

Miroslav Durila

Point of care ultrazvuk u kritických stavů

Point of Care Ultrasonography in Critical Care



Miroslav Durila

Point of care ultrazvuk u kritických stavů

Point of Care Ultrasonography in Critical Care

Upozornění pro čtenáře a uživatele této knihy

Všechna práva vyhrazena. Žádná část této tištěné či elektronické knihy nesmí být reprodukována a šířena v papírové, elektronické či jiné podobě bez předchozího písemného souhlasu nakladatele. Neoprávněné užití této knihy bude trestně stíháno.

doc. MUDr. Miroslav Durila, Ph.D.

Point of care ultrazvuk u kritických stavů

Point of Care Ultrasonography in Critical Care

Recenzenti:

doc. MUDr. Milan Kuchta, CSc., mim. prof.

MUDr. Jaroslav Kratochvíl

Text knihy je v dvojazyčné mutaci (česky a anglicky).

Podpořeno projektem Ministerstva zdravotnictví koncepčního rozvoje výzkumné organizace 00064203 FN Motol.

Vydání odborné knihy schválila Vědecká redakce nakladatelství Grada Publishing, a.s.

© Grada Publishing, a.s., 2021

Fotografie na obálce: David Černý

Vydala Grada Publishing, a.s.

U Průhonu 22, Praha 7

jako svou 7964. publikaci

Odpovědná redaktorka Jindřiška Bláhová

Sazba a zlom Jaroslav Kolman

Počet stran 208

Praha 2021

Vytiskla tiskárna FINIDR, s.r.o., Český Těšín

Názvy produktů, firem apod. použité v knize mohou být ochrannými známkami nebo registrovanými ochrannými známkami příslušných vlastníků, což není zvláštním způsobem vyznačeno.

Postupy a příklady v této knize, rovněž tak informace o lécích, jejich formách, dávkování a aplikaci jsou sestaveny s nejlepším vědomím autorů. Z jejich praktického uplatnění však pro autory ani pro nakladatelství nevyplývají žádné právní důsledky.

ISBN 978-80-271-4144-9 (ePub)

ISBN 978-80-271-4143-2 (pdf)

ISBN 978-80-271-3058-0 (print)

Obsah

Úvodné slovo	13
1 Obecné principy a charakteristiky „point of care“ ultrazvuku u kritických stavů	15
1.1 Základy fyziky potřebné k pochopení POC ultrazvukového vyšetření	15
1.2 Typy ultrazvukových převodníků (sond)	18
1.3 Formát ultrazvukového zobrazení	20
1.4 Zobrazení ultrazvukového signálu (B-mód a M-mód)	21
1.5 Artefakty zobrazení	22
1.6 Orientace na ultrazvukové obrazovce	25
1.7 Pohyby s ultrazvukovou sondou	28
1.8 Jiné modality ultrazvukového vyšetření – dopplerovská ultrasonografie	29
1.8.1 Barevný doppler (Color Doppler)	31
1.8.2 Power Doppler	32
1.8.3 Pulzní doppler (Pulse Wave Doppler, PW)	32
1.8.4 Kontinuální doppler (Continuous Wave Doppler, CW)	33
2 Oběhové selhání a diferenciální diagnostika šokových stavů ..	36
2.1 Kardiogenní šok	37
2.2 Hypovolemický šok	37
2.3 Distribuční šok	37
2.4 Obstrukční šok	39
3 Ultrazvukové vyšetření plic	41
3.1 Vyšetření pleury	42
3.1.1 Pneumotorax	43
3.1.2 Fluidotorax	44
3.2 Vyšetření plic	45
3.2.1 A-profil	45
3.2.2 B-profil	46
3.2.3 C-profil	48
3.3 Praktické protokoly	50
3.3.1 Diagnóza pneumotoraxu – Volpicelliho schéma	50
3.3.2 Diagnóza respiračního selhání – BLUE protokol	51

4	Role ultrazvuku u traumatu – E-FAST (Extended focused sonography in trauma should be FAST!)	53
4.1	Pneumotorax	53
5	Role ultrazvuku v průběhu kardiopulmonální resuscitace	61
6	„Point of care“ transtorakální echokardiografie (TTE)	64
6.1	Orientace obrazu a anatomie	64
6.2	Transtorakální projekce	65
6.2.1	Subkostální projekce	66
6.2.2	Apikální projekce	67
6.2.3	Parasternální projekce	70
6.3	Vyživovací arterie srdečních stěn a porucha kinetiky při ischemii	74
7	Praktický přístup: co a jak hodnotit v rámci „point of care“ echokardiografie	76
7.1	Jak rozlišit akutní změny od chronických změn a normálního stavu	76
7.2	Jak zhodnotit levou komoru	77
7.2.1	Zhodnocení anatomických struktur LK	77
7.2.2	Zhodnocení funkce prostým okem, tzv. eyeballing	77
7.2.3	Zhodnocení EPSS (endpoint septal separation, maximální separace komorového septa od předního cípu mitrální chlopně)	77
7.2.4	Zhodnocení MAPSE (mitral annular plane systolic excursion, vertikální pohyb mitrálního prstence)	78
7.2.5	Zhodnocení FS (fractional shortening, frakční zkrácení)	80
7.2.6	Výpočet srdečního výdeje (CO, cardiac output)	80
7.2.7	Výpočet systémové rezistence (SVRI, systemic vascular resistance index)	81
7.2.8	Zhodnocení chlopní	81
7.3	Jak zhodnotit pravou komoru	81
7.3.1	Zhodnocení anatomických struktur PK	81
7.3.2	Zhodnocení prostým okem, „eyeballing“	82
7.3.3	Zhodnocení TAPSE (tricuspid annular plane systolic excursion, pohyb prstence trikuspidální chlopně vertikálním směrem)	82

7.3.4	Zhodnocení pohybu septa v krátké ose (PSAX nebo subkostální projekce)	82
7.3.5	Zhodnocení (výpočet) plicní hypertenze (PH)	82
7.4	Jak zhodnotit diastolickou dysfunkci levé komory	84
7.5	Jak zhodnotit mitrální regurgitaci (MR)	87
7.6	Jak zhodnotit mitrální stenózu (MS)	89
7.7	Jak zhodnotit aortální regurgitaci (AR)	90
7.8	Jak zhodnotit aortální stenózu (AS)	90
7.9	Klinické shrnutí – hodnocení klinických syndromů	90
7.9.1	Hypovolemie	90
7.9.2	Sepse/SIRS	91
7.9.3	Plicní embolie	91
7.9.4	Ischemie myokardu LK	91
7.9.5	Perikardiální tamponáda	92
7.9.6	Dilatační kardiomyopatie	93
8	Využití transezofageální echokardiografie v kardiopulmonální resuscitaci	94
9	Ultrazvukové vyšetření cév	96
9.1	Aneurysma břišní aorty	96
9.2	Disekce aorty	97
9.3	Vyšetření žilního systému	97
	Medailonek autora	102
	Souhrn	103
	Seznam zkratk	104
	Rejstřík	107

Table of Content

Preface	111
1 General principle and characteristics of emergency point-of-care ultrasound	113
1.1 Basic physics of ultrasound needed for POC ultrasonography	113
1.2 Types of transducers (also called „probes“)	116
1.3 Scanning format	118
1.4 Displaying ultrasound data (B-mode or M-mode)	119
1.5 Image artifacts	120
1.6 Orientation on the USG screen	123
1.7 Transducer manipulation	126
1.8 Other modalities using ultrasonography, Doppler ultrasonography	127
1.8.1 Color Doppler	129
1.8.2 Power Doppler	130
1.8.3 Pulse Wave Doppler (PW)	130
1.8.4 Continuous Wave Doppler (CW)	132
2 Circulation failure and differential diagnosis of shock	134
2.1 Cardiogenic shock	135
2.2 Hypovolemic shock	135
2.3 Distributive shock	135
2.4 Obstructive shock	137
3 Lung ultrasound	139
3.1 Examination of the pleura	140
3.1.1 Pneumothorax	141
3.1.2 Pleural effusion (fluidothorax)	142
3.2 Examination of the lungs	143
3.2.1 A-profile	143
3.2.2 B-profile	144
3.2.3 C-profile	146
3.3 Practical protocols	148
3.3.1 Diagnosis of pneumothorax – Volpicelli scheme	148
3.3.2 Diagnosis of respiratory failure – the BLUE protocol of Lichtenstein	149

4	Role of USG in trauma – E-FAST (Extended Focused Sonography in Trauma)	151
4.1	Pneumothorax	151
5	Role of USG in cardiopulmonary resuscitation	159
6	Point-of-care Transthoracic Echocardiography (TTE)	162
6.1	Image orientation and anatomy	162
6.2	Transthoracic views	163
6.2.1	Subcostal view	164
6.2.2	Apical views	165
6.2.3	Parasternal view	168
6.3	Nourishing arteries of the heart walls and impaired contractility during ischemia	172
7	Practical approach: what and how to assess during POC echocardiography	174
7.1	How to differentiate acute and chronic changes and normal status	174
7.2	How to assess the left ventricle	175
7.2.1	Assessment of anatomical structures of left ventricle	175
7.2.2	Eyeballing assessment beginning from the apex	175
7.2.3	Assessment of EPSS (end point septal separation)	175
7.2.4	Assessment of MAPSE (mitral annular plane systolic excursion)	176
7.2.5	Assessment of FS (fractional shortening)	178
7.2.6	Calculation of cardiac output (CO)	178
7.2.7	Calculation of SVRI (systemic vascular resistance index)	179
7.2.8	Assessment of the valves	179
7.3	How to assess the right ventricle	179
7.3.1	Assessment of anatomical structures of RV	179
7.3.2	Eyeballing assessment of RV	180
7.3.3	Assessment of TAPSE (tricuspid annular plane systolic excursion)	180
7.3.4	Assessment of septal motion using a short axis view (PSAX or a subcostal view)	180
7.3.5	Assessment (calculation) of pulmonary hypertension (PH)	180
7.4	How to assess the diastolic dysfunction of LV	182

7.5	How to assess mitral regurgitation (MR)	185
7.6	How to assess mitral stenosis (MS)	187
7.7	How to assess aortic regurgitation (AR)	188
7.8	How to assess aortic stenosis (AS)	188
7.9	Clinical summary – assessment of clinical syndromes	188
7.9.1	Hypovolemia	188
7.9.2	Sepsis (SIRS)	189
7.9.3	Pulmonary embolism	189
7.9.4	LV ischemia	189
7.9.5	Pericardial tamponade	190
7.9.6	Dilated cardiomyopathy	191
8	Transesophageal echocardiography (TEE) for cardiopulmonary resuscitation	192
9	Ultrasound examination of blood vessels	194
9.1	Examination of aorta	194
9.2	Aortic dissection	195
9.3	Examination of the deep venous system	195
	Author's Profile	200
	Summary	201
	List of Abbreviations	202
	Index	205

Autor/Author

doc. MUDr. Miroslav Durila, Ph.D.

Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny 2. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a Fakultní nemocnice Motol, Praha
Department of Anaesthesiology and Intensive Care Medicine,
2nd Faculty of Medicine, Charles University in Prague and Motol
University Hospital

Recenzenti/Reviewers

doc. MUDr. Milan Kuchta, CSc., mim. prof.

Košická ultrasonografická škola, plus, n.o.
Klinika detí a dorastu Lekárskej fakulty Univerzity Pavla Jozefa
Šafárika v Košiciach a Detskej fakultnej nemocnice, Košice,
Slovensko
Košice Ultrasound School, plus, NPO
Department of Paediatrics and Adolescent Medicine, Faculty
of Medicine, Pavol Jozef Safarik University in Košice and
Children's University Hospital in Košice, Slovakia

MUDr. Jaroslav Kratochvíl

Oddělení urgentního příjmu Nemocnice České Budějovice, a. s.
Emergency Department, Hospital České Budějovice, Czech Republic

Motto

„Složitost je často jen neodhalená jednoduchost.“

(autor knihy)

Poděkování

Rád bych poděkoval všem autorům zmíněným na konci každé kapitoly za to, že byli přímo či nepřímo mými učiteli, a za svolení podělit se se čtenáři této knihy o jejich zkušenosti, vědomosti a obrázky, především Dr. Robinsonovi M. Ferremu (člen 3rd Rock Ultrasound), Dr. Thomasi Cookovi (zakladatel 3rd Rock Ultrasound) a Dr. Thomasi Binderovi (zakladatel 123 Sonography). Dále děkuji kolegyni MUDr. Denise Jindrové z Kardiologické kliniky FN Motol za konzultaci při přípravě české verze této knihy a Mgr. Zdeňkovi Zárybnickému z Ústavu jazyků 2. lékařské fakulty Univerzity Karlovy za korekturu českého textu. V neposlední řadě děkuji přednostovi Kliniky anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny 2. lékařské fakulty Univerzity Karlovy a FN Motol doc. MUDr. Tomáši Vymazalovi, Ph.D., za pomoc a podporu při realizaci této publikace.

Úvodné slovo

Vážení čitateľa tejto ultrazvukovej príručky, práca s pacientom v kritickom zdravotnom stave je veľmi náročná predovšetkým preto, že diferenciálna diagnostika musí byť hotová vo veľmi krátkom čase a často za všeobecne stresujúcich podmienok napr. v teréne, počas kardio-pulmonálnej resuscitácie, v šokovom stave pacienta atď. Ultrazvukové vyšetrenie spravené pri lôžku pacienta (point of care) nesmierne uľahčuje a zrýchľuje diagnostiku príčin závažných stavov, napr. šoku, respiračnej insuficiencie, zástavy obehu, tým, že poodhaľuje orgány a orgánové systémy, ktoré nie je možné vidieť voľným okom.

Toto vyšetrenie môže byť realizované akýmkoľvek lekárom, ktorý dokáže náležite interpretovať v súvislosti s klinickým stavom pacienta. Existuje mnoho kníh, ktoré sa venujú problematike využitia ultrazvuku v medicíne, avšak väčšina z nich je často úzko špecializovaná.

Počas svojej medicínskej praxe som absolvoval viacero ultrazvukových kurzov doma i v zahraničí a niektoré internetové kurzy. Robil som si poznámky a snažil som sa ich spracovať tak, aby som ich mohol využívať v dennej praxi či už ako anesteziológ, intenzivista či konziliár na oddelení urgentného príjmu. Svoje poznámky som spracoval a rozšíril do formy tejto praktickej príručky. Rád by som sa o ňu podelil so všetkými čitateľmi pracujúcimi s pacientom v kritickom stave, a to od prednemocničnej starostlivosti až po perioperačnú medicínu. V princípe je možné tieto vedomosti použiť ako v dospelých, tak i v detskej medicíne.

Táto kniha je vyhotovená so súhlasom mnohých autorov, spomínaných za každou kapitolou, za výhradne vzdelávacím účelom. Je vyhotovená v česko-anglickej verzii, aby bola využiteľná aj pre študentov hovoriacich iným než českým či slovenským jazykom.

Verím, že bude praktickou pomôckou pri práci s kriticky nemocným pacientom všetkým zainteresovaným zdravotníckym pracovníkom.

V Prahe február 2021

Miroslav Durila

1 Obecné principy a charakteristiky „point of care“ ultrazvuku u kritických stavů

Cílem „point of care“ (POC, na místě prvního kontaktu s pacientem) ultrasonografického vyšetření pacienta je hledat odpověď na specifickou otázku, která by mohla vysvětlit příčinu kritického stavu pacienta, např.: Je přítomna volná tekutina v dutině břišní, v hrudníku, v perikardu? Výsledek vyšetření ovlivní následné diagnostické a terapeutické kroky v celkovém managementu kriticky nemocného pacienta. Tak v případě přítomnosti volné tekutiny v perikardu požádáme o konzultaci kardiochirurga nebo kardiologa, nachází-li se volná tekutina v dutině břišní, poradíme se s břišním chirurgem, pokud jde o tekutinu v hrudníku, voláme hrudního chirurga, a možná si situace vyžádá i naši neprodlenou intervenci, třeba zavedení hrudního drénu po diagnostice pneumotoraxu.

Tento způsob využití ultrazvuku (USG) u kriticky nemocného je velice důležitý a potřebný jak pro lékaře, tak pro pacienta, a to především v situaci, kdy není dostatek času pacienta odeslat na vyšetření do radiologické, kardiologické či jiné odborné ambulance nebo v nemocnici není potřebný odborník k dispozici (v nočních hodinách apod.). POC ultrazvukové vyšetření s výhodou provádí klinický lékař, který je s pacientem od prvního kontaktu a dokáže USG nález zhodnotit s ohledem na celkový klinický stav pacienta, např. záchranář, lékař urgentního příjmu, anesteziolog, intenzivist a chirurg.

1.1 Základy fyziky potřebné k pochopení POC ultrazvukového vyšetření

Pierre Curie jako první objevil tzv. piezoelektrické vlastnosti speciálních krystalů, díky kterým je možné proměnit elektrický proud na mechanickou energii (ultrazvukové vlny) a naopak (elektrický proud působí mechanickou vibraci krystalů, a tím vznikají ultrazvukové vlny; a naopak – ultrazvukové vlny působí vibraci krystalů a vibrace posílá generuje elektrický signál). Tento fenomén je využíván v ultrazvukové technologii a vyšetřování pacienta. Ultrazvuková sonda slouží jako zásobník těchto krystalů a rovněž jako generátor (vysílač) a přijímač signálů.

Ultrazvukový signál je generovaný ve dvou možných módech:

- kontinuální mód,
- pulzní mód.

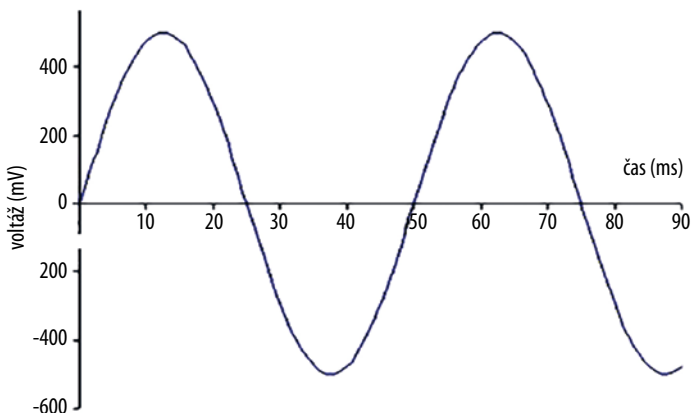
Při kontinuálním módu ultrazvuková sonda funguje jako systém dvou skupin krystalů: jedna skupina krystalů kontinuálně vysílá ultrazvukové paprsky a druhá skupina krystalů kontinuálně přijímá (poslouchá) vracející se echa.

Při pulzním módu jedna skupina krystalů ultrazvukové sondy intermitentně vysílá signály ve velice krátkých intervalech a posléze tážá skupina krystalů přijímá vracející se signály ve formě echa.

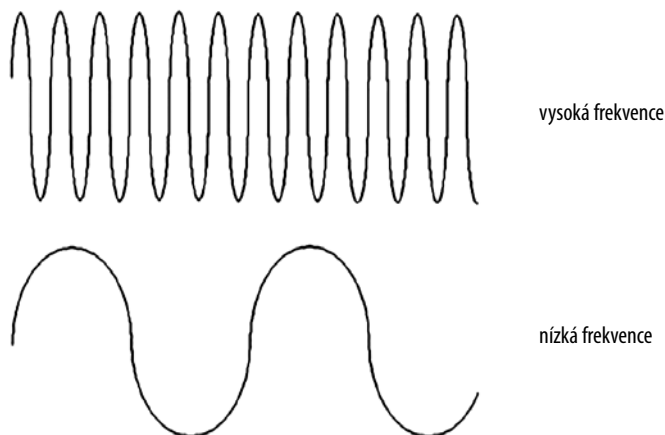
Ultrazvukový signál se šíří v tzv. cyklech – cyklus je repetitivní periodická oscilace ([obr. 1.1](#)).

Ultrazvuková frekvence je počet cyklů za sekundu a je udávána v jednotkách hertz (Hz) ([obr. 1.2](#)). Ultrazvuk je charakterizován frekvencí nad 20 000 Hz. Diagnostický ultrazvuk používá frekvenci nad 1 milion Hz (1 megahertz [MHz]).

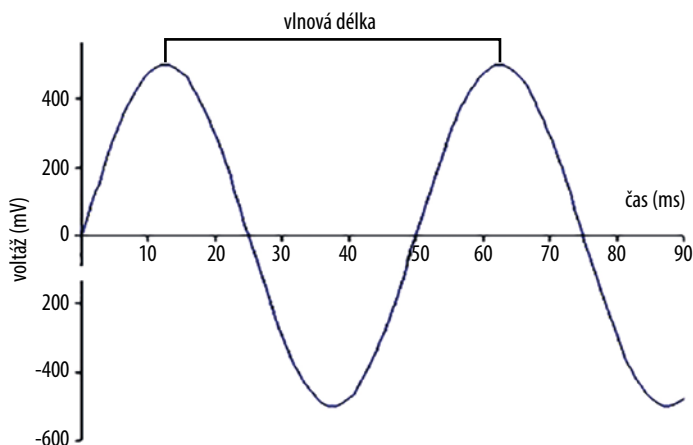
Vlastní délka ultrazvukového cyklu se nazývá vlnová délka ([obr. 1.3](#)).



Obr. 1.1 Ultrazvukový signál se šíří v cyklech, cyklus je repetitivní periodická oscilace



Obr. 1.2 Ultrazvuková frekvence je definována jako počet cyklů za sekundu



Obr. 1.3 Vlnová délka je vlastní délka ultrazvukového cyklu

Zvuk je mechanická energie přenášená skrze médium; charakteristika šíření zvuku médiem je výsledkem frekvence a vlnové délky ultrazvuku. Obecně platí, že se zvyšující se frekvencí se zkracuje vlnová délka a naopak, pokud se frekvence snižuje, vlnová délka se prodlužuje. Rovněž platí, že čím je vlnová délka větší, tím zvuk cestuje dále.

Jelikož zvukové vlny o vysoké frekvenci mají krátkou vlnovou délku, cestují na krátkou vzdálenost a naopak zvukové vlny o nízké frekvenci mají větší vlnovou délku, a cestují proto na velkou vzdálenost.

Existují dva hlavní faktory, které ovlivňují kapacitu média přenášet ultrazvuk: hustota a flexibilita. Čím je hustota a flexibilita větší, tím je přenos zvuku přes toto médium jednodušší.

Například když se ultrazvuková vlna dotkne vody, je přes ni přenášena bez jakýchkoliv problémů, a to díky vysoké hustotě a flexibilitě. Na druhou stranu vzduch má nízkou hustotu a v případě, že se ultrazvuk dostane do kontaktu se vzduchem, je kompletně odražen zpátky a neprotrpí dál. Podobně je to i v případě, že se ultrazvuková vlna dostane do kontaktu s kostí. Jelikož je kost tvrdá (není flexibilní), ultrazvuková vlna je rovněž kompletně odrazena zpátky. V lidském těle tedy neumožňují prostup ultrazvuku dvě substance, a to vzduch a kost.

1.2 Typy ultrazvukových převodníků (sond)

Lineární (povrchová) sonda (obr. 1.4) – používá se k vyšetření povrchových struktur. Jde o vysokofrekvenční sondy, které umožňují velice detailní rozlišení povrchových struktur (díky vysoké frekvenci umožňují dobré rozlišení, ale kvůli krátké vlnové délce nepřestupují do hlubokých struktur). Formát zobrazení je lineární (obraz 2D na osy x, y).

Konvexní (transabdominální) sonda (obr. 1.5) – používá se k vyšetření nitrobřišních struktur. Díky nižší frekvenci umožňuje zobrazit hlubší struktury, i když za cenu horšího zobrazení detailů.

Sektorová/fázová (kardiální) sonda (obr. 1.6) – používá se k vyšetření nitrohruďních struktur, zejména srdce. Díky nízké frekvenci a malé vyšetřovací kontaktní ploše umožňuje vyšetřit hluboké struktury z malého vyšetřovacího okénka, např. mezižebního prostoru.



frekvence 4–12 MHz
lineární formát zobrazení
zobrazení povrchových struktur: • cévní systém • muskuloskeletální systém • povrchový plicní parenchym • měkké tkáně

Lineární sonda

Obr. 1.4 Lineární sonda pro zobrazení povrchových struktur

frekvence 2–5 MHz
sektorový formát zobrazení
zobrazení hlubších struktur
zobrazení: • břišní orgány • orgány malé pánve (gynekologické a urologické) • plicní parenchym a další hrudní orgány

Konvexní sonda

Obr. 1.5 Transabdominální sonda pro zobrazení hlubších struktur, především orgánů břicha

frekvence 2–4 MHz
sektorový formát zobrazení
zobrazení hlubokých struktur
zobrazení: • srdce • plicní parenchym a další hrudní orgány • břišní orgány

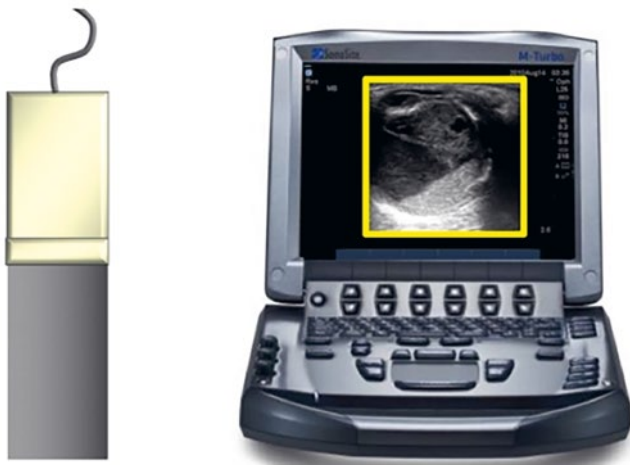
Sektorová/fázová sonda

Obr. 1.6 Kardiální sonda pro transtorakální zobrazování hlubokých nitrohrudních struktur, především srdce

1.3 Formát ultrazvukového zobrazení

Ultrazvukové signály jsou vysílány a zpracovány ve dvou formátech:

- lineární formát,
- sektorový formát.



Obr. 1.7 Lineární formát zobrazení – ultrazvukový signál je vyslán z rovného povrchu sondy, získáváme pravoúhlý obraz

V případě **lineárního formátu** (lineární sonda) je signál vyslán a zpracován takovým způsobem, že na obrazovce dostaneme pravoúhlé zobrazení (**obr. 1.7**). To je díky tomu, že signál je vyslán ze sondy s rovným povrchem.

V případě **sektorového formátu** (abdominální a kardiální sonda) je signál vyslán a zpracován takovým způsobem, že na obrazovce dostaneme trojúhelníkový obraz (**obr. 1.8**). To je díky tomu, že povrch sondy je zakřiven a signál se se vzdáleností od sondy rozšiřuje, dostáváme tedy širší (větší) distální zobrazení.

Zesilovací tlačítko (gain button) – vracející se signál z hlubokých struktur je obecně oslaben absorpcí v tkáních. K zesílení detekce vracejícího se signálu a zlepšení jeho kvality lze využít tlačítko „gain“.

Stupnice šedi (grey scale) – každému pixelu ultrazvukového zobrazení je přiřazen určitý stupeň šedi. Reflexní struktury (tj. ty, v nichž signál prochází prostředím velice těžko) označujeme jako „hyper-echogenní“ a je jim přiřazena bílá barva.



Obr. 1.8 Sektorový formát zobrazení – ultrazvukový signál je vyslán a zpracován v trojúhelníkovém zobrazení

Naopak struktury, kde nedochází k oslabení signálu, označujeme jako „anechogenní“ a je jim přiřazena černá barva.

1.4 Zobrazení ultrazvukového signálu (B-mód a M-mód)

Nejčastější způsob zobrazení ultrazvukového signálu je ve formě tzv. **B-módu** (brightness mode, [obr. 1.9](#)), který představuje 2D zobrazení struktur v reálném čase.

Další formát, který lze využít, je tzv. **M-mód** (motion mode, [obr. 1.10](#)). U tohoto formátu jsou ultrazvuková data zobrazena ve formě jednoduché svislé čáry (paralelně k dlouhé ose ultrazvukového paprsku), a to kontinuálně v čase – tedy v pohybu.