

ULTRAZVUK V OTORINOLARYNGOLOGII

Kniha byla vydána díky laskavé podpoře společnosti:



Prof. MUDr. Jaromír Astl, CSc.
a kolektiv

ULTRAZVUK V OTORINOLARYNGOLOGII

maxdorf jessenius

DŮLEŽITÉ UPOZORNĚNÍ

Autoři i nakladatel vynaložili velkou péči a úsilí, aby všechny informace v knize obsažené týkající se dávkování léků a forem jejich aplikace odpovídaly stavu vědy v okamžiku vydání. Nakladatel však za údaje o použití léků, zejména o jejich indikacích, kontraindikacích, dávkování a aplikačních formách, nenese žádnou odpovědnost, a vylučuje proto jakékoli přímé či nepřímé nároky na úhradu eventálních škod, které by v souvislosti s aplikací uvedených léků vznikly. Každý uživatel je povinen důsledně se řídit informacemi výrobců léčiv, zejména informací přiloženou ke každému balení léku, který chce aplikovat.

Ochranné obchodní známky (chráněné názvy) léků ani dalších výrobků nejsou v knize zvlášť zdůrazňovány. Z absence označení ochranné známky proto nelze vyvozovat, že v konkrétním případě jde o název nechráněný.

Toto dílo, včetně všech svých částí, je zákonem chráněno. Každé jeho užití mimo úzké hranice zákona je nepřípustné a je trestné. To se týká zejména reprodukování či rozšiřování jakýmkoli způsobem (včetně mechanického, fotografického či elektronického), ale také ukládání v elektronické formě pro účely rešeršní i jiné. K jakémukoli využití díla je proto nutný písemný souhlas nakladatele, který také stanoví přesné podmínky využití díla. Písemný souhlas je nutný i pro případy, ve kterých může být udělen bezplatně.

Podpořeno projektem Ministerstva obrany ČR MO 1012 – kapitoly 6, 11, 15 a 23.

Podpořeno z programového projektu Ministerstva zdravotnictví ČR s reg. č. 17-31016A, NV-19-04-00270 a NV-19-08-00362. Veškerá práva podle předpisů na ochranu duševního vlastnictví jsou vyhrazena – kapitoly 18, 25, 26.

© Jaromír Astl, 2021

© Maxdorf, 2021

Illustrations © Maxdorf; Eliška Astlová; Šárka Zavázalová, 2021

Cover layout © Maxdorf, 2021

Vydal Maxdorf s. r. o., nakladatelství odborné literatury, Na Šejdru 247/6a, 142 00 Praha 4

e-mail: info@maxdorf.cz, internet: www.maxdorf.cz

Jessenius® je chráněná značka [No. 267113] označující publikace určené odborné zdravotnické veřejnosti

Odpovědný redaktor: **Ing. Veronika Pátková**

Jazyková redakce: **Mgr. Irena Kratochvílová, Mgr. Veronika Vrtělková**

Ilustrace: **Ing. Jaroslav Nachtigall, Ph.D., Mgr. Veronika Mrázová, Eliška Astlová, MUDr. Šárka Zavázalová**

Sazba: **Blanka Filouňková**

Obálka: **Grafické studio Maxdorf**

Tisk: Books Print s.r.o.

Printed in the Czech Republic

ISBN 978-80-7345-693-1

HLAVNÍ AUTOR A EDITOR

- Prof. MUDr. Jaromír Astl, CSc., ÚVN, Klinika otorinolaryngologie a maxilofaciální chirurgie 3. LF UK a ÚVN, Praha

SPOLUEДИТОŘI

- MUDr. David Kalfeřt, Ph.D., Klinika otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku 1. LF UK a FN Motol, Praha
- Prof. MUDr. David Školoudík, Ph.D., FESO, FEAN, Centrum zdravotnického výzkumu LF OU, Ostrava
- MUDr. Richard Holý, Ph.D., ÚVN, Klinika otorinolaryngologie a maxilofaciální chirurgie 3. LF UK a ÚVN, Praha

SPOLUAUTOŘI

- Doc. MUDr. Monika Arenbergerová, Ph.D., Dermatovenerologická klinika 3. LF UK a FNKV, Praha
- MUDr. Tomáš Belšan, CSc., ÚVN, Radiodiagnostické oddělení, ÚVN, Praha
- MUDr. Jaroslav Betka, Ph.D., Klinika otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku 1. LF UK a FN Motol, Praha
- Doc. MUDr. Petr Čelakovský, Ph.D., Klinika otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku LF UK a FN Hradec Králové
- †MUDr. Kateřina Fajkošová, Kožní Velešlavín, Praha
- MUDr. Tomáš Filipovský, ÚVN, Klinika otorinolaryngologie a maxilofaciální chirurgie 3. LF UK a ÚVN, Praha
- MUDr. Anasuya Guha, Klinika otorinolaryngologická 3. LF UK a FNKV, Praha
- Mgr. Kristina Hassmannová, FyziVšem, Praha
- MUDr. Jiří Hložek, ÚVN, Klinika otorinolaryngologie a maxilofaciální chirurgie 3. LF UK a ÚVN, Praha
- Doc. MUDr. Martin Chovanec, Ph.D., Klinika otorinolaryngologická 3. LF UK a FNKV, Praha
- MUDr. Jan Kastner, Ph.D., ORL Kastner, Beroun
- MUDr. Rami Katra, Ph.D., Klinika ušní, nosní a krční 2. LF UK a FN Motol, Praha
- MUDr. Petr Laštůvka, Klinika otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku 1. LF UK a FN Motol, Praha
- Prof. MUDr. David Netuka, Ph.D., ÚVN, Neurochirurgická a neuroonkologická klinika 1. LF UK a ÚVN, Praha
- MUDr. Ladislav Nováček, Oční oddělení – Ústav leteckého zdravotnictví Praha
- MUDr. Zdeněk Novák, CSc., Endokrinologický ústav, Praha
- MUDr. Jan Rotnágl, ÚVN, Klinika otorinolaryngologie a maxilofaciální chirurgie 3. LF UK a ÚVN, Praha
- MUDr. Martin Roubec, Ph.D., Neurologická klinika LF OU a FN Ostrava, Ostrava
- MUDr. Michal Soták, ÚVN, Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny 1. LF UK a ÚVN, Praha
- MUDr. Pavel Štrympl, Ph.D., Ambulance ORL – Auris s.r.o., Ostrava
- MUDr. Miloš Taudy, Klinika otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku 1. LF UK a FN Motol, Praha
- MUDr. Tomáš Tyll, Ph.D., ÚVN, Klinika anesteziologie, resuscitace a intenzivní medicíny 1. LF UK a ÚVN, Praha
- MUDr. Karla Wiesnerová, ÚVN, Klinika otorinolaryngologie a maxilofaciální chirurgie 3. LF UK a ÚVN, Praha
- MUDr. Michal Zábrodský, Ph.D., Klinika otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku 1. LF UK a FN Motol, Praha
- MUDr. Šárka Zavázalová, ÚVN, Klinika otorinolaryngologie a maxilofaciální chirurgie 3. LF UK a ÚVN, Praha

RECENZENT

- Prof. MUDr. Jan Plzák, Ph.D., Klinika otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku 1. LF UK a FN Motol, Praha

Poděkování sponzorům

*Vážené kolegyně a kolegové, čtenáři,
dovolte, abychom v úvodu poděkovali všem,
kdo podporují vydávání odborné literatury,
resp. vzdělávání lékařů a pracovníků pečujících o nemocné.
Ke vzniku každé odborné publikace je vždy třeba,
aby se sešlo úsilí autorů, vydavatelů a sponzorů.*

PŘEDMLUVA

Vážené kolegyně, kolegové, vážení čtenáři,

dostává se Vám do rukou monografie, která vznikla z vědomí autorů o nezbytnosti základního edukačního textu pro aplikaci ultrazvukových technologií i v oblasti hlavy a krku.

Autoři měli společný cíl vytvořit knihu, která je zaměřena především na klinickou praxi. Teorie je omezena na nezbytné minimum umožňující pochopení principů využití ultrazvuku v diagnostice chorobných stavů. Bohatě ilustrovaný text by měl usnadnit cestu k praktickému provádění cílené diagnostiky a terapie (FNAB, ultrasound guided surgery, ultrasound focused surgery) a v neposlední řadě také např. využití harmonického skalpelu, CUSA a akustické rinometrie. Je velmi žádoucí, aby indikace specializovaných vyšetření (CT, HRCT, MRI, PET scan aj.) byly racionální.

V průběhu minulých 40 let se ultrazvuk postupně stal jednou ze základních diagnostických modalit v gynekologii a porodnictví, ve většině interních oborů, v chirurgii či intenzivní medicíně. K těmto oborům se v posledních 10 letech v plné míře zařadila rovněž otorinolaryngologie.

Dovolte mi, abych na tomto místě za sebe poděkoval všem spoluautorům, kolegyním a kolegům z Kliniky otorinolaryngologie a maxilofaciální chirurgie 3. LF UK a ÚVN, Vojenské fakultní nemocnice, Kliniky otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku 1. LF UK, Katedry otorinolaryngologie IPVZ, Sekce endokrinochirurgie České společnosti otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku ČLS JEP a v neposlední řadě i všem spolupracujícím odborníkům z řady významných pracovišť, kteří se na vzniku publikace podíleli, a pomohli tak jejímu vzniku.

Kniha je určena především otorinolaryngologům, chirurgům či endokrinologům, ale rovněž lékařům dalších oborů, kteří přicházejí do styku s patologiemi hlavy a krku. Věříme, že se stane pomůckou především pro ty, kdo se chystají zabývat sonografií v ORL a chirurgii hlavy a krku – publikace má ambici se stát učební pomůckou pro lékaře v kurzech diagnostického ultrazvuku. Knihu jsme však koncipovali tak, aby v ní poučení a inspiraci našli i ti, kdo se již ultrasonografií věnují a aplikují ji v běžné klinické praxi. Text je psán tak, aby byl srozumitelný i studentům ve vyšších ročnících pregraduálního studia, částečně i s nadějí, že může některé z nich získat pro náš krásný obor.

Prof. MUDr. Jaromír Astl, CSc.

jménem autorů a endokrinochirurgické sekce
České společnosti otorinolaryngologie
a chirurgie hlavy a krku ČLS JEP

OBSAH

| | |
|-----------------|---|
| Předmluva | 7 |
|-----------------|---|

I. OBECNÁ ČÁST

Jaromír Astl, David Kalfeřt, Richard Holý, Šárka Zavázalová, Tomáš Belšan, Jaroslav Betka, Jiří Hložek, Martin Chovanec, Petr Laštůvka, Jan Rotnágl, Miloš Taudy

| | | | |
|----------|---|-----------|--|
| 1 | Stručná historie ultrazvuku | 6 | Indikace a kontraindikace ultrazukového vyšetření a aplikace ultrazvuku v otorinolaryngologii |
| | <i>David Kalfeřt</i> | | <i>Tomáš Belšan, Jaromír Astl</i> |
| 1.1 | Ultrazvuk v živočišné říši | 6.1 | Diagnostický ultrazvuk |
| 1.2 | Historie ultrazvuku | 6.2 | Přínos sonografie pro otorinolaryngologa |
| 2 | Základní fyzikální principy ultrazvuku | 6.3 | Aplikace ultrazvuku v otorinolaryngologii a maxilofaciální chirurgii mimo zobrazovací metody |
| | <i>Jaromír Astl, Richard Holý, Jan Rotnágl</i> | 6.4 | Chirurgické využití v otorinolaryngologii a maxilofaciální chirurgii |
| 2.1 | Základní fyzikální principy ultrazvuku | 7 | Diagnostická kritéria pro hodnocení ultrazukových nálezů v oblasti hlavy a krku |
| 2.2 | Zdroje ultrazvuku pro lékařské účely | | <i>Jaromír Astl, Jan Rotnágl, Jaroslav Betka</i> |
| 2.3 | Ultrazukové pole, fokusace, rozlišovací schopnost | 8 | Bezpečnost ultrazvuku |
| 2.4 | Rozlišovací schopnost sonografických přístrojů | | <i>Richard Holý</i> |
| 2.5 | Interakce ultrazvuku a tkání | 9 | Ultrazukem řízená punkce tenkou jehlou (biopsie) v oblasti krku a hlavy (G-FNAB) |
| 2.6 | Dopplerův jev | | <i>Jaromír Astl, Petr Laštůvka</i> |
| 2.7 | Ultrasonografická struktura tkání | 9.1 | Nástroje a potřebné pomůcky nezbytné k provedení (aspirační) biopsie tenkou jehlou |
| 2.8 | Echogenita | 9.2 | Provedení tenkojehlové biopsie |
| 2.9 | Druhy ultrazukového zobrazení | 9.3 | Biopsie hrubou jehlou (core biopsy) |
| 2.10 | Elastografie | 9.4 | Zpracování odebraného materiálu |
| 3 | Ultrazukové přístroje a vyšetřovna | 9.5 | Klasifikace cytologických nálezů a jejich klinická interpretace |
| | <i>Jaromír Astl, David Kalfeřt</i> | 10 | Ultrazukem navigovaná chirurgie v oblasti krku a hlavy |
| 3.1 | Ultrazukové přístroje pro zobrazení v oblasti hlavy a krku | | <i>Jaromír Astl, Miloš Taudy, David Kalfeřt</i> |
| 3.2 | Vyšetřovna pro ultrazukové vyšetření hlavy a krku | 10.1 | Metodika a princip metody |
| 3.3 | Výsledek a popis vyšetření | 10.2 | Indikace |
| 4 | Sonografická anatomie | | |
| | <i>Šárka Zavázalová, Jiří Hložek, Martin Chovanec</i> | | |
| 5 | Artefakty ultrazukového zobrazení v oblasti krku a hlavy | | |
| | <i>Jaromír Astl, David Kalfeřt</i> | | |
| 5.1 | Vliv artefaktů na senzitivitu a specifitu ultrazukového vyšetření | | |
| 5.2 | Artefakty spojené s technickými vlastnostmi přístroje | | |
| 5.3 | Znalosti a zkušenosti vyšetřujících | | |

II. SPECIÁLNÍ ČÁST

Jaromír Astl, David Školoudík, Pavel Štrympl, Jan Rotnág, Ladislav Nováček, Jaroslav Betka, Jan Kastner, Martin Chovanec, Monika Arenbergerová, Kateřina Fajkošová, Anasuya Guha, Jiří Hložek, Rami Katra, Petr Laštůvka, David Netuka, Zdeněk Novák, Martin Roubec, Michal Soták, Tomáš Tyll, Michal Zábrodský, Šárka Zavázalová

| | | | | |
|-----------|--|------|------------------------|--|
| 11 | Štítná žláza | 15.5 | Peroperační sonografie | 145 |
| | <i>Jaromír Astl, Zdeněk Novák, Petr Laštůvka, Rami Katra</i> | 75 | | |
| 11.1 | Sonografická anatomie | 75 | 16 | Hrtan |
| 11.2 | Diagnostická kritéria | 75 | | <i>Jaromír Astl</i> |
| 11.3 | Popis nálezu – protokol | 78 | 16.1 | Sonografická anatomie |
| 11.4 | Patologické změny štítné žlázy diferencovatelné ultrazvukem | 81 | 16.2 | Diagnostická kritéria |
| | | | 16.3 | Popis nálezu – protokol |
| | | | 16.4 | Patologické změny hrtanu diferencovatelné ultrazvukem |
| 12 | Příštítná tělíska | | 17 | Sonografie krčního úseku trachey a jícnu |
| | <i>Jaromír Astl, Zdeněk Novák</i> | 94 | | <i>Jaromír Astl, Petr Laštůvka, Tomáš Tyll, Michal Soták</i> |
| 12.1 | Sonografická anatomie | 94 | 17.1 | Sonografická anatomie |
| 12.2 | Diagnostická kritéria | 94 | 17.2 | Sonografická kritéria |
| 12.3 | Popis nálezu – protokol | 95 | 17.3 | Popis nálezu – protokol |
| 12.4 | Patologické změny příštítných tělísek diferencovatelné ultrazvukem | 96 | 17.4 | Klinické využití ultrazvuku dýchacích cest |
| | | | 17.5 | Zobrazení jícnu (polykacích cest) |
| 13 | Příušní slinná žláza | | 18 | Sonografické vyšetření karotických tepen |
| | <i>Pavel Štrympl, Jan Rotnág, Michal Zábrodský, Jaromír Astl</i> | 101 | | <i>David Školoudík, Martin Roubec</i> |
| 13.1 | Sonografická anatomie | 101 | 18.1 | Vyšetření |
| 13.2 | Diagnostická kritéria | 101 | 18.2 | Anatomické varianty odstupu, hypoplazie a aplazie, abnormální průběh |
| 13.3 | Popis nálezu – protokol | 102 | 18.3 | Intimomediální šíře |
| 13.4 | Patologické změny příušní slinné žlázy diferencovatelné ultrazvukem | 103 | 18.4 | Aterosklerotický plát |
| 13.5 | Duplexní ultrasonografie v diagnostice nádorů velkých slinných žláz | 111 | 18.5 | Stenóza karotis |
| 13.6 | Cytologické vyšetření | 113 | 18.6 | Okluze vnitřní karotidy |
| 13.7 | Příušní žláza po parotidektomii | 116 | 18.7 | Disekce karotické tepny |
| | | | 18.8 | Poradiační změny |
| | | | 18.9 | Zánětlivé změny |
| | | | 18.10 | Fibromuskulární dysplazie |
| | | | 18.11 | Tumor glomus caroticum |
| | | | 18.12 | Prorůstání krčních tumorů cévní stěnou karotidy |
| 14 | Podčelistní a podjazyková slinná žláza | | 19 | Sonografie vedlejších nosních dutin |
| | <i>Jan Rotnág, Jaroslav Betka, Jaromír Astl</i> | 117 | | <i>Jaromír Astl, Jan Kastner, Jiří Hložek, David Netuka</i> |
| 14.1 | Technika snímání | 117 | 19.1 | Anatomie |
| 14.2 | Anatomické poznámky | 117 | 19.2 | Sonografická anatomie čelistní dutiny a čelní dutiny |
| 14.3 | Sonoanatomie podčelistní a podjazykové slinné žlázy | 119 | 19.3 | Diagnostická kritéria |
| 14.4 | Sonografické nálezy | 120 | 19.4 | Sonografická kritéria patologických nálezů |
| 14.5 | Popis nálezu – protokol | 121 | 19.5 | Popis nálezu – protokol |
| 14.6 | Patologické změny | 121 | 19.6 | Patologické změny |
| 15 | Spodina ústní a orofarynx | | 20 | Sonografie očí |
| | <i>Jaromír Astl, Jaroslav Betka, Jan Rotnág, Michal Zábrodský, Jiří Hložek</i> | 128 | | <i>Ladislav Nováček, Šárka Zavázalová, Jaromír Astl</i> |
| 15.1 | Sonografická anatomie | 128 | 20.1 | Sonografická anatomie |
| 15.2 | Diagnostická kritéria | 129 | 20.2 | Diagnostická kritéria |
| 15.3 | Popis nálezu – protokol | 129 | | |
| 15.4 | Patologické změny v oblasti orofaryngu diferencovatelné ultrazvukem | 130 | | |

| | | | | | |
|-----------|---|-----|-----------|--|-----|
| 20.3 | Popis nálezu – protokol | 199 | 23.5 | Sonografická kritéria malignity při zobrazení krčních lymfatických uzlin | 227 |
| 20.4 | Patologické změny v očnici diferencovatelné ultrazvukem | 199 | 23.6 | Sonografický obraz zdravé lymfatické uzliny | 228 |
| | | | 23.7 | Patologické změny | 228 |
| 21 | Ultrazvuková diagnostika cyst v oblasti hlavy a krku | | 24 | Sonografie v diagnostice chemodektomu a cévních nádorů | |
| | <i>Jaroslav Betka, Petr Laštůvka, Jaromír Astl</i> | 205 | | <i>Martin Chovanec, David Školoudík, Anasuya Guha, Jaromír Astl</i> | 242 |
| 21.1 | Sonografická anatomie | 205 | 24.1 | Diagnostická kritéria | 242 |
| 21.2 | Popis nálezu – protokol | 205 | 24.2 | Definitivní stanovení diagnózy | 242 |
| 21.3 | Patologické změny | 206 | 24.3 | Dopplerovské vyšetření | 242 |
| 22 | Sonografie u kožních onemocnění v oblasti hlavy a krku | | 25 | Transkranální ultrazvukové vyšetření | |
| | <i>Jan Kastner, Michal Zábrodský, Jan Rotnág, Kateřina Fajkošová, Monika Arenbergerová</i> | 213 | | <i>David Školoudík</i> | 245 |
| 22.1 | Sonografická anatomie | 213 | 25.1 | Transkranální dopplerovská sonografie | 245 |
| 22.2 | Diagnostická kritéria | 214 | 25.2 | Transkranální barevná duplexní sonografie | 250 |
| 22.3 | Kritéria stanovení diagnózy při zobrazení lézí kůže, podkoží a spádových lymfatických uzlin | 214 | 25.3 | Transkranální sonografie | 251 |
| 22.4 | Popis nálezu – protokol | 215 | 26 | Ultrazvukové vyšetření vertebrálních tepen | |
| 22.5 | Patologické změny diferencovatelné ultrazvukem | 215 | | <i>David Školoudík</i> | 252 |
| 23 | Sonografie krku zaměřená na lymfatické uzliny v oblasti hlavy a krku | | 26.1 | Anatomická varianty, hypoplazie a aplazie | 252 |
| | <i>Jaromír Astl, Petr Laštůvka, Jan Rotnág</i> | 223 | 26.2 | Proximální stenóza | 252 |
| 23.1 | Sonografická anatomie | 223 | 26.3 | Proximální okluze | 252 |
| 23.2 | Ultrazvuková anatomie krčních oblastí | 224 | 26.4 | Distální stenóza | 255 |
| 23.3 | Popis nálezu – protokol | 226 | 26.5 | Distální okluze | 255 |
| 23.4 | Vyšetřování lymfatických uzlin krku | 226 | 26.6 | Disekce | 255 |
| | | | 26.7 | Subklaviální steal syndrom | 255 |
| | | | 26.8 | Klinický význam patologií ve vertebrálním řečišti | 257 |

III. ULTRAZVUK V OTORINOLARYNGOLOGII

Jaromír Astl, Petr Čelakovský, Kristina Hassmannová, Jan Rotnág, Martin Chovanec, Tomáš Filipovský, Richard Holý, David Netuka, Karla Wiesnerová, Šárka Zavázalová

| | | | | | |
|-----------|--|-----|-----------|--|-----|
| 27 | Akustická rinometrie | | 29 | Harmonický skalpel | |
| | <i>Petr Čelakovský, Tomáš Filipovský, Karla Wiesnerová, Jaromír Astl, Richard Holý</i> | 265 | | <i>Jaromír Astl, Jan Rotnág, Richard Holý</i> | 272 |
| 27.1 | Princip metody | 265 | 29.1 | Princip harmonického skalpelu | 272 |
| 27.2 | Technika provedení | 265 | 29.2 | Indikace a aplikace harmonického skalpelu | 273 |
| 27.3 | Hodnocení a interpretace výsledků | 267 | 29.3 | Teploty při práci s nástroji | 273 |
| 27.4 | Klinická aplikace | 268 | 29.4 | Šíření tepla do okolí pracovní části nástroje | 273 |
| 28 | Fyzioterapie a využití ultrazvuku ve fyzikální terapii v oblasti hlavy a krku | | 29.5 | Efekty harmonického skalpelu na tkáň – uhelnatění a tvorba kouře | 273 |
| | <i>Kristina Hassmannová, Jaromír Astl</i> | 269 | 30 | CUSA v chirurgii hlavy a krku | |
| 28.1 | Fyzikální terapie | 269 | | <i>Martin Chovanec, David Netuka, Richard Holý, Tomáš Filipovský, Jaromír Astl</i> | 275 |
| 28.2 | Cíl fyzikální léčby | 269 | 30.1 | Charakteristika metody | 275 |
| 28.3 | Indikace ultrazvuku ve fyzioterapii v oblasti hlavy a krku | 269 | 30.2 | Princip zařízení | 275 |
| 28.4 | Indikace fyzioterapie | 270 | | | |
| 28.5 | Sonoforéza | 271 | | | |

| | | | | |
|-----------|--|------|--|-----|
| 31 | Litotripse v otorinolaryngologii | 31.4 | Akustická fokusace | 278 |
| | <i>Jan Rotnágl, Šárka Zavázalová, Jaromír Astl</i> | 31.5 | Lokalizace při ESWL | 278 |
| 31.1 | Rázová vlna | 31.6 | Praktické užítí litotripse v ORL | 279 |
| 31.2 | Generátor rázových vln (litotripter) | 31.7 | Indikace sialolitotripse | 280 |
| 31.3 | Interakce rázové vlny s konkrementy a jejich fragmentace | 31.8 | Kontraindikace sialolitotripse | 280 |
| | | 31.9 | Popis nálezu – protokol | 280 |

IV. ZÁVĚR

Jaromír Astl, Jirı Hložek, Jaroslav Betka, Rami Katra, Petr Laštůvka

| | | | | |
|-----------|---|-----------|---|-----|
| 32 | Praktické využití ultrazvuku v oboru otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku | 32.4 | Sialolitotripse | 285 |
| | <i>Jaromír Astl, Rami Katra, Petr Laštůvka, Jaroslav Betka</i> .. | 32.5 | Edukační program ultrasonografické diagnostiky v otorinolaryngologii | 286 |
| 32.1 | Sonografie – diagnostická zobrazovací metoda | 33 | Historické osobnosti vyznamne pro vývoj a aplikaci ultrazvuku v oblasti hlavy a krku | |
| 32.2 | Diagnostická akustická rinometrie | | <i>Jirı Hložek, Jaromír Astl</i> | 290 |
| 32.3 | Harmonický skalpel, CUSA | | | |
| | | | | |
| | Přehled použitých zkratek | | | 292 |
| | Anotace | | | 294 |
| | Summary | | | 295 |
| | Medailonky hlavních autorů a editorů | | | 296 |
| | Rejstřík | | | 299 |

OBEČNÁ ČÁST

I.

Jaromír Astl

David Kalfeřt

Richard Holý

Šárka Zavázalová

Tomáš Belšan

Jaroslav Betka

Jiří Hložek

Martin Chovanec

Petr Laštůvka

Jan RotnágI

Miloš Taudy

1 STRUČNÁ HISTORIE ULTRAZVUKU

David Kalfeřt

1.1 ULTRAZVUK V ŽIVOČIŠNÉ ŘÍŠI

Ultrazvuk je fyzikální jev, kterým jsou označeny zvuky, jež jsou pro lidské ucho mimo oblast, kterou je člověk (*homo sapiens sapiens*) schopen vnímat. Je pozoruhodné, že ultrazvuk registrují, a tedy mohou vnímat mnohé živočišné druhy (tab. 1.1).

Je zřejmé, že pouze některé druhy využívají vlastnost sluchu k tzv. echolokaci (netopýr, kaloň, resp. vrápencovití). Mezi další druhy využívající uvedenou schopnost vnímání zvuku patří ptáci, především je echolokace popsána u jihoamerických gvačarů, kteří jsou příbuzní našim lelkům, či salangy (druh rorýse) z jihovýchodní Asie. Echolokace byla zjištěna i u kytovců a především delfínů. U delfínů se také setkáváme s tukovým tělesem na lebce, jehož funkce bývá označována jako „akustická čočka“. U těchto živočišných druhů využívajících ultrazvuk došlo ke změně na genu, který definuje protein (známý jako *prestin*) ve vnějších vláskových buňkách vnitřního ucha. Opravdu fascinující skutečností je, že uvedená genetická změna a bílkovina jsou shodné u odlišných živočišných druhů vnímajících ultrazvuk (echolokaci), např. netopýrů a delfínů. Gen, který *prestin* definuje, je znám jako *SLC26A5*. U různých živočišných druhů se *prestin* liší ve složení substitucí aminokyselin, a tím se mění schop-

■ Tabulka 1.1 Minimální a maximální hranice sluchu vybraných živočišných druhů

| | |
|--------------------|----------------|
| slon africký | min. 5 Hz |
| plejtvák obrovský | min. 30 Hz |
| pes | max. 22 kHz |
| potkan | max. 42–44 kHz |
| sysel Richardsonův | max. 48 kHz |
| netopýr | max. 100 kHz |
| skokan čínský | max. 128 kHz |
| zavíječ | max. 135 kHz |
| delfíni | max. 175 kHz |
| sledovité | max. 180 kHz |

nost slyšet ve vysokých frekvencích. Tento gen je znám v šesti izoformách u člověka a oproti druhům využívajícím echolokaci má tzv. mnohočetné substituce aminokyselin.

1.2 HISTORIE ULTRAZVUKU

Ultrazvukové vlny poprvé údajně popsal již v roce 1794 biolog a fyziolog Lazzaro Spallanzani, který prokázal schopnost netopýrů orientovat se ve tmě a předpokládal, že se tak děje pomocí zvuku (tab. 1.2). V roce 1862 Švýcar Jean Daniel Collado použil pod vodou kostelní zvon a prokázal, že se zvuk vodou šíří rychleji, než tomu bylo vzduchem. Rakouský fyzik Christian Andreas Doppler, který působil v Praze jako profesor na Českém vysokém učení technickém, popsal roku 1842 jev šíření zvuku a určení směru zvuku v pevných strukturách na základě frekvenčního rozdílu.

Objev ultrazvuku jako fyzikálního jevu je spojován především se jmény Pierra a Jacquesa Curieových, kteří objevili a v roce 1880 zveřejnili piezoelektrický jev. Konstrukci prvního piezoelektrického měniče představil v roce 1915 Paul Langevin. Langevin se inspiroval katastrofou lodi Titanik z roku 1912, která narazila do ledu. O dva roky později se objevuje patent sonaru, tedy prvního echolokátoru, který byl využíván především k vojenským účelům u podmorských člunů a později ponorek. O dalších deset let později (v roce 1925) získal patent S. J. Sokolov na konstrukci defektoskopu, tedy zařízení, které bylo schopno odhalovat skryté vady v kovových materiálech na principu ultrazvuku. Metoda se natolik ujala v praxi, že dala vzniknout celému odvětví technické defektoskopie. Dle literárních údajů se první fokusace ultrazvuku objevuje v publikacích J. Gruetzmachera v roce 1935.

Historicky se připisuje první konstrukce ultrazvuku, který byl později v základním principu užíván i v lékařství, Američanovi F. A. Firestoneovi v době druhé světové války. Popsal první systém, jenž využívá měření odražených vln, ale jeho hlavní aplikací byla opět již zmíněná defektoskopie. Do historie ultrazvuku vstupují i lidé s českými kořeny. Rakušan Karl Theodor Dussik

■ Tabulka 1.2 Stručná historie ultrazvuku v datech

| | |
|-----------|---|
| 1794 | biolog Lazzaro Spallanzani popisuje tzv. echolokaci u netopýrů |
| 1877 | Pierre a Jacques Curieovi popisují piezoelektrický jev |
| 1915 | fyzik Paul Langevin konstruuje tzv. hydrofon |
| 1942 | Karl Dussik využívá jako první ultrazvuk v medicíně k zobrazení mozkových nádorů |
| 1948 | George D. Ludwig sestavil první klinický sonograf a zobrazuje žlučové kameny |
| 1949–1951 | Douglas Howry a Joseph Holmes sestavili na univerzitě v Coloradu první B-mode ultrazvukový přístroj |
| 1951 | John Reid a John Wild zobrazují poprvé nádory prsu novou B-mode a 2D projekcí |
| 1953 | fyzička Inge Edlerová a inženýr C. Hellmuth Hertz zobrazili poprvé diagnosticky využitelný echokardiogram (firma Siemens) |
| 1958 | Ian MacDonald úspěšně využívá poprvé ultrazvuk v gynekologii a porodnictví |
| 1966 | Don Baker, Dennis Watkins a John Reid vyvinuli pulzní dopplerovské vyšetření |
| 1980 | Kazunori Baba z univerzity v Tokiu vyvinul 3D ultrazvuk |
| 1989 | Daniel Lichtenstein zavádí využití ultrazvuku do urgentní medicíny k vyšetření na ARO lůžcích |
| 1989 | Heinrich Iro v Erlangenu zavádí extrakorporální sialolitotripsi rázovou vlnou (LERV) |
| 1990 | dochází k zavedení ultrazvukem navigované tenkojehlové biopsie (G-FNAB) |
| 2015 | zavádění iPhone telesonografie do technologií NASA |
| 2016 | debutuje iPhone wireless ultrazvuk pro iOS a Android |

(s českými předky) popsal již roku 1937 elektrickou detekci ultrazvuku procházejícího tkáněmi a popsal konstrukci sond vhodných pro využití ultrazvuku. Dussik se svým bratrem Friedrichem zkonstruoval detektor a použil jej v roce 1942 k zobrazování mozkových komor a jejich nádorového postižení. Stal se tak historicky a fakticky opravdu prvním, kdo použil diagnostický ultrazvuk v lékařství. Princip, který popsal Dussik, se stal základem prací laboratoří firmy Siemens. Metodu založenou na záznamu odrazu (reflexe) ultrazvuku použil v praxi v roce 1948 George Ludwig, internista americké armády, spolu s Francisem Struthersem, když aplikovali ultrazvuk k zobrazení žlučových kamenů. Na ně navázal v roce 1950 J. J. Wilde, který vytvořil přístroj umožňující dvojrozměrný obraz a myšlenku dále rozvinuli Američané Douglas Howry a Joseph Holmes na univerzitě v Coloradu. Práce v laboratořích společnosti Siemens vedly i ostatní firmy k sestrojení prvních lékařských přístrojů v sériové výrobě jak ve Velké Británii, tak v Japonsku. V roce 1958 začal skotský gynekolog Ian Donald éru diagnostického ultrazvuku v gynekologii (společně publikoval práci s J. MacVicarem a T. G. Brownem). Vrcholný rozvoj ultrazvuku se zařazením dopplerovského zobrazení přichází až v roce 1974, kdy konstrukci přístroje popsal F. E. Barber. V současnosti se zavádí tzv. *tele-*

sonografie s využitím technologie iPhonů, autory jsou P. M. McBeth, T. Hamilton a A. W. Kirkpatrick.

Ultrazvuk lze využívat také k destrukci pevné hmoty. Mechanoakustické metody jsou dnes podkladem tzv. extrakorporální litotripse. První zmínky jsou ze 40. let minulého století. Ruský vědec Jutkin sestrojil přístroj k dezintegraci cystolitíázy na principu rázové vlny. Přístroj dostal název URAT a pracoval v přímém kontaktu s konkrementem. Po delší odmlce začíná v 70. letech minulého století nový zájem o rázovou vlnu. Po mnoha letech výzkumů a pokusů na zvířatech (kterým byly voperovány lidské konkrementy) byla v roce 1980 poprvé úspěšně provedena litotripse ledvinového konkrementu u člověka. V otorinolaryngologii je využití litotripse spojeno se jménem profesora Heinricha Ira z Erlangenu, který zavedl metodu sialolitotripse v roce 1989 do klinické praxe.

V české otorinolaryngologii je ultrazvuk spojen s několika významnými osobnostmi. Profesor plukovník Ervín Černý se zabýval využitím ultrazvuku v léčbě Ménièreovy choroby. Profesor Jaroslav Fajstavr v habilitační práci v roce 1972 metodu propracovává. Další osobností je prof. Arnošt Pellant, který se ultrazvukem zabýval na počátku jeho medicínského využití v 70. letech. Ve své dizertační práci z roku 1978 však uvádí, že

ultrazvuk nenaplnil očekávání v možnosti diagnostiky solidních a cystických lézí na krku, a tak na své plné využití stále čekal. Intenzivnímu a systematickému zavedení ultrazvuku do denní praxe otorinolaryngologie se věnoval prof. MUDr. Jaromír Astl, CSc., na Klinice otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku 1. LF UK a FN Motol od roku 1993. Ve výzkumu spolupracoval s endokrinologem as. MUDr. Zdeňkem Novákem, CSc. Výsledkem jejich snažení bylo zavedení klinického využívání ultrasonografie v oboru ORL na klinice prof. Betky, jenž tomuto programu dal prostor a plnou podporu. Tímto se stal Jaromír Astl (tehdy však ještě jako začínající asistent) jedním z prvních absolventů kurzů IPVZ a následně DEGUM (Kiel, Erlangen) v České republice. Na pracovišti Kliniky otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku 1. LF UK a Katedry otorinolaryngologie IPVZ pak prof. Astl uspořádal historicky první kurzy sonografie v otorinolaryngologii v ČR a na pracovišti se vytvořila skupina lékařů, kteří se zabývali ultrazvukem v oboru systematicky. Využitím sialolitotripse za zabývá pracoviště Ústřední vojenské nemocnice, kde se jí ujal MUDr. Marek Plánička a as. MUDr. Jan Rotnágl, který se komplexnímu využití ultrazvuku v sialologii zabývá systematicky.

Společnou prací mnoha dalších kolegů vzniká ultrazvuková skupina při sekci endokrinochirurgie České společnosti otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku ČLS JEP. Tím se zařadil obor otorinolaryngologie a chirurgie hlavy a krku k moderním medicínským oborům obdobně jako ve světě po bok endokrinologů, gynekologů, porodníků, chirurgů, internistů, gastroenterologů, nefrologů, urologů, angiologů, fyzioterapeutů, anesteziologů, kardiologů, maxilofaciálních chirurgů a dalších medicínských oborů, jež vedle radiodiagnostiků využívají denně ultrazvuk ve svých oborech v diagnostice i léčbě. Dnes se proto setkáváme v oboru s řadou lékařů, kteří se úspěšně zabývají ultrazvukovou diagnostikou a kteří se ve stejném období a společně snaží zavádět tyto metody do praxe nejen v ČR a mezi nimiž je mnoho výrazných osobností, jako např. MUDr. Martin Eber, MUDr. Pavel Štrympl, as. MUDr. Petr Laštůvka, MUDr. Jan Kastner, Ph.D., as. MUDr. Michal Zábrodský, Ph.D., as. MUDr. Jan Rotnágl, as. MUDr. Jaroslav Betka, Ph.D., a další kolegyně a kolegové, jejichž výčet přesahuje možnosti publikace. Ultrazvukové vyšetřovací metody jsou obohacovány i o další využití ultrazvuku v otorinolaryngologii v podobě rinometrie, systému CUSA, litotripse či jako tzv. harmonický skalpel.

S O U H R N

- Historie ultrazvuku v medicíně je spojena s dvěma zásadními objevy ve fyzice. Jedná se o objev piezoelektrického jevu bratrů Curieových. Druhým objevem je počítačové zpracování akustických signálů do dvou-rozměrného obrazu a zobrazení pomocí škály šedi při rozdělení dle intenzity odražené energie.
- Původně se ultrazvuk využíval především v armádě jako tzv. sonar k detekci podvodních a hladinových

- plavidel. V té době zaznamenal ultrazvuk také uplatnění v metalurgii při v tzv. defektologii.
- V lékařství se začíná využívat po válce a bouřlivého rozvoje se metodě dostává v zobrazovací technice od 70. let 20. století.
- Ultrazvuk je dnes plnohodnotnou subjektivní zobrazovací metodou v lékařství.

2 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ PRINCIPY ULTRAZVUKU

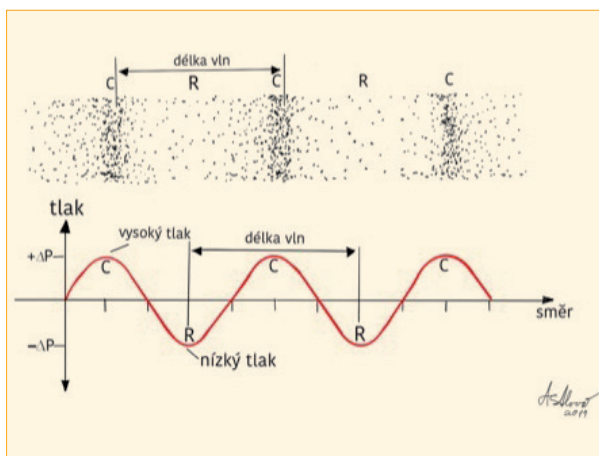
Jaromír Astl, Richard Holý, Jan Rotnágľ

2.1 ZÁKLADNÍ FYZIKÁLNÍ PRINCIPY ULTRAZVUKU

2.1.1 Definice ultrazvuku

Ultrazvuk (UZ) je akustické vlnění. Fyzikálně jde o mechanicko-elastické vlnění částic, které někteří autoři popisují jako harmonické vlnění, které se šíří tuhým, kapalným nebo plyným prostředím (obr. 2.1). Od zvuku odlišujeme ultrazvuk podle frekvence vlnění. Ultrazvuk je takové vlnění, jehož frekvence leží nad hranicí slyšitelnosti lidského ucha, tedy nad 20 kHz. Z uvedeného důvodu, přestože má stejnou fyzikální podstatu jako zvuk, je pro lidské ucho neslyšitelný. Ultrazvuk ale vnímá řada živočichů, například delfíni, netopýři, psi, ale také potkani.

Ultrazvuk je mechanicko-elastické akustické vlnění s frekvencí nad 20 kHz.



Obr. 2.1 Grafický záznam mechanicko-elastického vlnění a popis základních charakteristik vlnové délky, akustického tlaku, komprese a rarefakce

2.1.2 Fyzikální vlastnosti ultrazvuku

Vlnová délka ultrazvuku je menší než vlnová délka zvukového vlnění, proto je ultrazvuk méně ovlivněn ohybem. Výrazný je jeho odraz od překážek a je méně pohlcován kapalinami a pevnými látkami.

Pro biologické měkké tkáně je typické vlnění podélné. Pouze v kostní tkáni dochází těž k šíření příčným vlněním. Šíření ultrazvuku není spojeno s pohybem částice či částic prostředím. Ozvučené částice se rozechvějí (vibrují) směrem vpřed a zpět od zdroje, resp. od zdroje ultrazvuku.

Energie se mezi částicemi předává jako mechanická energie velice rychle po sobě následujících rázů energie, kde můžeme situaci graficky naznačit jako zředěním anebo zhuštěním částic v závislosti na fázi vlny. Pro vlnovou délku platí vztah:

$$\lambda = c / f$$

kde vlnová délka λ je udávána v metrech, c je rychlost šíření v metrech za sekundu, f je frekvence kmitů za sekundu, jednotkou SI je hertz (Hz).

Historická poznámka

Hertz je jednotkou frekvence (kmitočtu) v soustavě SI. Jde o odvozenou jednotku, která vyjadřuje, kolik cyklických (pravidelně se

■ **Tabulka 2.1** Přehled rychlosti šíření ultrazvuku vybranými typy tkání při referenční teplotě 37 °C

| Typ tkáně | Rychlost šíření (v m/s) |
|--------------|-------------------------|
| vzduch | 330 |
| tuková tkáň | 1450 |
| voda | 1540 |
| mozek | 1541 |
| krev | 1570 |
| svalová tkáň | 1585 |
| kůže | 1920 |
| kost | 2700–4080 |

opakujících) dějí se odehraje za jednu sekundu; vyjádření v základních jednotkách je tedy s^{-1} . Jednotka je pojmenována podle fyzika Heinricha Hertze, badatele v oblasti elektromagnetických vln.

Vlnová délka ultrazvuku závisí na jeho frekvenci nepřímo úměrně, tedy čím je frekvence vyšší, tím je vlnová délka kratší.

Rychlost šíření ultrazvuku závisí na fyzikálních vlastnostech prostředí, nízká je v plynech, vyšší v kapalinách a nejvyšší v tuhých látkách (tab. 2.1).

2.2 ZDROJE ULTRAZVUKU PRO LÉKAŘSKÉ ÚČELY

Obecně jsou zdrojem ultrazvuku látky, které mají tzv. piezoelektrické vlastnosti.

Piezoelektrický jev je schopnost krystalu generovat elektrické napětí při jeho deformaci a opačně se krystal v elektrickém napětí zdeformuje. Může se vyskytovat pouze u krystalů (krystalických mřížek), které nemají střed symetrie. Nejznámější piezoelektrickou látkou je monokrystalický křemen, resp. křišťál. Poprvé byl dle literárních údajů piezoelektrický jev pozorován u Seignettovy soli (tetrahydrát vínanu draselno-sodného) bratry Pierrem a Jacquesem Curieovými.

Poznámka k piezoelektrickému jevu

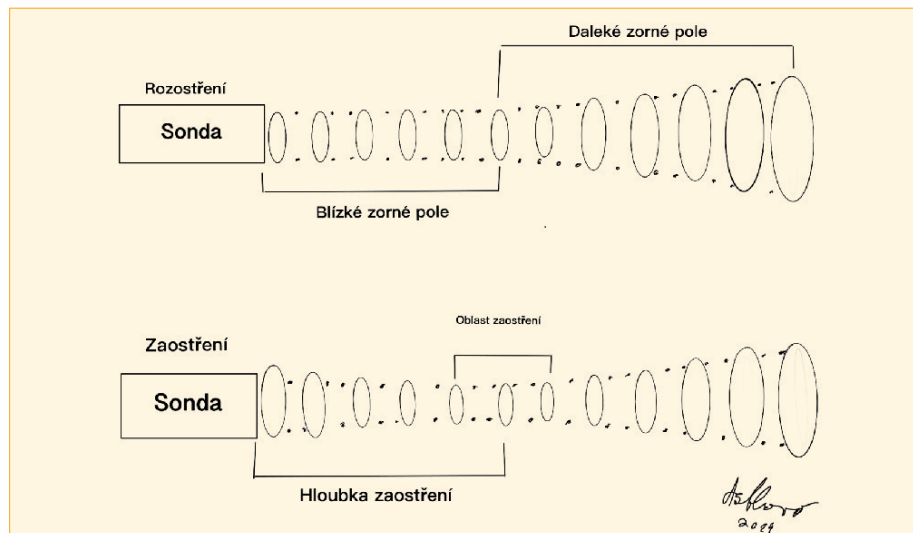
Fyzikálně s deformací krystalické mřížky působením vnější síly souvisí i změna měrného elektrického odporu. Je v označován jako piezorezistivní jev. Pro praxi je důležitá skutečnost, že při vysokých teplotách dochází u jakéhokoli materiálu ke ztrátě piezoelektrických vlastností, protože je narušeno uspořádání iontů. Ke změně dochází skokově, podobně jako ke změně skupenství. Přechodová teplota je charakteristická pro daný materiál a nazývá se Curieova teplota.

Ultrazvuková sonda obsahuje piezoelektrické krystaly, které slouží jako ultrazvukové měniče mechanické a elektrické energie. V současné době se používají namísto přirozených piezoelektrických krystalů syntetické, většinou keramické materiály s piezoelektrickými vlastnostmi, kterými jsou například zirkontitanát olova, tzv. PZT ($PbZr_xTi_{(1-x)}O_3$), baryumtitanát ($BaTiO_3$), niobát olova ($PbNbO_3$), lithium niobát ($LiNbO_3$), lithium tantalát ($LiTaO_3$), metaniobát olova ($PbNb_2O_6$), polyvinylidenfluorid (PVDF) či tzv. keramické kompozity – composite 1–3, např. nadějný bismuth ferrite ($BiFeO_3$), niobát sodný ($NaNbO_3$), titanát bismutu ($Bi_4Ti_3O_{12}$) a další kompozitní krystaly ($Na_{0.5}Bi_{0.5}TiO_3$).

Současné ultrazvukové přístroje sloužící k zobrazování využívají impulzní odrazové metody, kde se střídá režim vysílání a přijímání ultrazvuku. Vyslaný impuls zvuku sondou je velice krátký zvuk (méně než 1 μs). Impuls je „vysílán“ v milisekundových intervalech (tzv. opakovací frekvence – RF – repeat frequency). Údaje znamenají, že sonda 99% času ultrazvuk přijímá a jen 1% času vysílá.

2.3 ULTRAZVUKOVÉ POLE, FOKUSACE, ROZLIŠOVACÍ SCHOPNOST

Diskriminace neboli rozlišovací schopnost ultrazvuku je zásadní pro hodnocení zobrazovaných tkání. Ultrazvuk se šíří především kolmo k povrchu krystalu (hovoříme o centrálním „paprsku“), ale zvuk se šíří i do stran (postranní snopce). Podle rozložení intenzity (energie zvuku) lze znázornit tvar ultrazvukového pole (obr. 2.2).



Obr. 2.2 Tvar ultrazvukového pole. Blízké zorné pole je Fresnelova oblast, kde šířka akustického snopce je rovna šířce sondy. Daleké zorné pole je Fraunhoferova oblast, což je oblast výrazné divergence vlnění. Oblast optimálního zaostření je označována jako fokusace s ohniskem

- a) Fresnelova oblast – šířka snopce je rovna šířce sondy
 b) Fraunhoferova oblast – oblast výrazné divergence vlnění

- c) fokusace s ohniskem – oblast optimálního zobrazení
 Poloha ohniska je určena vztahem: $d = a^2 \cdot (4\lambda)^{-1}$

kde d je vzdálenost ohniska od povrchu sondy, a je průměr krystalu a λ je vlnová délka.

U lineárních sond na rozdíl od sektorových je využíván princip tzv. dynamické fokusace, jíž lze dosáhnout elektronicky bez tvarování krystalů či vkládání tzv. akustických čoček. Princip je založen na současném vybuzení ultrazvuku sousedních krystalů s fázovým posuvem, a tím umožňují lineární sondy dosahovat fokusaci v rozdílných hloubkách a zvyšují výrazně přesnost zobrazení.

2.4 ROZLIŠOVACÍ SCHOPNOST SONOGRAFICKÝCH PŘÍSTROJŮ

Rozlišovací schopnost sonografických přístrojů je minimální vzdálenost dvou sousedních bodů, které je ještě možno zobrazit jako samostatné objekty. Rozlišujeme *laterální rozlišovací schopnost*, která je dána poklesem intenzity o 6 dB a více v rovině kolmé na dlouhou osu paprsku. Podobně *axiální rozlišovací schopnost* odliší body za sebou ležící vzhledem k ose sondy, která je 2–5krát lepší než laterální v dlouhé ose sondy.

Vedle uvedených parametrů však ještě využíváme k rozlišení tzv. *časovou rozlišovací schopnost*, která je dána počtem registrovaných odrazů v čase a je přímo úměrná opakovací frekvenci (většinou vytváří přístroje 30 obrázků za sekundu), takže pak pohyb sondy vypadá velice plynule a není „škubavý“.

Dalším faktorem, který má vliv na rozlišovací schopnost, je využívání škály šedi (gray scale). *Škála šedi* umožňuje lidskému oku diferencovat mezi dvěma body na obrazovce, kde od dřívějších 32 odstínů přešla k současné možnosti na 156 a 256 odstínů šedé barvy na obrazovce monitoru či tištěném obrázku (tisk je vždy se ztrátou kvality).

2.5 INTERAKCE ULTRAZVUKU A TKÁNÍ

Akustická impedance

Ultrazvuk se šíří tkáněmi formou podélného vlnění v závislosti na elasticitě, jež je preformována soudržností částic tkáně. Rozdíly v rychlosti šíření vlnění v různých tkáních nejsou veliké, pohybují se okolo 1540 m/s, kde zásadním rozdílem je extrémně rychlé šíření v kostech 2700

až 4080 m/s a extrémně pomalé šíření v plynech (vzduch 330 m/s). Prostředí – tkáně kladou šíření vlnění určitý odpor, který je vyjádřen tzv. *akustickou impedancí* (Z):

$$Z = p \cdot v$$

kde p je specifická hmotnost prostředí kg/m^3 , a v je rychlost šíření v m/s.

Absorpce

Pokud se zvuk šíří prostředím s konstantní impedancí, dochází k jeho postupnému pohlcení – absorpci, kdy je přeměněna energie vlnění v teplo a mechanickou práci (pohyb částic). Dochází k „oslabení ultrazvuku“ v hloubce tkáně a zhoršení zobrazení.

Reflexe

Protože tkáně ve skutečnosti nejsou homogenním prostředím, ale jsou souhrnem různých struktur s odlišnou akustickou impedancí, jsou zde přítomna rozhraní, na kterých se část ultrazvuku odráží zpět (R – *reflexe ultrazvuku*), zbývající část energie P je úhlově odkloněna (zákon lomu) a pokračuje v druhé tkáni.

$$R = \frac{(Z_2 \cos a - Z_1 \cos b)^2}{(Z_2 \cos a + Z_1 \cos b)^2}$$

Z_1 – akustická impedance prvního prostředí, Z_2 – akustická impedance druhého prostředí, a – úhel dopadu, b – úhel lomu

Při kolmém dopadu je největší energie zpětného odrazu i energie, jež proniká do dalšího prostředí. Skutečnost považujeme za základní pro správné polohování sondy v průběhu vyšetření a zobrazované struktury (změna polohy sondy „shake“ – výkyvy ve stejné poloze může pomoci zobrazit detaily zobrazovaného orgánu či léze).

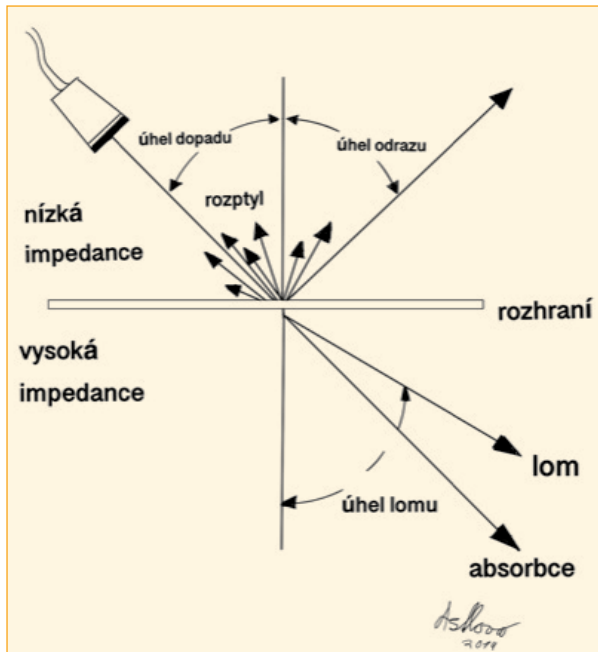
Refrakce – lom

Pro zvuk platí *Snellův zákon* obdobně jako pro světlo (obr. 2.3).

$$\frac{\sin a}{\sin b} = \frac{c_1}{c_2} = \frac{n_2}{n_1}$$

a – úhel dopadu, b – úhel lomu, c – rychlost vedení zvuku v prostředí 1 a 2, n – index lomu v prostředí 1 a 2

Při průchodu z prostředí s menší rychlostí do prostředí s větší rychlostí šíření nastává od určitého úhlu dopadu *úplný odraz*. Poté ultrazvukové vlnění neprostupuje do druhého prostředí a v hloubce (za ním uložené) struktury se nemusí zobrazit (úpony svalů na os hyoideum vytváří stíny apod.). Stejně tak lze vysvětlit stíny na okrajích cyst, na příčném zobrazení karotidy apod.



Obr. 2.3 Schnellův zákon – grafické znázornění

Uvedený fyzikální princip může také způsobit zobrazení bodu jako linie. Jde o zobrazení „složeného obrazu“ (compound scan) patřícího do skupiny B-mode, kde je vyšetřováno určité místo z více směrů (kývavý pohyb sondou – shaking).

Disperze – rozptyl (scattering)

Jev se vyskytuje především na nerovných plochách, kde dochází k odrazu všemi směry. Jev je význačný velkou ztrátou energie na hranicích infiltrativních procesů (tumorů, difuzních zánětů, flegmon apod.). Rozptyl (disperze) je závislý na molekulárním složení prostředí, ve kterém se zvuk šíří.

ZÁKLADNÍ PARAMETRY OVLIVŇUJÍCÍ ULTRAZVUKOVÉ ZOBRAZENÍ

Zvuk se šíří tkáněmi a dochází k jeho modifikaci, kterou vyjadřují vlastnosti tkání při interakci se zvukem:

- impedance
- absorpce
- reflexe
- refrakce
- disperze

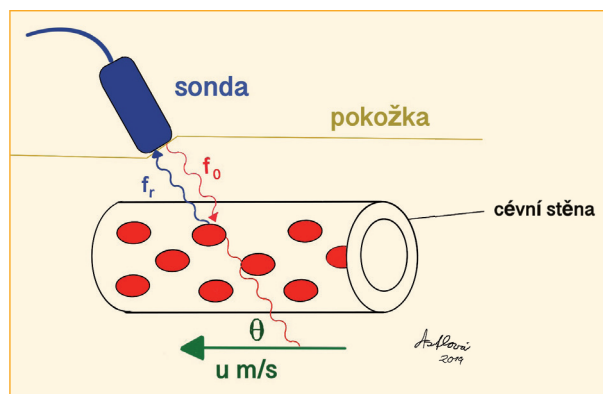
2.6 DOPPLERŮV JEV

Dopplerův jev popisuje v akustice situaci, kdy se zdroj akustického vlnění o stálém kmitočtu pohybuje relativně vůči pozorovateli. Přibližuje-li se zdroj zvukového vlnění, vnímá pozorovatel vyšší kmitočet, vzdaluje-li se zdroj, vnímá kmitočet nižší. Ke stejnému jevu dochází i v případě, že zdroj vlnění svoji polohu nemění a pohybuje se reflektor, na němž se akustické vlnění odráží. A právě daného principu využívají všechny dopplerovské detektory pohybu a také měřiče rychlosti proudící krve (obr. 2.4).

Základními odrazovými strukturami v proudící krvi jsou erythrocyty. Protože velikost erythrocytů je podstatně menší než vlnová délka ultrazvukových vln, působí erythrocyty jako bodové zdroje rozptylu, a pak vznikají šířící se kruhové vlnoplochy. Tyto vlnoplochy mezi sebou interferují a dochází k jejich časové i prostorové sumaci. Pro vznik dopplerovského signálu je rozhodující ta část energie ultrazvukové vlny, která se odráží zpět ke zdroji. Přitom platí, že amplituda odražené vlny je úměrná druhé mocnině celkového počtu elementárních reflektorů (erythrocytů). Frekvence odražené vlny se však v důsledku pohybu reflektorů liší od frekvence vyslané sondou. Rozdíl fd mezi frekvencí vyslané ultrazvukové vlny f_v a přijaté vlny f_p po odrazu od pohybující se krve (dopplerovský posuv) je úměrný její rychlosti a kosinu úhlu, který svírá směr dopplerovského signálu se směrem toku krve (dopplerovský úhel). Matematicky jej vyjadřuje vztah nazývaný též rovnice Dopplerova posuvu.

Jestliže pohyblivý zdroj vysílá signál s frekvencí f_0 , pak jej stojící pozorovatel přijímá s frekvencí f :

$$f = f_0 \frac{v}{v - v_{s,r}}$$



Obr. 2.4 Znázornění principu dopplerovského zobrazení

kde v je rychlost vln v dané látce (tkáni) a $v_{s,r}$ relativní radiální rychlost zdroje vůči pozorovateli (kladná rychlost znamená přibližování, záporná vzdalování). Pro stacionární zdroj a pohyblivý přijímač je situace obdobná.

$$f = f_0 \left(1 + \frac{v_0}{v} \right)$$

kde v_0 je rychlost přijímače a pro přibližující se přijímač je kladná, pro vzdalující se je pak záporná.

Díky digitalizaci je možné přiřadit různým hodnotám rozdílný odstín ve škále barev, a tak odlišit průtoky směrem k sondě a od sondy.

Dopplerovské zobrazení umožňuje znázornění a vizualizaci krevního toku (v cévách i prokrvení tkání).

V lékařství se ještě využívá akustické formy dopplerovského snímání, která může nahradit v některých případech auskultaci (angiologie, gynekologie a porodnictví).

2.7 ULTRASONOGRAFICKÁ STRUKTURA TKÁNÍ

Základem pro ultrasonografickou strukturu tkání jsou dvě zobrazované složky:

- tkáňové komponenty (vazivová septa u svalů, cévní struktury, pouzdra)
- komplexní „zrnitý vzor“ jako výsledek koherentních rozptylů (speckle-muster, salt and pepper). Granulární charakter tkáně neodpovídá jednotlivým strukturám tkáně, ale je velmi ovlivněn všemi parametry ultrazvukového přístroje. Jeho „textura“ je velmi ovlivnitelná nastavením přístroje (time gain compensation – TGC, gain, fokusace, deep gain)

Struktura tkání (někdy také textura tkání) je popis vnitřního uspořádání funkčně definovaných oblastí tkáně. S ohledem na zastoupení buněk svalových a vazivové či pojivové tkáně lze diferencovat jednotlivé svalové skupiny a změna zastoupení buněk a tekutiny např. při zánětu změni strukturu, resp. texturu takové tkáně. Struktura tkáně nám umožňuje odlišit jednotlivé orgány a tvoří podklad pro zobrazení a sonografickou anatomií vyšetřované oblasti. Orgány mají svou vnitřní sonografickou strukturu typickou v závislosti na anatomii a změny textury mohou být pro některá onemocnění (zánět, nádor) velmi typické a diagnostické.

2.8 ECHOGENITA

Echogenita je schopnost tkání a orgánů vytvářet při sonografickém vyšetření znatelný obraz. Echogenita tkání je podmíněna několika faktory. Tkáň musí být vůbec schopna přenášet ultrazvukové vlnění, proto například kost nebo vzduchem naplněné plíce nebudou vytvářet žádný obraz, budou anechogenní. Další podmínkou je, aby prostředí nebylo ideálně homogenní. V dané tkáni se musí vyskytovat nehomogenity, na kterých se bude část ultrazvukového vlnění odrážet zpět k sondě a bude detekována a zobrazena jako signál z dané oblasti, tedy například cysta naplněná bezstrukturní tekutinou se bude také jevit jako černá.

Echogenita se obvykle hodnotí subjektivně jako vnímaný jas oblasti na monitoru. Podle toho, jak se daná oblast jeví ve srovnání s vnímaným jasným okolím, se hovoří o několika stupních echogenity:

- *anechogenní* – oblast je na obraze zcela černá, není patrna žádná struktura
- *hypoechogenní* – oblast se jeví tmavší než její okolí
- *izoechogenní* – oblast se jeví přibližně stejně jasná jako její okolí
- *hyperechogenní* – oblast se jeví jasnější než její okolí

Přestože jde o víceméně subjektivní hodnocení, je poměrně dobře reprodukovatelné, protože echogenita tkání je obvykle stálá.

Právě relativní stálost echogenity zdravých tkání i některých patologicky pozměněných tkání vede k četným pokusům o využití kvantifikace echogenity jako diagnostické pomůcky nebo dokonce jako vstupu pro počítačovou podporu diagnostiky. K vlastní kvantifikaci echogenity se používá řada ukazatelů:

- statistické vlastnosti stupňů šedi jako velkého souboru dat (průměr, rozptyl, koeficient šikmosti) a analýza histogramu stupňů šedi
- analýza texturních charakteristik, nejčastěji pak analýza založená na koincidenční matici stupňů šedi (GLCM)
- odhad fraktální dimenze oblasti

Odráživost tkání

V některých případech se pokoušíme porovnat obrazy dvou tkání. U sonografie není definována kvantitativní metoda diferenciacie této odráživosti na rozdíl od možného číselného vyjádření denzity tkáně u CT či MRI vyšetření. Musíme konstatovat, že i při konstantním nastavení akustických parametrů zobrazení je *odráživost* jednotlivých tkání u různých jedinců různá. Určitou možnost

srovnání poskytují histogramy odrazivosti zvolené oblasti vyšetření. Jedná se o grafické znázornění rozložení intenzit odrazů v průřezu zvolené plochy.

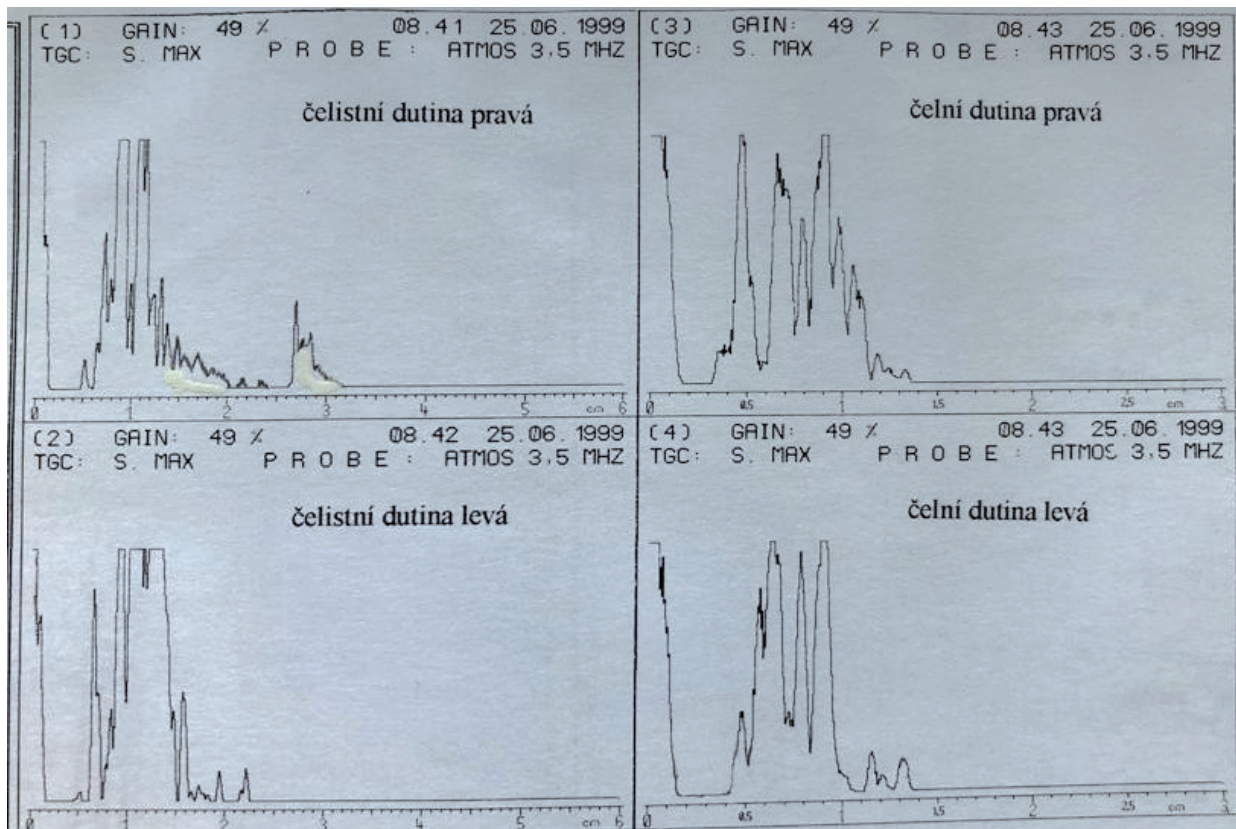
Analýza obrazu tzv. histogramu je možná pouze na „zmrazeném“ obraze a dovoluje objektivněji porovnat odrazivost několika zvolených oblastí daného akustického řezu vyšetřovanou tkání. Zatím se zdá, že diagnostický přínos lze očekávat při srovnání histogramů různých oblastí téhož ultrazvukového obrazu. Při srovnání histogramů stejných oblastí různých osob (při standardním a shodném nastavení parametrů na téže přístroji) je obraz odlišný a je třeba počítat s individuálními rozdíly odrazivosti.

2.9 DRUHY ULTRAZVUKOVÉHO ZOBRAZENÍ

- *A-mode (amplitude modulated)* je zobrazení, kde jsou na výstupu zobrazeny pouze výchylky od osy x na rozhraní, kde výchylky jsou přímo úměrné vracející se energii (obr. 2.5). Způsob zobrazení byl vy-

užíván především v ultrasonografii vedlejších nosních dutin, v současnosti je nahrazován jinými typy zobrazení.

- *B-mode (brightness modulated)* je dnes patrně nejrozšířenějším způsobem zobrazování dvojrozměrného obrazu z ultrazvukového vyšetření, zejména pak při duplexním zobrazení, kde je kombinace B-mode a dopplerovského vyšetření promítnuta do jednoho obrazu (obr. 2.6). V dnešní době jsou přístroje vybaveny tzv. real time technologiemi zpracování signálu, a tak je obraz plynulý bez „trhání“. Mluvíme proto o dynamickém B-mode.
- *M-mode (původně TM z anglického time motion)* je zobrazení pohybu struktury v jedné ose kolmé k povrchu sondy (osa y) v čase (osa x). Zobrazení se využívá při zobrazení pohybující se struktury (např. srdeční stěny, cípu srdeční chlopně) A – obrazem, kde se na obrazovce objeví tzv. plovoucí echo, z něhož je možno rozeznat jen hranice pohybu. Nahrazením výchylek časové základny svítícími body je možno zaznamenat časový průběh jejich vzájemného pohybu (obr. 2.7).



Obr. 2.5 A-mode (amplitudový mód) sonografie (z archivu prof. J. Astla)