflamație activă a articulației. Structura anormală a glandelor salivare care apare în sindromul Sjögren poate fi detectată, la fel ca și anatomia musculară anormală întâlnită în miozită. Prin urmare, întrebarea cheie este dacă ultrasunetele fac o diferență în îngrijirea zilnică a pacienților? Și dacă da, putem măsura impactul acesteia asupra managementului pacientului? Poate ajuta cu adevărat la diagnosticarea artritei nediferențiate precoce? Poate ajuta la prezicerea evoluției spre AR sau non-AR? Deși juriul este încă în curs de deliberare, apar acum studii care arată că evaluarea cu ultrasunete poate avea un impact semnificativ asupra procesului de luare a deciziilor clinice. Este semnificativ mai sensibilă decât examinarea clinică pentru sinovită și entesită și poate servi, de asemenea, ca un ghid pentru aspirarea articulațiilor dificile și administrarea de injecții în locuri specifice. Ecografia este tehnica imagistică de elecție pentru diagnosticarea afecțiunilor tendinoase, iar studiile comparative între ecografie și procedurile standard de aur, cum ar fi IRM, au confirmat fiabilitatea și validitatea acesteia. Un avantaj suplimentar al ultrasunetelor este că pacientul nu are nevoie de o pregătire extinsă, ceea ce face ca procedura să fie eficientă din punct de vedere al timpului. Singurele cerințe clinice sunt un echipament bun și aproximativ 15 minute de timp. Trebuie avut grijă să se evite erorile în interpretarea imaginilor. Printre acestea, cunoașterea capcanelor tehnicii este o parte esențială a pregătirii clinicianului. Una dintre capcane este reprezentată de artefactele datorate poziționării incorecte a sondei. Înțelegerea constatărilor ecografice în bolile reumatice necesită familiarizarea cu anatomia și patologia structurilor implicate. Înarmat cu o cunoaștere temeinică a bolilor

reumatice, este esențial ca reumatologul să stăpânească anatomia secțiunii transversale a sistemului musculoscheletal. Reumatologii-ultrasonografi trebuie să țină cont de faptul că anatomia transversală este foarte diferită de lecțiile clasice de anatomie pe care le-au avut la școala de medicină. Obișnuirea cu gândirea în secțiune transversală este un proces lent și necesită o investiție considerabilă de timp pentru formare și practică. Alte limitări sunt necesitatea unei ferestre acustice, incapacitatea undelor ultrasonore de a trece prin os și câmpul vizual mic.

În ciuda acestor limitări, care includ curba de învățare lungă, dar abruptă pentru operator, ecografia musculoscheletală are în mod evident potențialul de a îmbunătăți semnificativ îngrijirea pacienților în practica zilnică a reumatologiei și poate fi numită pe bună dreptate «stetoscopul» medicului reumatolog.

## 1.1 Perspectivă istorică

O serie de pionieri, incluzând cercetători, ingineri și clinicieni, au contribuit semnificativ la dezvoltarea ultrasonografiei medicale în scop diagnostic.

La începutul anilor 1940, neurologistul-psihiatru austriac Karl Theodore Dussik a fost probabil primul medic care a folosit ultrasunetele în scopuri de diagnosticare. Deși John Wild a publicat un studiu de referință asupra nodurilor mamari, raportând o acuratețe de diagnosticare de 90%, obstetricianul Ian Donald din Glasgow a fost responsabil pentru boom-ul ultrasunetelor în diagnosticul medical (figura 1.1). În 1956, în parteneriat cu un tânăr inginer, Tom Brown, Donald a dezvoltat în 1956 primul scanner bidimensional cu contact direct, pe care l-a demonstrat pentru prima dată la o întâlnire clinică a obstetricienilor de la Departamentul de moașe al Universității din Glasgow. Mulți medici din audiență se opuneau total ideii de a se baza pe un aparat în locul mâinilor atunci când examinau un



**Figura 1.1** Obstetricianul Ian Donald din Glasgow cu primul ecograf automat proiectat de Tom Brown (1960).

copil nenăscut până când, în acel moment, un profesor de medicină internă din Glasgow a pus din întâmplare un diagnostic de ascită malignă la o pacientă. Examinând el însuși pacientul cu ajutorul ecografului, profesorul Donald a informat publicul că rezultatul arăta mai degrabă ca un chist ovarian. Un interes clinic categoric a fost stârnit atunci când acest diagnostic a fost confirmat în sala de operație.

În același timp, o altă piatră de hotar a fost stabilită la Universitatea din Lund, Suedia. Inge Edler, unul dintre cei mai proeminenți cardiologi ai timpului său, împreună cu omul de știință Carl Hertz, a introdus înregistrarea în modul M (M de la motion). Modul M este o metodă care utilizează o singură ecografie cu ultrasunete dirijată într-o direcție fixă prin inimă. A fost un progres în înțelegerea bolilor cardiace.

Edler și Hertz au aplicat un transductor pe marginea sternală stângă a spațiilor intercostale III și IV din pieptul uman și au raportat o mișcare de ecou sincronă cu bătăile inimii. Mulți ani mai târziu, la Rotterdam, în 1969, inginerul olandez Nicolaas Born a îmbunătățit conceptul timpuriu al lui Edler și Hertz prin introducerea primului transductor cu matrice liniară (figura 1.2).



**Figura 1.2** Omul de știință olandez Nicolaas Born și prototipul sondei cu ultrasunete liniare.

Dispozitivul a făcut senzație în lumea cardiologiei, prezentând pentru prima dată în istorie imagini cardiace în timp real. La mijlocul anilor 70, după ce a fost utilizat cu succes pentru a obține imagini ale tendoanelor de cal în practica veterinară, imagistica cu ultrasunete a sistemului musculoscheletal a început să îi intereseze pe radiologi și pe chirurgii ortopezi. Seltzer a publicat primul studiu privind manșonul rotatorilor la maimuțele rhesus înainte și după instilarea de fluide, iar Graf a realizat un raport privind marginea acetabulară a sugarilor în vederea detectării displaziei congenitale de șold. Cu toate acestea, vizualizarea articulațiilor mai mici era încă un efort riscant, deoarece rezoluția imaginilor rămânea slabă.

De remarcat, trei progrese tehnologice importante au îmbunătățit utilizarea ultrasunetelor în reumatologie.

- În primul rând, apariția sondelor de înaltă rezoluție a permis evaluarea structurilor mai mici și superficiale, cum ar fi tendoanele degetelor, articulațiile mici, nervii. Aceste «sonde pentru părți mici» au o frecvență de 10–20 MHz și o rezoluție laterală și axială de 0,1 mm. Aceste sonde au făcut relativ ușoară evaluarea capsulei

articulare sau a cartilajului hialin al articulațiilor mici, cum ar fi articulațiile MCF, IFP și MTF. Sondele de bandă largă cu o gamă de frecvențe (de exemplu, 5–10 MHz, 8–14 MHz) devin din ce în ce mai populare datorită ușurinței de a examina structurile superficiale și profunde în același timp.

- În al doilea rând, progresul în domeniul prelucrării datelor pe calculator a făcut să avanseze enorm știința ecografiilor. Un exemplu în acest sens îl reprezintă tehnicile de compunere spațială, în care fasciculul de transductoare este dirijat electronic pentru a obține scanări suprapuse din unghiuri diferite și a produce imagini cu o rezoluție spațială superioară. O evoluție relativ nouă este achiziția de seturi de date volumice și tehnologia de redare pentru reconstrucția imaginilor tridimensionale din trei planuri. Ultrasonografia tridimensională este potențial capabilă să reducă dependența de operator a tehnicii.
- În al treilea rând, dezvoltarea tehnicii Doppler color și Power Doppler a permis evaluarea hiperemiei țesuturilor moi. Modul Power Doppler detectează fluxul sanguin cu viteză redusă la nivel microvascular, de exemplu, în sinovială sau în masele maligne. Deoarece inflamația coincide cu o perfuzie crescută, ultrasunetele Power Doppler ne ajută la diferențierea sinovitei inflamatorii de distrugerea degenerativă, a sinovitei active de cea inactivă și ajută la monitorizarea răspunsului la terapie. Ultrasonografia Doppler color este utilizată pentru examinarea vaselor mai mari în vederea detectării stenozelor. În reumatologie, tehnica este utilizată în special pentru studiul vasculitelor, inclusiv al arteritei temporale.

Dezvoltarea ultrasunetelor în reumatologie nu se va opri în acest moment. Agenda de cercetare îndeamnă la validarea ultrasonografiei în scală de gri și a Power Doppler-ului, în special pentru sinovitele articulațiilor mici, dar și pentru patologia altor articulații, tenosinovite, entezopatii și boli

# LBDIS

We know  
books

degenerative precum artrozele. Continuă să se efectueze comparații cu procedurile standard de aur, inclusiv IRM și artroscopia, precum și studii de fiabilitate care testează fiabilitatea intra și interobservator

a inflamației în diferite articulații. Sunt abordate capcanele cunoscute ale tehnicii, consolidând și coroborând astfel rolul ultrasunetelor în reumatologie.

## 2.1 Frecvența și lungimea de undă

Ultrasunetele se referă la orice sunet care este deasupra sunetului auditiv în spectrul acustic. Urechea umană este capabilă să audă sunete într-un interval de frecvență cuprins între 20 și 20.000 de Hertz (Hz), adică 20 până la 20.000 de cicluri pe secundă (1000 de cicluri pe secundă = 1 kilohertz = 1 kHz). Doar copiii mici aud intervalul ridicat. Odată cu înaintarea în vârstă, limita superioară scade la aproximativ 12.000 de cicluri pe secundă. Unele animale pot auzi frecvențe de până la 100.000 de cicluri pe secundă. Astfel, intervalul ultrasonic al frecvențelor variază de la 20 kHz la 1 GHz. Frecvențele ultrasunetelor aplicate medical variază de la 2.000.000 Hz (2 MHz) la 50.000.000 Hz (50 MHz). Aceste unde sonore se deplasează prin corpul uman cu o viteză de 1540 de metri pe secundă, astfel că după 0,0000649 secunde, s-a parcurs o distanță de 10 cm. Cele mai multe structuri anatomice relevante pentru reumatologie sunt mult mai aproape, adesea situate sub piele la o adâncime de cel mult 5 cm de la suprafață. Frecvența ( $f$ ) și lungimea de undă ( $\lambda$ ) sunt invers proporționale, adică  $f \sim 1/\lambda$ , deci cu cât este mai mare frecvența, cu atât este mai scurtă lungimea de undă. Există, de asemenea, o relație între frecvență, penetrarea fasciculului și rezoluție. Fasciculele de unde sonore cu o frecvență mai mare pătrund mai puțin decât cele cu frecvență mai mică. Cu toate acestea, rezoluția crește odată

cu frecvența mai mare. În mod invers, un transductor care produce o frecvență mai mică (lungimi de undă mai mari) va produce o mai mare adâncime de penetrare, dar imagini mai puțin bine definite. Așa cum am menționat deja, în diagnosticul reumatologic, cele mai multe structuri sunt situate relativ superficial, așa că ar trebui să se folosească ultrasunetele de înaltă frecvență. Pentru a putea distinge între două interfețe aflate foarte aproape una de cealaltă, este necesară o distanță de cel puțin jumătate de lungime de undă între cele două interfețe.

## 2.2 Generarea undelor de ultrasunete

Undele de ultrasunete sunt generate de un transductor format dintr-un disc cu cristale de titanat de plumb zirconat. Aceste cristale sunt *piezoelectrice*, adică transformă potențialele electrice în vibrații mecanice și invers. De fiecare dată când trece un curent electric prin cristale, discul generează un impuls de ultrasunete; în mod invers, atunci când discul primește o undă de ultrasunete, se va deforma și se va genera o tensiune pe suprafața transductorului. Pentru a produce un fascicul bine direcționat, discul este montat la capătul unui tub cilindric, numit și sondă. La celălalt capăt al tubului, este montat un material de amortizare pentru a reduce undele ultrasunete generate în spatele discului.

## 2.3 Reflexie și transmisie

Undele emise sunt reflectate la interfața a două țesuturi diferite. Cu cât este mai mare diferența de densitate (impedanță acustică) între țesuturi, cu atât vor fi reflectate mai multe US, în timp ce cu densități similare, undele trec ușor prin țesuturi cu densități similare, undele trec mai ușor. Ecuația matematică care determină cantitatea de reflexie și transmisie este dată de viteza sunetului  $c$  și impedanța acustică specifică  $Z$  a țesutului. Impedanța sunetului în aer este mică; în mușchi este de 10.000 de ori mai mare decât în aer, iar în os  $Z$  este atât de mare – aproximativ de 50.000 de ori mai mare decât cea a aerului – încât fasciculul de sunet nu pătrunde deloc în os. Limita dintre două țesuturi diferite este numită interfață acustică. Deoarece există o interfață între aer și piele, trebuie să aplicăm un mediu de cuplare la transductor, cum ar fi un gel cu o impedanță similară cu cea a țesutului uman, altfel doar 0,1% din energia incidentă ar fi transmisă în țesutul pielii și 99,9% ar fi reflectată de pe suprafața pielii. Similar, aproape 99% din fasciculul de sunet este reflectat la interfața dintre aer și mușchi, în timp ce lichidele – cum ar fi sângele sau lichidul sinovial – nu reflectă undele sonore. Dacă suprafața unui obiect este plană și nu există aer între sursă și obiect, aproape toate undele de ultrasunete vor fi reflectate de obiect sub unghiuri drepte; ecourile care se întorc sunt apoi detectate de transductor. Cristalul reconvertește unda ultrasonica care se întoarce – care are aceeași lungime de undă ca unda emisă – într-un potențial electronic. Ulterior, potențialul electronic este convertit de un computer într-o imagine de ultrasunete. Transductorul acționează ca receptor al ecourilor de ultrasunete aproximativ 99,9% din timp și emite undele sonore în timpul foarte scurt rămas.

## 2.4 Atenuarea

Ultrasunetele își pierd energia pe măsură ce se propagă printr-un țesut. Această pierdere de energie se numește atenuare. Există trei cauze ale atenuării: difracția, dispersia și absorbția. Atenuarea duce la faptul că ecourile din țesuturile profunde ale corpului sunt vizualizate mai puțin intens decât cele care se întorc din structurile superficiale. O funcție a sistemului de ultrasunete numită control de câștig de timp (time-gain compensation »TGC«) va corecta atenuarea și va intensifica ecourile care se întorc din structurile mai adânci.

## 2.5 Glosar de ultrasunete

Este util să vă familiarizați cu o serie de concepte comune de ultrasunete sau nomenclaturi.

- **Modul B sau ultrasonografia în tonuri de gri.** Modulul B (= luminozitate/brightness) este precursorul ultrasonografiei în tonuri de gri și se limitează la definirea limitelor structurilor și diferențierea fluidului de solid. Ultrasonografia în tonuri de gri include întreaga gamă posibilă de intensități a imaginilor în tonuri de gri, negru și alb. Cu toate acestea, nu poate diferenția între țesutul fibros și sinovita activă.
- **Ultrasonografia Doppler.** Ultrasonografia Doppler se bazează pe principiul Doppler, conform căruia undele sonore cresc în frecvență atunci când se reflectă de la obiecte (de exemplu, globulele roșii) care se deplasează spre transductor și scad atunci când se reflectă de la obiecte care se îndepărtează. Această informație este transferată în sunet. Este de asemenea posibil să se delimiteze curbele de flux și să se determine direcția fluxului sanguin.

- **Ultrasonografia Doppler color.** În ultrasonografia Doppler color, efectul Doppler este combinat cu imagistica în timp real. O imagine în timp real este creată prin mișcarea rapidă a fasciculului de ultrasunete. Informațiile din ultrasonografia Doppler sunt integrate în imaginea în tonuri de gri ca semnal color. Acest semnal indică direcția fluxului sanguin. Semnalele roșii indică un flux care este direcționat către sonda cu ultrasunete, în timp ce semnalele albastre indică un flux care se îndepărtează de sondă.
- **Ultrasonografia duplex.** Ultrasonografia duplex combină imaginea color Doppler cu ultrasonetul Doppler. Aceasta prezintă imaginea anatomică cu semnal color și curbe Doppler și face posibilă estimarea vitezei de flux în combinație cu corectarea unghiului fasciculului.
- **Power Doppler.** Power Dopplerul afișează puterea Doppler total integrată în culoare. Acesta crește sensibilitatea aparatului, în special pentru vasele mici și pentru fluxul sanguin lent. Unele echipamente de ultrasunete furnizează informații unidirecționale ca în ultrasunetele Doppler color. Sonografia Power Doppler arată hiperemia în țesuturile inflamate. De asemenea, diferențiază între chisturi, ganglioni și vase de sânge, și în acest fel poate ajuta în aspirația ghidată de ultrasunete, permițând evitarea vaselor de sânge și alegerea corectă a locului de biopsie.
- **Transductor sau sondă.** Transductorul este ochiul aparatului de ultrasunete. Generează unde sonore milioane pe secundă și primește ecourile. Frecvența undei sonore determină cât de adânc va pătrunde în țesut. Frecvența determină și rezoluția, deci cu cât este mai mare frecvența, cu atât mai mare este rezoluția și cu atât mai mică este penetrarea.
- **Anizotropia.** Anizotropia este un artefact tipic al ultrasunetelor, care apare de obicei în sonogramele tendoanelor, și într-o măsură mai mică în cele ale nervilor și mușchilor. Tendonul poate părea hipoecogen, simulând astfel o boală. Cu toate acestea, acest lucru nu se datorează patologiei, ci dispersiei fasciculului care nu este perpendicular pe suprafață. Undele sonore dispersate nu sunt captate de sonda, astfel încât tendonul apare întunecat.
- **Rezoluția.** Rezoluția este capacitatea optică de a distinge detaliile, cum ar fi separarea a două obiecte apropiate. Rezoluția axială distinge două obiecte aflate în aceeași linie a fasciculului la adâncimi diferite. Rezoluția laterală sau orizontală se referă la capacitatea de a distinge două obiecte atunci când acestea se află una lângă alta. Transductoarele moderne folosite pentru ultrasunetele musculoscheletale ating o rezoluție laterală și axială de 0,1 mm. Transductoarele de 20 MHz ating o putere de rezoluție axială de 0,04 mm.
- **Direcționare.** Direcționarea este o modalitate de a direcționa oblic fasciculul undei către o țintă. Este deosebit de util pentru fluxul Doppler color pentru a obține un unghi mai bun.
- **Câștig în timp sau în modul B.** Compensarea atenuării în funcție de timp (TGC) corectează atenuarea fasciculului de ultrasunete din cauza dispersiei și a absorbției țesutului. Compensarea atenuării în funcție de timp amplifică ecourile care se întorc la transductor folosind o funcție exponențială bazată pe timpul de deplasare al ultrasunetului. Examinatorii pot modifica compensarea atenuării folosind panoul de control pentru a crește luminozitatea imaginii de ultrasunete.
- **Refracție.** Refracția este un artefact care prezintă structuri reale în poziția greșită cauzată de schimbarea direcției

de propagare a fasciculului de ultrasunete la interfața a două materiale, de exemplu, poziția vârfului acului; acest fenomen poate fi minimizat menținând fasciculul incident cât mai aproape de 90° posibil.

- **Reverberație.** Este fenomenul în care fasciculul se reflectă înainte și înapoi între transductor și obiect, dând naștere la mai multe ecouri. Acest lucru poate fi observat, de exemplu, atunci când un ac este introdus în țesut.
- **Coadă de cometă.** Este un artefact cauzat de reverberație. Aceasta creează benzi caracteristice de ecogenitate crescută distal de obiect.
- **Umbrele marginale.** În ultrasunete, umbra de margine se referă la umbrele din spatele marginii structurilor sferice umplute cu lichid. Umbra acustică înseamnă că tot fasciculul este reflectat atunci când lovește suprafețe foarte reflectogene cum ar fi osul, aerul, calcificările și calculii. Aceasta produce o umbră întunecată sub suprafața reflectogenă.
- **Ecogenitate (ecostructură).** O structură poate apărea anecogenă sau transonică (neagră), hipocogenă (gri închis), cu ecogenitate medie (gri, similară cu țesutul moale), o combinație de hipocogenă și hiperecogenă, sau cu structură hiperecogenă (albă). Oasele reflectă puternic ultrasunetele și suprafața osoasă apare albă. Cartilajul apare ca o bandă an- sau hipocogenă care acoperă osul. Colecțiile lichidiene sunt structuri hipo- sau anecogene care pot prezenta amplificarea acustică, demonstrată de ecouri mai luminoase sub structură.
- **Amplificarea** este un artefact rezultat din lipsa de impedanță atunci când undele sonore trec prin lichid și creșterea

selectivă a intensității ecourilor posterioare de structura transonică.

- **Fenomenul de ambiguitate (aliasing).** Fenomenul de ambiguitate este un artefact Doppler care apare atunci când vitezele globulelor roșii sunt mai mari decât frecvența de repetare a impulsurilor (PRF). Acest lucru apare în zone de stenoză, de exemplu, unde lumenul redus al vasului este văzut cu o schimbare de la roșu la albastru. Roșu reprezintă fluxul către transductor, în intervalul PRF, iar vitezele albastre dincolo de intervalul PRF, nu reprezintă flux inversat.
- **Imagistica armonică.** Imagistica armonică transmite semnale la o frecvență scăzută și folosește semnalul armonic de la a doua frecvență, filtrând primele ecouri returnate din semnalul primit pentru a produce o imagine.
- **Ultrasunetele tridimensionale (3D).** Au mai multe avantaje față de ultrasunetele convenționale 2D, deoarece sunt compuse din mai multe imagini 2D și, spre deosebire de ultrasunetele 2D, nu depind de unghiul de scanare al corpului.
- **Ultrasunete îmbunătățite cu contrast.** Agenții de contrast cu microbule rămân în circulație câteva minute crescând sensibilitatea imaginii în ceea ce privește vascularizația sinovială și astfel poate fi evaluată și evoluția bolii. Astfel, este posibil să se detecteze fluxul sanguin patologic în vase foarte mici, de exemplu, în mușchii pacienților cu miozită. După ce sunt injectate, microbulele intravasculare sunt distruse de un fascicul de ultrasunete, expunând astfel semnale de ultrasunete crescute.

Ultrasunetele oferă un sprijin substanțial reumatologului în diagnosticarea și monitorizarea unei varietăți de afecțiuni musculo-scheletale. Astfel, atunci când alegeți sistemul potrivit pentru birou, acordați-vă suficient timp pentru a cerceta ce echipamente sunt disponibile (figura 3.1 și 3.2). O listă de cerințe ar trebui să ia în considerare următoarele puncte.

În primul rând, imaginile ar trebui să fie de înaltă calitate, astfel încât operatorii să poată avea încredere în diagnosticul lor. În timpul scanării, aparatul atribuie grade de culoare gri semnalelor de ecou care se întorc. Numărul de nuanțe de gri depinde de câte biți de informație pot fi stocați pentru fiecare punct orizontal și vertical al memoriei de imagine. Calitatea imaginilor depinde de caracteristicile software-ului și hardware-ului sistemului. Unii producători



**Figura 3.2** Sistem ecografic portabil modern care prezintă monitorul, tastatura și sonda.



**Figura 3.1** Sistem ecografic modern care prezintă monitorul, tastatura și sondele.

comercializează modele actualizate care sunt mai scumpe decât modelele mai vechi, dar în esență conțin aceleași cipuri și electronice.

Atunci când vă gândiți ce sistem să achiziționați, o regulă de bază este să vă uitați la imaginile care apar pe ecran atunci când scanați partea palmară a propriei încheieturi a mâinii. Detaliile anatomice precum nervul median și tendoanele flexorilor ar trebui să fie conturate clar pe monitorul sistemului și să fie distincte unul de celălalt. Monitorul nu ar trebui să fie prea mic, dar, pe de altă parte, dispozitivul ar trebui să fie și ușor de utilizat. Tastatura este folosită pentru introducerea datelor pacientului, cum ar fi numele, data nașterii sau diagnosticul. Informații suplimentare pot fi introduse pe imagine folosind butonul de funcție „Scrie”. Structurile scanate pot fi



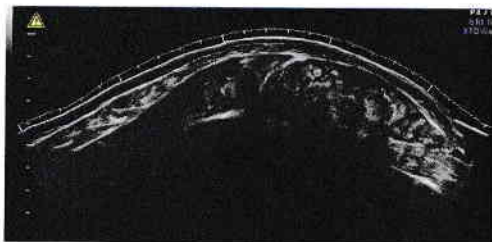
**Figura 3.3** Două exemple de transductoare. Transductorul din stânga prezintă un transductor cu rețea curbată de 5 MHz, iar cel din dreapta un transductor cu rețea liniară de bandă largă de 7–12 MHz.

măsurate pe monitor, folosind cursori digitali de caliper. Acești caliperi pot fi folosiți și pentru măsurarea suprafeței transversale, circumferinței sau volumului unei structuri, de exemplu, nervul median. Butoanele de pe tastatură ar trebui să fie poziționate logic pentru o navigare ușoară.

În al doilea rând, trebuie să se acorde o atenție deosebită alegerii sondelor. Sunt disponibile o varietate mare de transductoare. Un aparat cu ultrasunete conceput pentru cabinetul reumatologului ar trebui să fie dotat cu o sondă liniară centrată între 7 și 10 MHz, cu o lățime de bandă de 30 %, astfel încât toate frecvențele între 7 și 15 MHz să fie acoperite. Acest lucru înseamnă că, în câmpul apropiat, scannerul filtrează electronic frecvențele înalte, ceea ce duce la o rezoluție mai mare, în timp ce în câmpul îndepărtat, dispozitivul lasă să treacă frecvențele joase, oferind o penetrare mai bună. O sondă liniară de 10 MHz poate fi aplicată practic la toate articulațiile mari, cu excepția șoldului. Pentru a scana capul femural la un pacient adult, se poate utiliza fie o sondă convexă, fie o sondă liniară cu o frecvență mai mică de aproximativ 5 MHz. Sondele convexe, care sunt utilizate în mod obișnuit pentru ecografia abdominală, pot fi utilizate pentru ecografia articulației șoldului la

pacienții obezi și se potrivesc mai bine la anatomia inghinală decât sondele liniare. Pentru articulațiile mai mari, trebuie să se țină seama de lățimea transductorului, numită și amprență, care este de obicei de aproximativ 40–50 mm. Pentru scanarea articulațiilor mici ale degetelor, degetelor de la picioare și tendoanelor, este valoroasă o sondă cu amprență mică, cum ar fi hockey stick (suprafață de 26 mm × 10 mm), de preferință cu o frecvență înaltă de 18 MHz. În concluzie, este o senzație confortabilă să ai două sau trei sonde, dar o singură sondă de tip matrice liniară cu bandă ultra lată cu o gamă de frecvențe de 4–14 MHz poate, de asemenea, să servească în mod adecvat reumatologului.

Multe aparate moderne au o unitate capabilă să vizualizeze sistemul vascular. Unitatea de imagistică vasculară include tehnologia Doppler color și Power Doppler. Examinarea Doppler color este în prezent metoda neinvazivă de elecție pentru evaluarea pacienților cu suspiciune de tromboză venoasă profundă. O altă aplicație a Dopplerului color este evaluarea fluxului sanguin în artere, de exemplu, a arterei temporale sau a arterelor carotide. Examinarea standard a arterelor se face cu un transductor de înaltă rezoluție de >8MHz. Sunt necesare trei modalități: imagistica în scală gri, Doppler color, atât în plan transversal cât și longitudinal, și viteze Doppler spectrale în plan longitudinal. Cele două tehnici imagistice cel mai frecvent utilizate pentru evaluarea fluxului în vase sunt



**Figura 3.4** Vedere panoramică extinsă care arată o bursă subacromială-subdeltoidiană umplută cu structuri polipoase care se extind distal de-a lungul axei humerale.

ecografiera fluxului în culori și scanarea sectorială 2D. Cartografierea fluxului produce o imagine statică a fluxului sanguin în interiorul unui vas. Scanarea sectorială bidimensională produce o imagine secționată a anatomiei unui vas, care este actualizată de mai multe ori pe secundă. Adevăratele scanere duplex simultane permit ca imaginea 2D să rămână în timp real, în timp ce fasciculul Doppler furnizează informații despre flux. Power Doppler este util pentru detectarea hiperemiei în articulații, tecile tendinoase și enteze și, prin urmare, este potențial capabilă să evalueze inflamația. Alte aspecte relevante sunt stocarea datelor și stabilirea prețului. Imaginea înghețată sau imaginile secvențiale în timp real pot fi înregistrate și stocate în sistemul de stocare de date al aparatului, un CD ROM sau un DVD, de exemplu,. Aparatele vechi pot fi recunoscute prin transferul de date pe o dischetă, aparatele moderne au unul sau mai multe porturi USB. Imprimările pot fi realizate cu ajutorul unei imprimante termice alb-negru.

Printre alte componente se numără și elemente suplimentare, cum ar fi vizualizarea panoramică extinsă (**figura 3.4**), o facilitate de ghidare a biopsiei, evidența și înregistrarea pacienților, posibilități de conectare cu sistemul de arhivare și comunicare a imaginilor (PACS) al spitalului, elastografie, ecografie bazată pe radiofrecvență și design ergonomic. O interfață cu PACS al spitalului permite partajarea imaginilor pe rețeaua spitalului.

Prețurile pentru un sistem ecografic complet mediu variază între 30 000 și 70 000 EUR, deși există sisteme cu prețuri mai mici sau mai mari. Există sisteme portabile care sunt mai puțin costisitoare. Dispozitivele portabile, asemănătoare unui laptop, îmbunătățesc disponibilitatea ecografiilor în cabinetul medicului și la patul bolnavului. Echipamentele high-end, mai scumpe, pot include modalități precum imagistica armonică, vizualizarea panoramică, imagistica 3D și imagistica cu ultrasunete cu agent de contrast microbule.