

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Anežka Machková

Neinvazivní ultrazvukové metody užívané pro diagnostiku myokardu

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Jaromír Vachutka, PhD.

Olomouc 2020

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 10. června 2020

podpis

Ráda bych poděkovala Mgr. Jaromíru Vachutkovi, Ph.D. za velkou trpělivost, vstřícnost a veškerý čas, který mi během zpracování mé bakalářské práce věnoval.

ANOTACE

Typ závěrečné práce:	Bakalářská práce
Téma práce:	Zobrazovací metody v kardiologii
Název práce:	Neinvazivní ultrazvukové metody užívané pro diagnostiku myokardu
Název práce v AJ:	Non-invasive ultrasound methods used for non-invasive diagnosis of the myocardium
Datum zadání:	2019-11-22
Datum odevzdání:	2020-06-15
Vysoká škola, fakulta, ústav:	Univerzita Palackého v Olomouci Fakulta zdravotnických věd Ústav radiologických metod
Autor práce:	Machková Anežka
Vedoucí práce:	Mgr. Jaromír Vachutka, PhD.
Oponent práce:	MUDr. Zuzana Sedláčková, Ph.D.
Abstrakt v ČJ:	Tato přehledová bakalářská práce obsahuje základní informace o ultrasonografických metodách v oblasti neinvazivní diagnostiky myokardu získané za pomoci odborných publikací. Cílem této práce bylo popsat dostupné poznatky o historii využití těchto metod, jejich vývoji a využití v dnešní době.
Abstrakt v AJ:	This summaring bachelor thesis contains basic information about ultrasonographic methods in the field of non-invasive diagnostics of the myocardium obtained with the help of professional publications. The goal of this review was to describe the available knowledge about the history of the these methods, their development and use nowadays.
Klíčová slova v ČJ:	Ultrazvuk, historie ultrazvuku, echokardiografie, Doppler, neinvazivní zobrazování, ultrazvuková diagnostika
Klíčová slova v AJ:	Ultrasound, history of the ultrasound, echocardiography, Doppler, non-invasive imaging, ultrasound diagnostics
Rozsah práce:	34 stran / 0 příloh

Obsah

ÚVOD	6
1. HISTORIE ULTRAZVUKOVÉHO ZOBRAZOVÁNÍ	10
Úvod do historie využití zobrazovacích metod v kardiologii	10
Historie ultrazvukových zobrazovacích metod myokardu.....	11
2. PRINCIP TVORBY ULTRAZVUKOVÉHO OBRAZU	13
Fyzikální princip ultrazvukových vyšetření.....	13
Přístrojové vybavení ultrazvukových zařízení	13
Softwarové vybavení ultrazvukových zařízení	14
3. NEVÝHODY A MOŽNÁ RIZIKA SPOJENÁ S ULTRAZVUKOVÝM VYŠETŘENÍM	15
Možná rizika ultrazvukových vyšetření	15
Obecné nevýhody echokardiografických vyšetření	16
4. NEINVAZIVNÍ ULTRAZVUKOVÉ METODY UŽÍVANÉ PRO DIAGNOSTIKU MYOKARDU	17
Formáty zobrazení v echokardiografii a z nich odvozené vyšetřovací techniky	17
Projekce echokardiografických vyšetření	20
Speciální echokardiografické vyšetřovací postupy	22
ZÁVĚR	30
REFERENČNÍ SEZNAM	32
SEZNAM ZKRATEK	34

Úvod

Onemocnění srdce a kardiovaskulárního systému obecně patří mezi nejvýznamnější civilizační choroby ve všech ekonomicky rozvinutých státech. Jejich včasná diagnostika má ve vztahu k následně stanovené prognóze zásadní význam a ultrazvukové zobrazovací metody mají v tomto ohledu velmi důležitou roli.

Kardiologická radiologie prošla během uplynulých třiceti let velkým rozvojem v oblasti léčby i diagnostiky. Společně se stále modernějšími a komplikovanějšími přístroji a metodami využívanými k terapii i diagnostice se zvyšují nároky na znalosti a dovednosti nejen samotných lékařů, ale i na ostatní zdravotnický personál, který se na péči o kardiologického pacienta podílí. Radiologičtí asistenti musí nejen znát základy moderních metod diagnostiky a terapie kardiovaskulárních onemocnění, ale musí se i skvěle orientovat v obsluze přístrojů, které jsou k těmto účelům v rámci radiologie využívány.

Zejména kvůli rychlým pohybům srdce je jeho zobrazování ne zrovna jednoduchou disciplínou a klade poměrně vysoké nároky na technické vybavení. U většiny v dnešní době využívaných zobrazovacích technik se pořizují obrazy buď synchronizovaně se záznamem EKG křivky, přičemž je zapotřebí provést rekonstrukci za pomoci nejrůznějších výpočetních systémů, nebo v reálném čase.

Tato práce si klade za cíl shrnout dostupné poznatky z oblasti neinvazivních ultrazvukových zobrazovacích metod z oblasti diagnostiky myokardu, které jsou v oboru kardiologie nejvyužívanějším segmentem obrazotvorných vyšetření, a to především kvůli několika medicínsky významným faktům. Jde o metody, které jsou jednoduše proveditelné, všestranně využitelné, lze je kdykoliv opakovat a nejsou tak náročné na přípravu, ať už pacienta nebo pracoviště, jako metody invazivní. Stejně tak se jedná o metody, které neohrožují pacienta stochastickými ani deterministickými účinky skrze působení škodlivého ionizujícího záření a v porovnání s invazivními metodami nepředstavují pro pacienta takové riziko zásahem do jeho těla. Jsou tedy doprovázeny menším množstvím možných komplikací.

Důvodem pro napsání této bakalářské práce byl nedostatek aktuálních, komplexně zpracovaných přehledových materiálů o neinvazivních ultrazvukových zobrazovacích metodách myokardu.

Ačkoliv při stanovení diagnózy a kontrole celkové kondice srdce je zapotřebí brát v potaz i stav přilehlých anatomických struktur, je tato práce, zejména skrze doporučený rozsah, zaměřena především na neinvazivní zobrazovací metody srdečního svaly, tedy myokardu. Ze stejného důvodu

také není možné se detailně zabývat všemi od vzniku echokardiografie vyvinutými technikami ultrazvukového zobrazení srdce, proto budou detailněji rozebrány hlavně stěžejní modalitty.

Na základě dohledaných informací byly pro tvorbu bakalářské práce stanoveny následující otázky:

1. Jaký byl historický a technický vývoj neinvazivních ultrazvukových zobrazovacích metod užívaných pro diagnostiku v oblasti kardiologie?
2. Jaká je současná podoba neinvazivních ultrazvukových zobrazovacích metod užívaných pro diagnostiku onemocnění myokardu a hodnocení jeho kondice?
3. Jaké jsou výhody a nevýhody zkoumaných zobrazovacích metod?

Na základě položených otázek byly stanoveny následující cíle práce:

1. Předložit shrnutí dohledaných poznatků o historickém a technickém vývoji neinvazivních ultrazvukových zobrazovacích metod užívaných pro diagnostiku v oblasti kardiologie.
2. Zmapovat, jakou podobu mají v dnešní době neinvazivní ultrazvukové zobrazovací metody užívané pro diagnostiku onemocnění myokardu a hodnocení jeho kondice.
3. Na závěr shrnout výhody a nevýhody zkoumaných zobrazovacích metod.

Za účelem tvorby bakalářské práce a splnění jejích cílů byla vyhledána následující vstupní literatura:

1. VOMÁČKA, Jaroslav. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. Druhé, doplněné vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. ISBN 978-80-244-4508-3.
2. HEŘMAN, Miroslav. *Základy radiologie*. V Olomouci: Univerzita Palackého, 2014. ISBN 978-80-244-2901-4.
3. BULAVA, Alan. *Kardiologie pro nelékařské zdravotnické obory*. Praha: Grada Publishing, 2017. ISBN 978-80-271-0468-0.
4. HRAZDIRA, Ivo. *Biofyzikální základy ultrasonografie: jak pracovat s ultrazvukovým diagnostickým přístrojem : praktická příručka s teoretickým úvodem pro stáž připravenou v rámci projektu: "Prohloubení odborné spolupráce a propojení ústavů lékařské biofyziky na lékařských fakultách v České republice"*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2011. ISBN 978-80-244-2895-6.

5. SEDLÁŘ, Martin, Erik STAFFA a Vojtěch MORNSTEIN. *Zobrazovací metody využívající neionizující záření* [online]. Brno: MuniPress, 2014 [cit. 2020-06-10]. ISBN 978-80-210-7156-8. Dostupné z:
https://www.med.muni.cz/biofyz/zobrazovacimetody/files/zobrazovaci_metody.pdf

Bakalářská práce je členěna do čtyř hlavních kapitol. V první kapitole jsou stručně popsány zásadní historické milníky mající roli ve vývoji neinvazivních ultrazvukových metod pro diagnostiku myokardu. V kapitole druhé je popsán obecný fyzikální princip, na němž pracují všechny ultrasonografické metody a přístrojové vybavení všech standardních ultrasonografických zařízení včetně softwarové výbavy. Následující část se zabývá možnými nevýhodami a riziky spojenými s ultrazvukovým vyšetřením. Poslední kapitola je věnována aktuálnímu přehledu základního spektra echokardiografických metod, principu jejich fungování a možnostem využití.

Rešeršní činnost probíhala pomocí vstupní literatury a následně pomocí článků vyhledaných v následujících internetových databázích: Československá bibliografická databáze – Medvik, Scopus, EBSCO, Pubmed.

Na následující straně je uvedeno schéma rešeršní činnosti.

Schéma rešeršní činnosti



Vyhledávací kritéria

Klíčová slova v ČJ: Echokardiografie, ultrazvuk, Doppler, diagnostické zobrazování, historie, myokard

Klíčová slova v AJ: Echocardiography, ultrasound, Doppler, diagnostic imaging, history, myocardium

Jazyk: čeština, angličtina

Období: 2000 - 2020

Další kritéria: recenzované publikace



Databáze

Knihovna UP, Medvik, PubMed, EBSCO, Scopus



Kombinací klíčových slov bylo nalezeno 55 článků



Vyřazovací kritéria

Články nesplňující stanovená kritéria, kvalifikační práce



Použité publikace

12 vyhledaných článků

13 knižních publikací

1 elektronická knižní publikace

1. Historie ultrazvukového zobrazování

Úvod do historie využití zobrazovacích metod v kardiologii

Role zobrazovacích metod v diagnostice a léčbě onemocnění myokardu se pozvolna vyvíjela již od konce 19. století. Důležitým historickým momentem pro celé odvětví zobrazovacích metod se stal epochální objev rentgenových paprsků Wilhelmem Konrádem Rentgenem a již necelého půl roku po tomto vědeckém průlomů na poli medicínského zobrazování byl již fluoroskopicky vyšetřen první kardiologický pacient, který trpěl kardiomegálií. Název fluoroskopie vychází z fluoroskopické desky, na kterou byl zachytáván obraz. V počátcích se normální myokard od patologicky změněného rozlišoval především na základě jeho velikosti na zadopředních fluoroskopických a radiografických snímcích. Předpokládalo se, že za normálních okolností se velikost srdce nijak výrazně nevzdaluje od předpokládané tabulkové velikosti, která byla stanovena na základě věku, pohlaví, vzrůstu vyšetřovaného a dalších faktorů. (De Roos, 2014)

Dále se vývoj kardiologických zobrazovacích metod ubíral například přes rentgenovou kymografii, která poskytovala informaci o činnosti srdce ve frontální projekci, či přes koronární rentgenovou angiografii, až k dnes široce využívaným echokardiografickým metodám, technikám nukleární medicíny, kardiální počítačové tomografie a magnetické rezonance. Je překvapivé, že mnoho z těchto metod nebylo pro možnosti svého využití zaznamenáno již ve svých počátcích. Některé techniky do klinické praxe vstoupily až mnoho let od jejich popsání v literatuře a v současné době se stále rozvíjejí, přičemž je jejich klinické využití stále širší. Jako příklad můžeme uvést využití kontrastních látek během neinvazivního vyšetření myokardu. Avšak rozvoj zobrazovacích metod srdce vyžadoval nejen pokroky v oblasti zobrazovacích technologií, které se vyvíjejí dodnes, ale i v našem porozumění anatomie a fyziologie celého kardiovaskulárního systému. (De Roos, 2014)

Ačkoliv je zřejmé, že radiologii jako takovou již od objevu a následného využití rentgenových paprsků v praxi charakterizují především metody využívající k zobrazovacím i k terapeutickým účelům ionizující záření, vědecké a technické objevy posledních desetiletí významným způsobem rozšířily obor radiologie i do oblasti využití ultrazvukového vlnění a magnetického pole. Jednou ze základních výhod těchto metod, a tedy i častým důvodem k jejich indikacím je, že zatím stále nebyl dokázán žádný přímý nežádoucí účinek na lidský organismus a jsou tím pádem vhodné i pro využití u dětských pacientů a těhotných žen. To je jeden ze základních podnětů pro výzkum a rozvoj stále sofistikovanějších a přínosnějších zobrazovacích metod založených právě na fyzikálních vlastnostech magnetického pole a ultrazvukových vln. (Šanta, 2015; Špinar, 2007, s. 166)

Historie ultrazvukových zobrazovacích metod myokardu

Historie ultrazvuku sahá až na konec 18. století, kam je datován objev ultrazvukových vln italským biologem a fyziologem L. Spallanzanim. Během pozorování netopýrů zjistil, že jsou schopni se dobře orientovat a vyhýbat se překážkám i v naprosté tmě díky odrazům vysokofrekvenčního neslyšitelného zvuku. Později byl tento jev pojmenován jako echolokace. (Zemanová, 2016)

Historicky významným milníkem se stalo objevení piezoelektrického jevu Pierrem Curie roku 1880, což položilo základy pro první zkonstruování piezoelektrického měniče fyzikem P. Langevinem v roce 1916. Zmíněný piezoelektrický měnič je základním technickým zařízením v dnešní době využívaných ultrasonografických sond. (Maleki, 2012)

Ve třicátých letech 20. století se objevily jedny z prvních zmínek o možném využití ultrazvuku v medicíně. Jejich autoři se zabývali především působením ultrazvuku na lidský organismus. Princip ultrazvuku byl mimo jiné rozsáhle využíván i během druhé světové války, kdy se s jeho pomocí detekovaly nepřátelské ponorky. (Špinar, 2007, s. 166)

Důležitou pro praktické využití ultrazvukového vlnění se stala také práce američana F.A. Firestonea, který stál na počátku průmyslového využití zařízení zvaného ultrazvukový odrazový defektoskop. Ten na základě impulzních odrazů prokazoval nedestruktivní cestou vady průmyslových materiálů. Průmyslová defektoskopie položila základy pro vývoj zařízení prakticky využívajících ultrazvukové vlny v medicíně. Jedny z prvních takových přístrojů byly zavedeny do praxe v padesátých letech 20. století a používaly k zobrazení A mód, který je dodnes využíván například v oftalmologii. (Zemanová, 2016)

Následný vývoj ultrasonografie už byl poněkud rychlejšího rázu. První přístroje používající k zobrazení mód B byly vyrobeny již v padesátých letech 20. století. Ve stejném období byl vyvinut a zaveden do praxe i stěžejní režim zobrazení specializovaný pro vyšetření srdce - jednorozměrný mód M, původně zvaným TM (z anglického „Time motion“). Právě vývoj tohoto režimu zobrazení dal vzniknout celému segmentu ultrazvukových zobrazovacích metod vyvinutých výhradně pro potřeby kardiologie. Za jeho zrodem stáli Carl Helmut Hertz a Inge Edler, který díky tomu bývá někdy označován jako „otec echokardiografie“. Na počátku tuto metodu vyšetření pojmenoval jako „ultrazvukovou kardiografii“ (Ultrasound cardiology – UCG). První dokument popisující princip této techniky zobrazení byl publikován roku 1954 a v překladu nese název „Využití ultrazvukového reflektoskopu pro kontinuální pohyby srdeční stěny“. Edler v následujících letech pokračoval v rozvoji echokardiografie, a to jak po stránce rozšíření možností jejího využití, tak i zdokonalování postupu vyšetření samotného. V roce 1969 pak zveřejnil práci zaměřenou na kombinované užití Dopplerovského vyšetření a echokardiografie jako možnou cestu pro diagnostiku

aortální a mitrální regurgitace. K definitivnímu uznání echokardiografie jako skvělé zobrazovací techniky myokardu došlo po roce 1968, kdy v Indianapolis proběhl první vzdělávací kurz zaměřený na ultrazvuk srdce. (Maleki, 2012)

Separovaně, avšak souběžně s rozvojem metod založených na základě odrazového principu se vyvíjely i metody Dopplerovské poskytující informace o tlaku a průtoku krve. Pracují na principu jevu, který popsal roku 1842 Ch.A. Doppler. První klinicky využívané dopplerovské techniky se v praxi začaly objevovat začátkem 60. let minulého století a byly zaměřeny na detekci pohybu myokardu. V sedmdesátých letech pak došlo k výhodnému spojení obou metod, dopplerovské i klasické odrazové, a to konkrétně v práci týmu F.E. Barbera, která popisovala duplexní ultrasonografii. Od prvního kardiologicky významného módu M tedy vývoj ultrasonografických vyšetření srdce urazil dlouhou cestu až k dnešním sofistikovaným zobrazovacím postupům, které mají v diagnostice kardiologických pacientů svou naprosto nepostradatelnou roli. (Maleki, 2012)

V Československu byla ultrazvuková vyšetření obecně zavedena do klinické praxe později než ve světě, přesněji v průběhu 70. let 20. století. Postupem času se stala nepostradatelnou součástí kardiologických vyšetřovacích postupů a dnes je ultrazvuk nejlépe dostupnou zobrazovací metodou v naší republice i ve světě. (Špinar, 2007, s. 166)

2. Princip tvorby ultrazvukového obrazu

Fyzikální princip ultrazvukových vyšetření

Základní princip všech ultrazvukových metod využívaných v medicíně tkví ve vysílání mechanického ultrazvukového vlnění s frekvencí $>20\text{kHz}$ (v medicínské praxi využíváme frekvence 1-15 MHz) speciální sondou do těla pacienta a jeho následné detekci téže sondou. V sondě jsou umístěny elektricky buzené piezoelektrické měniče, jejichž tvar je působením střídavého proudu deformován a stává se tak zdrojem ultrazvukového vlnění. Ultrazvuková sonda je připojena k echokardiografickému přístroji, což je zařízení, které slouží k tvorbě obrazů vyšetřované oblasti na základě schopnosti jednotlivých tkání odrazit ultrazvukové vlnění. Doba, za kterou se vyslaný ultrazvukový signál vrátí zpět k sondě, nám poskytuje informaci o hloubce uložení vyšetřované tkáně, zatímco velikost amplitudy tohoto signálu určuje, s jakou intenzitou daná tkáň signál odrazila. (Bulava, 2017; Vomáčka, 2015)

Důležitými jevy, které je nutno zmínit, a to skrze jejich ovlivnění intenzity ultrazvukového signálu během jeho pronikání hmotou, jsou absorpce, rozptyl a odraz. (Hrazdira, 2011)

Přístrojové vybavení ultrazvukových zařízení

Samotný ultrazvukový přístroj je složen z různých typů vyšetřujících sond (sektorová, konvexní, lineární), pracovní stanice, monitoru a záznamového zařízení. Jednotlivé typy sond se liší nejen svým tvarem, ale i frekvenčním rozpětím vysílaných ultrazvukových vln. Konvexní sondy pracují na nižších frekvencích (2-5MHz) a jsou určeny pro vyšetření struktur uložených ve větší hloubce, typickým příkladem je vyšetření břišní dutiny. Oproti tomu sondy lineární pracují ve vyšších frekvencích (5-15MHz) a jsou určeny pro vyšetření struktur povrchněji uložených. Sektorový typ sondy disponuje ve srovnání s předešlými dvěma typy menší kontaktní plochou a umožňuje provést snímání i z velmi malého akustického okna. Nachází uplatnění v pediatrii, ale je důležitá i během vyšetření srdce z mezižeberních prostor. V kardiologické ultrasonografii nachází uplatnění i speciální transezofageální sonda, která je určena pro semiinvasivní transezofageální echokardiografické vyšetření, kdy je sonda zavedena do lumina jícnu. (Hrazdira, 2011; Sedlář, 2014)

Skrze nemožnost přenosu ultrazvukového vlnění na rozhraní plynného prostředí je zapotřebí během ultrazvukových vyšetření nanášet mezi sondu a kůži ve vyšetřované oblasti speciální kontaktní gel, který odstraní tenkou vrstvu vzduchu mezi oběma plochami. (Heřman, 2014)

Softwarové vybavení ultrazvukových zařízení

V počátcích vývoje diagnostických ultrasonografických metod byly sondou přijaté pulzy zpracovávány analogově. Princip takového zpracování byl založen na převedení odraženého ultrazvukového signálu na signál elektrický za pomoci elektroakustického měniče a ten byl následně zpracován a použit ke tvorbě výsledného obrazu. Aby bylo možné takový obraz zobrazit, bylo zapotřebí použít různé speciální obrazovky (např. konvertorové, paměťové). Standardem u dnešních ultrasonografických přístrojů je digitální zpracování obrazu, které je založeno na zpracování odražených ultrazvukových pulzů počítačovými technologiemi. Část analogového zobrazení je však zachována i u dnešních zařízení a to v tzv. detekčním systému. Ten sestává z tvorby ultrazvukových pulzů piezoelektrickým měničem, jejich vyslání do tkáně a následnou detekcí těchto pulzů odražených od tkáňového rozhraní a na závěr přeměnou na elektrický signál. Ten je převeden v tzv. analogově digitálním převodníku do numerické podoby, v níž je možné ho dále zpracovat a zobrazit.

Jednou z mnoha výhod zobrazení založeného na počítačových technologiích je široká škála možností v rámci nastavení ideálních parametrů před provedením vyšetření, což je označováno jako *preprocessing*. Oproti tomu jako *postprocessing* je označován další pozitivní aspekt digitálního zpracování obrazu, jedná se o dodatečné upravení získaného obrazu. Mezi další výhody řadíme možnost přenosu skrze internetovou síť či uložení záznamu vyšetření na paměťové medium (CD a DVD disky). (Hrazdira, 2011)

V dnešní době standartně vybavený přístroj je zařízení disponující klasickým 2D real-time zobrazením, M-mode zobrazením, schopností dopplerovského kontinuálního i pulzního zobrazení a dopplerovského barevného mapování. Kvalitně provedené vyšetření by mělo být provedeno se současným záznamem alespoň jednoho EKG svodu na monitoru přístroje. Měření by měla být zohledňována podle plochy povrchu těla pacienta (BSA = body surface area), která je vypočítána podle jeho výšky a váhy. (Linhart, 2002)

Užitečnou doplňkovou technikou ke konvenčnímu způsobu zobrazení, která vznikla s rozvojem softwarové výbavy ultrasonografických přístrojů, je možnost panoramatického zobrazení. Klasický způsob zobrazení nám poskytuje mnohdy omezený nebo pouze částečný pohled na oblast našeho zájmu. Panoramatické zobrazení umožňuje souvislý záznam obrazu dané tkáně či orgánu ve vybraném směru a jeho následnou rekonstrukci v paměti ultrazvukového přístroje. Je tak možné získat prodloužený pohled na vyšetřovanou oblast, což nám poskytuje možnost posoudit morfologii a rozměry jednotlivých struktur v této oblasti. (Hrazdira, 2011)

3. Nevýhody a možná rizika spojená s ultrazvukovým vyšetřením

Možná rizika ultrazvukových vyšetření

Ačkoliv se uvádí, že ultrazvuková vyšetření jsou metody naprosto bezpečné jak pro pacienta, tak pro zdravotnický personál, jsou ultrazvukové metody, stejně jako další diagnostické metody, jejichž princip získání dané informace tkví ve vysílání energetických pulzů do organismu, spojeny s možností jistého rizika. Energetické pulzy mohou totiž za jistých podmínek vést k poškození tkáně, jíž prochází. Tento princip je podstatou vzniku možného *biologického rizika*. K poškození pacientova zdravotního stavu však může dojít i nepřímou cestou, a to například v důsledku chybné interpretace výsledků vyšetření, či jeho špatným provedením, to pak bývá označováno jako *riziko nebiologické* a v případě, že je založeno jen na chybné interpretaci získaných obrazů, jedná se o *riziko interpretační*. Tato zmíněná rizika nejsou ohrožením typicky spojeným pouze s ultrasonografickým vyšetřením, ale naopak se jedná o jevy, které se mohou vyskytnout během každého obrazotvorného vyšetření, jehož realizace nebo popis závisí na lékaři či zdravotnickém personálu. (Hrazdira, 2011)

Biologické riziko je založeno na mechanickém a tepelném fyzikálním působení ultrazvukových vln na tkáň, kterou prochází. Tepelným rizikem se míní ohřev tkáně, což je bezprahový děj, který vzniká vlivem absorpce jisté části akustické energie ultrazvukových vln a přeměny této energie v teplo. V souvislosti s tím rozlišujeme 2 typy kritických teplotních hladin, jejichž překročení je spojeno s vyšším rizikem poškození tkání. První z nich je stanovena pro embryonální tkáň, které jsou snáze zranitelné a celkově citlivější než tkáň dospělých jedinců a její hodnota je 39,5°C. Pro tkáň dospělého jedince je tato hodnota stanovena na 41°C, avšak během běžných ultrazvukových vyšetření je pravděpodobnost takového zvýšení teploty velmi málo pravděpodobné. Výjimkou jsou jen pulzní dopplerovská vyšetření, během kterým může být intenzita ultrazvuku v místě měření až o stupeň vyšší nežli úroveň biologicky účinné intenzity. To je třeba brát v potaz především během vyšetření touto metodou v pediatrii nebo v porodnictví. (Sedlář, 2014)

Mechanický rizikový faktor je v případě ultrasonografie jev označovaný jako ultrazvuková kavitace. Jedná se o prahový děj, při němž v podtlakové fázi ultrazvukového vlnění vznikají bubliny. I když tvorba kavitací během běžných ultrazvukových vyšetření nebyla prokázána, možnost jejich vzniku se zvyšuje při aplikaci echokontrastních látek. (Hrazdira, 2011)

Aby bylo riziko vzniku poškození tkáně během ultrazvukových vyšetření sníženo na minimum, je zapotřebí se držet zásad principu ALARA („As Low As Reasonably Achievable“). Význam tohoto principu tkví v tom, že by vyšetření nemělo být prováděno s vyšší intenzitou či po delší dobu, než která je nezbytně nutná pro získání požadované informace. Aby bylo možné tento princip

kvantifikovat a tím snadno využít v praxi, začali výrobci ultrasonografických zařízení stanovovat tepelné a mechanické indexy. Tepelný index udává informaci o vzrůstu teploty ve tkáních a je stanovován pro měkké tkáně, kosti a lebeční kosti. Mechanický index slouží jako relativní ukazatel možnosti vzniku kavitace. (Sedlář, 2014)

Rizika spojená s chybnou interpretací pořízených obrazů lze rozdělit na 2 typy, a to na rizika subjektivní, která vznikají v důsledku nedostatečných zkušeností a znalostí osoby provádějící vyšetření, a rizika objektivní. Ta mohou vznikat na základě špatné kondici použitého přístroje nebo jsou jimi míněny obrazové artefakty, kterými mohou být například tzv. reverbace (opakované odrazy) nebo akustické stíny. Artefaktem typicky spojeným s dopplerovským vyšetřením je špatné určení rychlosti způsobené vlivem nesprávně nastaveného úhlu mezi směrem dopadajícího ultrazvukového vlnění a směrem toku krve. Důsledky interpretačních chyb jsou dvojího typu, nález lze označit jako falešně pozitivní nebo jako falešně negativní.

Kvůli zmenšení pravděpodobnosti výskytu možných rizik na minimum je třeba dodržovat několik základních zásad: je zapotřebí zvolit správný typ sondy s frekvencí vhodnou pro dané vyšetření, nastavit fokusační zónu do vyšetřované oblasti zájmu, nastavit výkon ultrazvukového přístroje na nejnižší možnou úroveň poskytující uspokojivý obraz, nepřekročit hodnoty tepelných a mechanických indexů a nastavit zesílení přístroje na neoptimálnější možnou hodnotu. (Hrazdira, 2011; Sedlář, 2014)

Obecné nevýhody echokardiografických vyšetření

Jednou ze základních nevýhod ultrasonografických metod obecně je závislost na obsluhujícím pracovníkovi, jeho praktických znalostech, zkušenostech a subjektivním hodnocení, což ve výsledku znamená i nejednotnou interpretaci výsledků vyšetření. Například rozlišení segmentárních poruch srdeční kinetiky, které jsou typické pro ischemii v oblasti některé z koronárních tepen, poruch kinetiky způsobených myokarditidou nebo levostranné asynchronní kontrakce při blokaci Tawarova raménka mohou činit méně zkušenému echokardiografistovi potíže.

Další nevýhodou je nutnost využití geometrických hypotéz při počítání objemů a zajištění vhodného echokardiografického okna. (O'Rourke, 2010; Kardiologická revue - Interní medicína, 2009)

4. Neinvazivní ultrazvukové metody užívané pro diagnostiku myokardu

Jednotlivé modality echokardiografického vyšetření jsou v posledních desetiletích nejvíce využívanými zobrazovacími metodami v kardiologii, v drtivé většině případů i první metodou volby při podezření na přítomnost nějaké patologie myokardu. Mezi nesporná pozitiva těchto vyšetřovacích technik řadíme absenci nežádoucích účinků na lidský organismus, rychlost jejich provedení, všestrannou využitelnost a díky nízkým pořizovacím nákladům na ultrasonografický přístroj a jeho mobilitě jsou to i metody velmi dobře dostupné. Ultrazvuk srdce je možné kdykoliv opakovat a sledovat tím progresi případného onemocnění. Poskytuje informace nejen o morfologii, ale i o funkci srdečních struktur a je nejčastěji využíván pro zobrazení a posouzení tvaru a velikosti srdečních dutin, celkové šíře myokardu, zhodnocení stavu srdečních chlopní a perikardu a případnou přítomnost nějakých expanzí. Cílem echokardiografického vyšetření je získání kvalitního, technicky dokonalého a úplného obrazu všech dostupných struktur srdce. I díky těmto skutečnostem má echokardiografie naprosto nezastupitelnou roli v diagnostice myokardu. (Šanta, 2015; Kardiologická revue - Interní medicína, 2009; Heřman, 2014)

Od prvotního ultrazvukového zobrazení srdce jednorozměrným m-módem urazil vývoj echokardiografických metod dlouhou cestu, během které vznikla celá řada modalit vycházejících právě z principu echokardiografie.

Formáty zobrazení v echokardiografii a z nich odvozené vyšetřovací techniky

V echokardiografii se uplatňují všechny tři základní formáty ultrazvukového zobrazení: jednorozměrný režim – M-mode, dvojrozměrný režim se svou real-time modalitou a metody založené na Dopplerově jevu. Nejmladší technikou je pak trojrozměrný a čtyřrozměrný režim zobrazení. (Šanta, 2015)

- *M-mode*

Základní a nejjednodušší ultrazvukovou technikou vyšetření využívanou v kardiologii je tedy jednorozměrná echokardiografie v obraze, tzv. M-mode (původně TM – Time motion). Tato metoda byla jako první ultrazvuková zobrazovací technika vyvinuta speciálně kvůli zobrazení srdce, a to konkrétně roku 1953 Dr. Edlerem. Princip vytváření obrazu u původního tzv. statického dvojrozměrného zobrazení B byl pro potřeby kardiologie velmi pomalý. Sondu, která disponovala jen jedním měničem, bylo zapotřebí ručně posouvat a naklánět. Touto technikou nebylo možné získat informace o pohybujiících se strukturách jakými jsou například chlopně nebo stěny srdce. (Heřman, 2014)

Svou podstatou je M-mode jednorozměrný B-mode, ale snímaný a upravený s ohledem na čas (záznam pohybu odrazu). Jeho výsledným obrazem je soubor křivek, které zaznamenávají pohyb dané struktury, například srdečních chlopní. Tento typ záznamu je však ve stále větší míře nahrazován jinými metodami, jejichž použití nám poskytuje více informací o sledovaných strukturách. (Hrazdira, 2011; Šanta, 2015) Je užitečný především pro vyšetření stavu, funkce a tloušťky srdečních chlopní a pro měření funkce a velikosti levé síně a komory. (Linhart, 2002; Šanta, 2015; Heřman, 2014)

- B-mode

Významnou metodou ultrazvukového zobrazování v kardiologii je také B-mode echokardiografie (z anglického „Brightness“ = jas) neboli dvojrozměrná echokardiografie. Jde o režim ultrazvukového záznamu, při němž je obraz utvářen díky zachycení většího množství ultrazvukových odrazů, kterým je následně, na základě intenzity jejich odrazu, přiřazen stupeň šedi. Poskytuje přesnější dvojrozměrné zobrazení prostorových vztahů struktur srdce a z něj vystupujících cév. Na rozdíl od M-mode nám B-mode poskytuje možnost zobrazit větší části srdce, především pak levou komoru v různých vybraných rovinách, čímž může M-mode režim výhodně doplňovat. Dále se dvojrozměrnou echokardiografií zobrazují poruchy a vady mitrální chlopně, patologie v oblasti aorty a jejího ústí a dalších důležitých srdečních struktur, v nejlepších případech je dokonce možné zobrazit průběh levé koronární arterie. (Šanta, 2015; Nekula, 2014)

- Real-time zobrazení

Jinak nazývané jako „B-mode dynamického typu“ je sled po sobě rychle zaznamenaných obrazů v režimu B-mode. Umožňuje sledování pulsace celého srdce a přilehlých tepen. V dnešní době je téměř výlučně využíván právě tento typ záznamu. (Nekula, 2014)

- Dopplerovské metody

V dnešní době velmi důležitou skupinou kardiologicky významných ultrazvukových vyšetření jsou metody tzv. dopplerovské echokardiografie založené na Dopplerově jevu. Jeho princip tkví ve skutečnosti, že se frekvence ultrazvukového vlnění mění při odrazu od pohybujícího se objektu. Dopplerovská echokardiografie je vhodná pro určení směru a rychlosti krevního průtoku ve zvolené, přesně definované oblasti srdce a z něj vystupujících cév. Je díky ní možné spolehlivě odhalit defekty a levoprávé zkraty v srdečních septech, měřit a porovnávat srdeční výdej pravého a levého srdce, zaznamenat změny krevního proudění při nedomykavostech či stenózách chlopní a případně je možné určit i stupeň jejich poškození. (Šanta, 2015; Heřman, 2014)

Pro medicínskou praxi jsou využívány dvě metody přenosu Dopplerova signálu – buď je signál kontinuálně vysílán jedním piezoelektrickým krystalem v sondě a druhým krystalem přijímán, jde

tedy o *kontinuální dopplerovskou echokardiografii*, nebo je signál vyslán i přijímán pouze jedním krystalem v sondě, v tomto případě se jedná o *pulzní dopplerovskou echokardiografii*. (Gilbert, 2010)

Kontinuální dopplerovská echokardiografie nám poskytuje především možnost s vysokou přesností zaznamenat vyšší rychlosti intrakardiálního proudění krve a je využívána především pro posouzení tlakových gradientů ve zúžených (např. mitrální či aortální stenóza) či zkratovaných oblastech (u vrozených srdečních vad). Tento systém je však pro zobrazovací vyšetření nevhodný. (Gilbert, 2010)

V současné době se tedy v dopplerovské echokardiografii více používá pulzní systém. Spočívá ve vysílání krátce trvajících periodických kvant ultrazvukových kmitů s frekvencí 3-10 MHz do oblasti, ve které je zapotřebí určit charakter krevního proudění. Díky pulzní dopplerovské echokardiografii je možné zaznamenat směr a charakter krevního proudu v libovolně zvoleném místě v srdci a je tedy využívána např. pro průkaz nedomykavosti chlopní, zkratů u různých vrozených srdečních vad, či pro nepřímé posouzení funkce komor během diastoly. (Šanta, 2015; Gilbert, 2010; Nekula, 2014)

Poměrně důležitou nevýhodou pulzní techniky je skutečnost, že při překročení hodnoty zvané „Nyquistův limit“ dochází ke změně červené barvy v modrou a naopak. Je zapotřebí dbát na správné hodnoty parametru zvaného „pulzní repetiční frekvence“ (PRF). Hodnota PRF představuje množství impulzů, které sonda vyslala za 1 sekundu a je vyjádřena v kHz. Maximální Dopplerova frekvence, kterou lze změřit, se rovná polovině hodnoty PRF, a právě tento vztah je pojmenován jako „Nyquistův limit“. Zjednodušeně řečeno to lze vysvětlit tak, že je zapotřebí zajistit dostatečně dlouhou časovou prodlevu mezi vysláním a přijetím odraženého ultrazvukového pulzu. Pokud je další pulz vyslán ještě předtím, než je předchozí pulz přijat, nelze je od sebe odlišit a dochází ke tvorbě nejednoznačného obrazu. V této souvislosti je také důležitá hloubka uložení odrazové struktury – čím hlouběji se tato struktura nachází, tím delší musí být časová prodleva mezi vysláním a přijetím pulzu a maximální Dopplerova frekvence je o to menší. I z těchto důvodů jsou pro vyšetření pomocí barevného Dopplera velmi důležité zkušenosti a úsudek vyšetřujícího lékaře, stejně jako pro vyšetření pomocí ultrazvuku obecně. (Gilbert, 2010)

Mezi základní dopplerovské techniky využívané pro diagnostiku řadíme vyšetření krevního proudění v srdci pomocí již zmíněné kontinuální i pulzní dopplerovské echokardiografie, a to pomocí následujících typů dopplerovského záznamu:

- *Barevně značené dopplerovské mapování*

U většiny dnešních standardně vybavených přístrojů jsou k dispozici všechny tyto techniky. Princip „barevného dopplera“ spočívá v barevném kódování toku krve, tedy přiřazení určité barvy k danému směru a rychlosti toku krve. Standardně značí červená barva tok krve směrem k sondě, modrá barva směrem od něj a odstíny těchto barev jsou pak vyjádřením relativní rychlosti toku.

V místech výskytu stenóz nebo chlopenních vad (nedomykavostí) může docházet ke změně laminárního proudění v turbulentní, což při vyšetření barevným dopplerem vede ke vzniku barevných mozaiek (s příměsí zelené a žluté barvy) s možným měřením míry nedomykavosti nebo významnosti stenózy. Z těchto skutečností vyplývá, že vyšetření pomocí dopplerovského barevného mapování využíváme k diagnostice a posouzení různých chlopenních vad, stenóz či patologických zkratů jako například ruptury myokardu, píštělí nebo defektů septa síní či komor. (Heřman, 2014)

- *Spektrální typ záznamu*

Jedná se o nej přesnější metodu, protože jde o grafické vyjádření rychlosti krevního proudu v závislosti na čase.

- *Akustický záznam*

Je založen na převedení ultrazvukových frekvencí na tóny. Čím vyšší tón je generován, tím vyšší frekvence byla zaregistrována. Tento typ záznamu slouží především jako jistý typ navigace pro vyšetřujícího lékaře.

Propojíme-li během vyšetření B-mode a dopplerovské barevné mapování toků, mluvíme o duplexní ultrasonografii, v případě zapojení i spektrálního záznamu hovoříme o ultrasonografii triplexní. Všechny výše zmíněné typy záznamů nacházejí uplatnění nejen v diagnostice myokardu, ale všude tam, kde je možné pro zobrazení ultrazvuk využít. (Nekula, 2014)

Projekce echokardiografických vyšetření

Neinvasivní echokardiografická vyšetření se dají podle místa, kam bude přiložena vyšetřovací sonda, a tedy i následně provedeno vyšetření, rozdělit na transtorakální projekci, která je skrze svou rychlost a jednoduchost provedení nejběžněji užívaná, a dále semiinvasivní projekce transezofageální a transgastrickou, k jejichž provedení je nutné použít speciální endosonografickou sondu určenou pro zavedení do lumina jícnu a žaludku.

- *Transtorakální projekce (TTE)*

Základní echokardiografickou vyšetřovací technikou je tzv. transtorakální vyšetření, tedy přes hrudník. Jde o standardní vyšetřovací přístup, kterým je vyšetřitelná převážná většina pacientů. TTE se dá rozdělit do 5 základních skupin podle toho, jakým echokardiografickým oknem je vyšetření prováděno. (Heřman, 2014)

Echokardiografické okno (také akustické okno) je oblast na těle, kde se nenachází kosti (žebra) ani plicní parenchym a získání echokardiografického obrazu tedy není narušováno tkáněmi s příliš vysokou nebo naopak příliš nízkou akustickou impedancí. Například plíce, jakožto dutý orgán s velkým obsahem vzduchu, vyšetření prakticky znemožňují. Zvláštním případem jsou pacienti

s fluidothoraxem, u kterých se celkem výrazně zvětšuje oblast, kterou jsme schopni zobrazit, a to díky tekutině, která utiskuje plicní tkáň a kterou se ultrazvukové vlnění velmi dobře šíří. Tento fakt je užitečný zejména při provedení cílené punkce výpotku, k jejímuž navádění lze tedy ultrazvuk využít. (Heřman, 2014; Nekula, 2014)

U TTE tedy standardně rozlišujeme 5 základních echokardiografických oken: levé parasternální, apikální, subkostální / subxiphoidální, suprasternální a téměř výlučně pro dopplerovská vyšetření se využívá pravé parasternální echokardiografické okno. Kromě echokardiografického okna je každý obrazový řez určen i vyšetřovací rovinou. Ta je dána vztahem k dlouhé ose srdeční. Základními rovinami jsou: projekce na dlouhou osu srdeční (prochází od hrotu levé komory k její bazi a pokračuje skrz levou síň a kořen aorty), projekce na krátkou osu srdeční (orientovaná kolmo na dlouhou osu) a čtyřdutinová projekce (ta je kolmá na dlouhou i krátkou osu). (Linhart, 2002)

- Transezofageální echokardiografie (TEE)

Historie transezofageální echokardiografie sahá do 70. let 20. století, kdy byla poprvé použita její jednorozměrná modalita, dvojrozměrný typ tohoto vyšetření je znám a v medicíně využíván od 80. let. Důvodem pro vývoj této semiinvazivní techniky byl fakt, že asi 10% pacientů nelze z různých důvodů vyšetřit transtorakálně. Jde například o obézní pacienty, kde je limitujícím faktorem omezená hloubková penetrace ultrazvukového vlnění nebo o pacienty s emfyzémem, protože vzduch představuje pro ultrazvukové vlnění v podstatě bariéru. U pacientů, kterým byla implantována umělá mitrální chlopeč, je transezofageální echokardiografie prakticky jediným vhodným způsobem vyšetření, pomocí kterého je možné odhalit případné patologie v levé síni a regurgitace na umělé chlopni. (Maleki, 2012; Vomáčka, 2015)

Zobrazení pomocí TEE se provádí na 2 základních úrovních, a to na úrovni mitrální a aortální chlopeč. Tato technika má oproti transtorakálnímu přístupu nemalé množství výhod. Během vyšetření zavedená sonda naléhá na stěnu jícnu (případně i žaludku) a je tedy v těsném kontaktu se srdečními strukturami. U této techniky tedy není limitujícím faktorem omezená pronikavost ultrazvukového vlnění do hloubky, jako je tomu u transtorakálního vyšetření, a je možné použít sondy pracující na vyšších frekvencích, které disponují vyšší rozlišovací schopností, ale menší pronikavostí. V kombinaci s polohou sondy nám to umožňuje detailnější zobrazení srdečních a přilehlých struktur, například obou síní včetně oušek a mezisíňových sept, chlopní, vústění cév nebo descendetní aorty a aortálního oblouku. (Linhart, 2002; Wagner, 2009)

Nevýhodou může být však skutečnost, že kvalita transezofageálního způsobu zobrazení může být u některých pacientů snížena například intolerancí zavedené sondy nebo velkým obsahem vzduchu v jícnu, ale ve srovnání s tradiční transtorakální technikou je množství případů, kdy není dosaženo

uspokojivé kvality zobrazení, téměř zanedbatelné. Jako nevýhodu je rovněž zapotřebí zmínit riziko iatrogenního poškození jícnu. (Linhart, 2002)

- Transgastrická projekce (TGE)

Pro potřeby kardiologie je důležitá také semiinvasivní transgastrická projekce, která spočívá v zavedení ultrazvukové sondy do žaludku. Slouží především pro zhodnocení funkce levé komory, jejího výtoky, regionálních pohybů jejích segmentů, funkce aortální chlopně a objemů obou komor. Stejně jako u výše zmíněné jícnové echokardiografie i TGE existuje riziko iatrogenního poškození a také pacientova intolerance zavedené sondy.

Speciální echokardiografické vyšetřovací postupy

- Trojrozměrná a čtyřrozměrná echokardiografie

Jistou motivací pro vývoj vícerozměrných metod byla jejich nesporná výhoda a tou je eliminace jednoho ze základních problémů spojeného s většinou zobrazovacích metod obecně - ztráta jednoho rozměru. Ačkoliv počátky vývoje trojrozměrné echokardiografie jsou datovány až do 60. let 20. století, první 3D obrazy srdce vznikly až v roce 1974. Byly vytvářeny na základě trojrozměrné rekonstrukce z jednotlivých 2D obrazů, avšak tento postup byl poměrně časově náročný a neposkytoval dostatečně uspokojivé prostorové rozlišení. Velkého pokroku ve vývoji 3D zobrazení bylo dosaženo až s vývojem matrixové sondy, která je tvořena 3000 piezoelektrickými krystaly s frekvencí v rozmezí 2 – 4 MHz. Pracuje podobně jako klasická 2D sektorová sonda, ale namísto jednotlivého paprsku využívá k zobrazení celou zobrazovací rovinu. Tím jsou průběžně zaznamenávány echa v prostoru, který tvarem připomíná pyramidu. Tímto způsobem pořízené snímky nám umožňují zobrazit celý objem tkáně s velmi dobrou kvalitou obrazu i v reálném čase. (Lang, 2012; Maleki, 2012)

Od možnosti zobrazení v reálném čase se ostatně odvíjí i rozdíl mezi čtyřrozměrným a trojrozměrným zobrazením. Tvorba obrazu funguje u obou modalit na stejném principu, avšak ve 4D režimu je, na rozdíl od 3D režimu zobrazení, záznam prováděn v reálném čase. I to je důvod, proč bývá 4D echokardiografie někdy označována jako „real-time 3D“. Speciálními technikami odvozenými od základního trojrozměrného zobrazení jsou například 3D barevný Doppler, který je nejčastěji využíván pro zhodnocení mitrální regurgitace, avšak ke tvorbě akvizice je nutné zaznamenat alespoň sedm srdečních cyklů. Dále „full volume“ zobrazení sloužící pro čtyřdutinové zobrazení a kvantifikaci, či například „3D zoom“, který je ideální pro zobrazení chlopní. (Zamorano, 2015)

I přes svůj nesporný přínos v oboru kardiologie má i 3D echokardiografie, stejně jako ostatní ultrazvukové zobrazovací metody, jisté limitace, a to nejen v oblasti morfologického zobrazení, ale i při zhodnocení funkce myokardu, příkladem může být omezená možnost posouzení a kvantifikace krevních průtokových parametrů či intrakardiálních objemů. Dalšími limitujícími skutečnostmi může být například závislost kvality trojrozměrného zobrazení na kvalitě výchozího dvojrozměrného obrazu a stejně jako ostatní zobrazovací metody, jejichž obraz vzniká pomocí ultrazvukových vln, i ovlivnění zeslabením signálu odrazem, lomem a útlumem. Všechny výše zmíněné limitující faktory mohou v konečném důsledku vést až k výpadku dat. (Maleki, 2012)

- Tkáňová dopplerovská echokardiografie (TDI)

Nejlepší na trhu dostupné ultrasonografické přístroje jsou vybaveny mimo jiné i další velmi přínosnou zobrazovací metodou, kterou je tkáňová dopplerovská echokardiografie (TDI = Tissue Doppler Imaging). Jde o poměrně novou dopplerovskou techniku, která nám v kardiologii umožňuje měřit a barevně zobrazit rychlost a směr pohybů srdeční stěny během srdečního cyklu. K jejímu vývoji došlo roku 1994. Její princip tkví v rozdílné síle odražených ultrazvukových pulzů a rozdílné rychlosti pohybu mezi pohybujícími se tkáněmi a pohybujícími se erytrocyty a následném potlačení nežádoucích rychlostí proudící krve. Jinak řečeno – síla pulzů odražených od pohybujících se tkání je velká, ale rychlost je relativně malá, zatímco síla pulzů odražených od pohybujících se červených krvinek je malá, avšak rychlost pohybu je velká. Kdybychom chtěli barevně zobrazit rychlost proudících erytrocytů (a tím tedy i krve), obsahoval by obraz i rušivé barevné artefakty způsobené barevným zobrazením srdečních či cévních stěn a okolních struktur. Pro tvorbu obrazu v této zobrazovací modalitě jsou tedy potlačeny vysoké rychlosti proudící krve a zobrazeny jsou rychlosti pomalé (srdeční stěna) v nastavené mezi 1-10mm/s.

TDI je technika užitečná zejména v diagnostice infarktu myokardu, kardiomyopatií, onemocnění koronárních arterií a ventrikulárních arytmií, umožňuje také měření píku systolické rychlosti v ejekční fázi v různých segmentech myokardu. V souvislosti s ateromatósním postižením cév umožňuje přesnější posouzení elastických vlastností cévní stěny. (Hrazdira, 2011; Wells, 2011a)

- Speckle tracking echokardiografie (STE)

K hodnocení globálních a regionálních funkcí myokardu, včetně jeho rotace, byla vyvinuta nová neinvazivní ultrazvuková metoda Speckle-tracking echokardiografie, s jejíž pomocí je možné zhodnotit i deformaci myokardu bez závislosti na translačních pohybech srdce či na insonančním dopplerovském úhlu. Princip STE je založen na rozpoznání charakteristických artefaktů vznikajících skrze odraz ultrazvukových vln během průchodu tkání, interferencí s myokardiální tkání a jejich

odrazem. Tyto charakteristické artefakty (speckle = skrvna) jsou ve dvojrozměrném zobrazení zcela unikátní pro stanovenou vyšetřovanou oblast a jsou detekovány pomocí speciálního počítačového programu. Na základě jejich identifikace, zachycení a zprůměrování je dále analyzována rychlost, změna jejich polohy a deformace, případně i rychlosti deformace.

Z principu STE, přesněji ze zprůměrování daného segmentu, plyne jistá limitace, a to evidentně nižší citlivost pro detekci malých oblastí myokardu postižených některými patologiemi.

Stěžejní pro použití této metody je nalezení nejvyššího možného počtu speckle artefaktů, jimiž je během srdečního cyklu utvářen speckle obraz. Toho lze dosáhnout nastavením optimální snímkovací frekvence, která je vyšší než frekvence pro klasické dvojrozměrné zobrazení. Při použití nižších frekvencí je omezena citlivost STE během sledování velmi rychlých dějů (např. zachycení preejekční segmentární rychlosti) a naopak při použití vyšších frekvencí se zhoršuje prostorové rozlišení této techniky.

Výhodou této techniky je nezávislost na dopplerovském incidenčním úhlu, poloautomatický způsob detekce vyšetřované zóny i podstatně lepší reprodukovatelnost, především, srovnáme-li tuto techniku s reprodukovatelností tkáňové dopplerovské echokardiografie. (Hutyra, 2008)

- Akustická denzitometrie

Vzhledem k tomu, že konvenční echokardiografie nedokáže poskytnout informace o vnitřní struktuře srdeční tkáně, byly vyvinuty nové diagnostické techniky pracující na bázi ultrazvukových vln, které tuto limitaci kompenzují. Jednou z těchto metod je akustická denzitometrie pracující na principu tzv. zpětného rozptylu. Rozptyl je jev, který vzniká, dopadají-li ultrazvukové vlny na rozhraní menší, než je jejich vlnová délka, v myokardu to jsou např. myocyty či krevní elementy. Energie těchto vln se rozptýlí do všech směrů a jako zpětný rozptyl označujeme ten segment rozptylu, který se k sondě vrací nazpět pod úhlem 180°. Konvenční techniky pracují pouze se zrcadlovými odrazy z velkých rozhraní a část zpětného rozptylu je odfiltrována, ale akustická denzitometrie je na měření intenzity zpětného rozptylu založena.

Stěžejními výhodami této metody jsou neinvazivnost a možnost objektivního zhodnocení i částečné kvantifikace postižení myokardu, ale širšímu využití této metody brání především její nevýhody. Jednou z nich je například skutečnost, že metodika provedení této techniky není sjednocená a výsledky jsou tudíž neporovnatelné v rámci jednotlivých zdravotnických zařízení. Dalšími nevýhodami je časová náročnost, možnost použití metody jen u dobře vyšetřitelných osob a poměrně široká variabilita parametrů naměřených různými lékaři či v rámci opakování vyšetření stejným lékařem. To může být způsobeno nedostatečnými zkušenostmi vyšetřujícího, což v podstatě

znemožňuje dobrou reprodukovatelnost této poměrně technicky náročné metody vyšetření. (Panovský, 2007)

- Ultrazvuková elastografie

Jde o relativně novou ultrazvukovou modalitu, která napodobuje palpaci a poskytuje možnost zhodnocení tuhosti tkáně myokardu. Využívá se pro detekci změn v srdeční tkáni způsobených na podkladě nějaké patologie. K tomu se využívá předpokladu, že patologická tkáň se svou tuhostí od zdravé značně liší. Jako příklad nám mohou posloužit maligní tumory, jejichž tuhost může být až 28krát vyšší než tuhost normální tkáně, z níž rostou. Tato modalita pracuje na principu rekonstrukce vnitřní struktury tkáně myokardu na základě odpovědí na komprese působících na povrch těla.

Vlastní zobrazení probíhá ve dvou fázích. V první fázi je pomocí odražených ultrazvukových vln detekován rozsah posunu tkáně před kompresí a po ní. Ve fázi druhé probíhá samotná rekonstrukce zobrazení posunu jednotlivých tkání na základě jejich mechanických vlastností, přičemž je provedeno i barevné kódování. Většinou bývají měkké tkáně zobrazeny v odstínech žluté až zelené a ložiska vykazující větší tuhost jsou modrá až černá. (Hrazdira, 2011; Wells, 2011b)

- Shear-wave elastografie (SWE)

Novou speciální modalitou vycházející z klasické ultrazvukové elastografie je tzv. Shear-wave elastografie, jinak také elastografie střížnými vlnami. Ta pro zhodnocení tuhosti tkání nevyužívá silového působení na povrch těla, ale využívá radiačních sil ultrazvukových vln. Takováto akustická komprese je vytvářena pomocí dlouhých opakovaných fokusovaných pulzů podél zobrazovací linie. Akustické střížné vlny se šíří podstatně pomaleji než tlakové vlny podélné. Jejich rychlost je přímo úměrná elastickým vlastnostem dané tkáně. Vzhledem k tomu, že pohyblivost jednotlivých částic elastického prostředí se nachází řádově pouze v mikrometrech, je pro zobrazení takovéto pohyblivosti zapotřebí speciální tzv. supersonický mód. Oproti klasické elastografii poskytuje SWE kvantitativní informaci o tkáňové elasticitě a kalibrace barevného spektra je v kPa. (Hrazdira, 2011; Sedlář, 2014)

- Zátěžová echokardiografie

Počátky vyšetření pomocí zátěžové echokardiografie sahají do pozdějších 70. let minulého století, kdy bylo zátěžové vyšetření v kombinaci s M-módem jako echokardiografickou zobrazovací modalitou použito pro detekci a posouzení patologických změn ve stěně myokardu způsobených na podkladě ischemie. S postupujícím vývojem v oblasti techniky došlo nejprve k nahrazení jednorozměrného M-módu zobrazením dvojrozměrným. Rozvoj digitálních technologií v oblasti echokardiografických vyšetření zase poskytnul možnost digitálního záznamu klidové i pozátěžové

části vyšetření a jejich následné srovnání. I díky tomu je zátěžová echokardiografie v dnešní době rutinním typem vyšetření. (Maleki, 2012)

Podstatou zátěžové echokardiografie je předpoklad, že ischemizované oblasti srdce mají normálním oblastem zhoršenou funkci. Jejím cílem je vyvolat ischemii při zvyšující se zátěži, a tedy i s postupným zvyšováním požadavků na srdeční metabolismus. Má velký diagnostický přínos u pacientů s ischemickou chorobou srdeční, podezření na toto onemocnění je nejčastější indikací pro zátěžovou echokardiografii. Jedná se o vyšetření s relativně nízkými náklady (v porovnání se SPECT myokardiální perfuzí, která je pro vyšetření pacientů s ICHS velmi často využívána) a nezatěžuje pacienta ionizujícím zářením, což je patrné již z podstaty samotného ultrazvukového vyšetření, stejně jako základní nevýhoda této metody – větší závislost na zkušenostech a úsudku vyšetřujícího lékaře. Jde o metodu s vysokou specificitou, ale s nepatrně nižší senzitivitou než pro srovnání zmiňované vyšetření pomocí SPECT myokardiální perfuze, což je možné odůvodnit tzv. ischemickou kaskádou (jde o model, který znázorňuje pořadí a načasování jednotlivých následků nižšího krevního průtoku). Během zátěžového testu u pacientů s významnou stenózou v koronárním řečišti dochází nejdříve k poruše perfuze, což je vizualizováno při SPECT vyšetření, ale po zvýšení zátěže nastává porucha systolické funkce, která je viditelná při echokardiografii. (Vnitřní lékařství, 2007, s. 1245-1247; O'Rourke, 2010; Chaloupka, 2003)

Zátěž je standardně vyvolávána na kole, pak se jedná o tzv. bicyklovou ergometrii, či běžeckém pásu. Při neschopnosti pacienta absolvovat zátěžový test standardní cestou je zátěž vyvolána farmakologicky pomocí vazodilatačních nebo inotropních léků. Cvičení je preferováno především kvůli získání přehledu o výkonu pacienta a načasování vyvolané ischemie, jeho nevýhodou však může být nižší senzitivita a specificita než u testu s farmakologickou zátěží, která může být dána abnormalitami na klidovém EKG, a především nedosažením diagnosticky přínosné zátěže. Proto je zapotřebí před testem dobře zvážit pacientovu fyzickou kondici, a tedy i schopnost fyzickou zátěž absolvovat, případně provést zátěžový test farmakologickou cestou. Zřejmě nejvyužívanější látkou využívanou v dnešní době k farmakologické zátěžové echokardiografii je dobutamin. Jde o substanci, která zvyšuje stažlivost myokardu a zároveň zvyšuje tepovou frekvenci. Dávka dobutaminu podaného infuzí se stupňuje a díky tomu je tepová frekvence zvyšována postupně, podobně jako při cvičení. V pořadí druhou nejvyužívanější látkou pro farmakologickou zátěž je dipyridamol, což je derivát pyrimidinu, jež původně sloužil jako vazodilatační látka při léčbě anginy pectoris. Podání vyšších dávek tohoto farmaka vede v konečném důsledku ke zvýšení průtoku krve myokardem. (Chaloupka, 2009)

Nevýhodou farmakologické zátěže je obvyklý výskyt komorových arytmií (časté komorové extrasystoly), které jen zřídka představují důvod k léčbě a také frekvence vážných vedlejších účinků

je vyšší (3/1000) než v případě ostatních pacientů podstupujících zátěžový test. Cílem farmakologicky vyvolaného zátěžového testu je, stejně jako u standardně vyvolané zátěže, dosáhnout $\geq 85\%$ maximální tepové frekvence (220 – věk pacienta). (O'Rourke, 2010; Kardiologická revue - Interní medicína, 2005, s. 191-194; Chaloupka, 2003)

Samotné zobrazení se provádí v klidu a ihned po zátěži, v případě farmakologické zátěže je echokardiografický obraz myokardu sledován po celou dobu vyšetření, a to pomocí přístupů v dlouhé ose srdeční, v krátké ose a dvoudutinovém a čtyřdutinovém pohledu. Během toho je v pravidelných intervalech pacientovi měřena hladina krevního tlaku. Vyšetření celkem trvá asi 50 minut. (O'Rourke, 2010)

Výtěžnost zátěžové echokardiografie lze zvýšit kombinací s podáním kontrastní látky, a to například v případech, kdy je hůře identifikovatelný endokard. Kontrastní látka může mít v podstatě dvě funkce. Jednak jde o zmíněné zajištění lepší identifikovatelnosti endokardu, což je postup, který se na řadě pracovišť běžně používá. Dalším možným důvodem pro aplikaci kontrastu při zátěžové echokardiografii je umožnění posouzení myokardiální perfuze. Tento postup se nazývá „perfuzní stress echokardiografie“, ale je stále spíše ve fázích výzkumu. (Chaloupka, 2009)

- Harmonické zobrazení

Zhruba 20–25% pacientů lze jen obtížně vyšetřit standardní technikou (např. vlivem nadváhy) a za účelem získání hodnocení schopného obrazu je zapotřebí navýšit výkonnost sondou vysílaných ultrazvukových pulzů a prodloužit celkovou dobu vyšetření, jedná se především o pacienty s nadváhou. U takových pacientů lze lepší kvality obrazu a značně lepšího kontrastního rozlišení docílit pomocí harmonického zobrazení. V rámci diagnostiky myokardu tato technika poskytuje i možnost potlačení slabých artefaktních signálů, které vznikají vlivem tekutinové výplně srdce.

Rozlišujeme 2 základní typy harmonického zobrazení, a to přirozené, které vzniká na podkladě kmitání samotných tkáňových struktur v důsledku nelineárního šíření ultrazvukového vlnění ve tkáních, a harmonické zobrazení kontrastní, které je tvořeno kmitáním bublin kontrastních látek vpravených do krevního oběhu.

Jde o poměrně novou techniku vyšetření. Je založena na vyslání relativně intenzivního ultrazvukového pulzu o velikosti frekvence f_0 , ovšem zachycovány nejsou kmity této stanovené základní frekvence, ale harmonické kmity o velikosti $2f_0$. Důležitým předpokladem pro efektivní využití této techniky v klinické praxi je dokonalé potlačení odražených pulzů z oblasti vyslané základní frekvence a velký dynamický rozsah zesílení, protože energie ve tkáních vzniklých harmonických kmitů je ve srovnání s energií vysílaných pulzů velmi nízká. Zapotřebí je také použití dostatečně citlivých širokopásmových měničů.

Diagnostický přínos této techniky spočívá ve výrazně lepší možnosti vyšetření pacientů s nadváhou, v kratší době potřebné pro provedení vyšetření u takových pacientů a u všech pacientů v lepším kontrastu a čistějším zobrazení umožňujícím přesnější diagnostiku. (Hrazdira, 2011; Sedlář, 2014)

- Kontrastní echokardiografie

Kontrastní echokardiografie je metoda, která pomocí aplikace kontrastní látky s obsahem mikrobublin může vhodně doplnit jak konvenční, tak i dopplerovská ultrazvuková vyšetření. (Heřman, 2014)

K prvnímu zaznamenanému echokardiografickému vyšetření s kontrastem, které odstartovalo další výzkum této techniky, došlo na Univerzitě v Rochesteru. Jednalo se náhodný objev dvou vědců Gramiaka a Shaha, kteří zaregistrovali tvorbu výrazných oblastí ultrazvukových ech v srdci po aplikaci injekce indokyaninového zeleného barviva. V minulosti byl jako kontrastní médium užíván solný roztok, ale tato technika měla jednu zásadní nevýhodu a tou byla nemožnost kontrolovat intenzitu kontrastního efektu. Tento problém byl vyřešen zavedením stabilnějších kontrastních látek. Postupným vývojem se z kontrastní echokardiografie stala důležitá technika například pro detekci endokardiální hranice levé komory. (Maleki, 2012; De Roos, 2014)

Metoda je založena na intravenózní aplikaci kontrastní látky s mikrobublinami do krevního oběhu a následné detekci echogenitu zvyšujících mikrobublin, které se prostřednictvím krve dostanou do prokrvených tkání. (Heřman, 2014)

- FAST

Metodou dnes již rutinně užívanou především pro vyšetření polytraumatizovaných pacientů ohrožených akutním krvácením je FAST (Focused Assessment with Sonography for Trauma). Jde o rychlou metodu sonografického vyšetření zaměřenou na oblast hrudníku s perikardem a dutinu břišní.

Polytraumatizované pacienty, stejně tak jako jinak kriticky nemocné pacienty, často nelze vyšetřit fyzikálním vyšetřením nebo jen omezeně. Limitacemi fyzikálního vyšetření může být například hluboká analgosedace nebo umělá plicní ventilace. Cílem FAST je rychlou, jednoduchou a okamžitě dostupnou cestou rozšířit možnosti fyzikálního vyšetření. Tato metoda je zaměřena primárně na detekci volné tekutiny (krve) ve vyšetřovaných dutinách (břišní, pleurální a perikardiální). Volná tekutina bývá touto metodou nejčastěji detekována v tzv. Morisonově prostoru, což je prostor mezi játry a pravou ledvinou. Nevýhodou této metody je její relativně nízká senzitivita. FAST je totiž schopno detekovat tekutinu až od jistého objemu. Bylo prokázáno, že nejmenší detekovatelný objem volné tekutiny, který lze tímto způsobem detekovat, je 250ml. Mírného zvýšení senzitivity lze

dosáhnout například uložením pacienta do Trendelenburgovy polohy nebo opakováním FAST v čase. Jestliže je nález i po 6ti hodinách negativní, lze ho pokládat za definitivní.

Rozšířenou podobou FAST je EFAST (Extended FAST), které je zaměřeno i na hemotorax a pneumotorax. (Waldauf, 2013)

Závěr

Bakalářská práce si kladla za cíl shrnout nejdůležitější informace, které se týkají neinvazivních ultrazvukových zobrazovacích metod v oblasti diagnostiky myokardu. Cíle bylo dosaženo pomocí vhodně zvolených článků, studií a knižních publikací. Během tvorby bakalářské práce jsem čerpala především z tématicky zaměřených knižních publikací.

První část práce je zaměřena na historii kardiologického využití zobrazovacích metod obecně a následně ultrazvukových zobrazovacích postupů. Jsou zde uvedeny důležité milníky a objevy, které měly ve vývoji těchto technik významnou roli. Zmíněny jsou zde i některé vyšetřovací postupy, které byly v minulosti užívané a přes které se pro kardiologii významné zobrazovací metody vyvinuly až do podoby, v jaké je známe a používáme dnes.

Následující kapitola se věnuje technickému základu tvorby ultrazvukového obrazu. Je zde popsán základní fyzikální princip a v dalších podkapitolách i přístrojové a softwarové vybavení ultrazvukových zařízení.

Ve třetí části práce jsou uvedeny nevýhody a možná rizika spojená s ultrazvukovým vyšetřením.

Je uváděno, že vyšetření fungující na základě ultrazvukových vln nemají v podstatě žádné kontraindikace. To by mohlo evokovat dojem, že ultrazvuková vyšetření nemají prakticky žádná rizika, ale jak bylo v této kapitole uvedeno, jistá rizika existují. Je zapotřebí dbát zvýšené opatrnosti například během vyšetření pulzním Dopplerem, a to zejména v porodnictví a pediatrii. Co se nevýhod týče, ty jsou obecně dané pro prakticky všechny ultrazvukové metody.

Čtvrtá kapitola již rozebírá jednotlivé diagnostické techniky a různé možnosti zobrazení. V podkapitolách jsou uvedeny režimy zobrazení, echokardiografické projekce a stručně popsány speciální ultrazvukové techniky užívané pro vyšetření kardiologických pacientů, a to od konvenčního echokardiografického zobrazení přes dopplerovské metody až po techniky velmi sofistikované a poměrně náročné na rekonstrukci výsledného obrazu, např. speckle-tracking echokardiografie.

Vzhledem k tomu, že je tento segment zobrazovacích metod oblastí neustále se vyvíjející, můžeme očekávat, že se škála pro kardiologii významných zobrazovacích postupů bude nadále rozšiřovat. I z toho důvodu je důležité, aby si, jak zdravotničtí pracovníci, tak lékaři, neustále rozšiřovali své obzory a studiem těchto nových technik se zabývali.

Využití práce pro teorii a praxi:

Bakalářská práce shrnula a popsala nejdůležitější ultrazvukové zobrazovací metody užívané pro potřeby kardiologie a informace důležité k jejich pochopení. Skrze svou informativní podobu by práce měla být vhodná pro veškerou laickou i poučenější veřejnost zabývající se danou tematikou. Praktické využití této práce je možné především během pátrání po vhodné technice diagnostiky myokardu, kdy je zapotřebí provést vyšetření rychle a jednoduše nebo v případech, kdy je žádané či nutné vyhnout se zobrazovacím metodám pracujícím s ionizujícím zářením a provedení vyšetření pomocí magnetické rezonance není z různých důvodů možné.

Referenční seznam

- BULAVA, Alan, 2017. *Kardiologie pro nelékařské zdravotnické obory*. 1. vydání. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0468-0.
- DE ROOS, Albert a Charles B. HIGGINS, 2014. Cardiac radiology: Centenary review. *Radiology*. **273**(2), 142-159.
- GILBERT, D.L. a B.R. GILBERT, 2010. Ultrazvukové vyšetření skrota: principy a praktické využití. *Urologické listy*. **8**(2), 58-70.
- HEŘMAN, Miroslav, 2014. *Základy radiologie*. 1. vyd. V Olomouci: Univerzita Palackého. ISBN 978-80-244-2901-4.
- HRAZDIRA, Ivo, 2011. *Biofyzikální základy ultrasonografie: jak pracovat s ultrazvukovým diagnostickým přístrojem : praktická příručka s teoretickým úvodem pro stáž připravenou v rámci projektu: "Prohloubení odborné spolupráce a propojení ústavů lékařské biofyziky na lékařských fakultách v České republice"*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-2895-6.
- HUTYRA, M., T. SKÁLA, M. KAMÍNEK a D. HORÁK, 2008. Speckle tracking echokardiografie: Nová ultrazvuková metoda hodnocení globální a regionální funkce myokardu. *Kardiologická revue: Interní medicína*. **10**(1), 8-13.
- CHALOUPKA, V., 2009. Echokardiografie u nemocných s ischemickou chorobou srdeční. *Vnitřní lékařství*. **55**(9), 730-736.
- CHALOUPKA, Václav a Lubomír ELBL, 2003. *Zátěžové metody v kardiologii*. 1. vyd. Praha: Grada. ISBN 80-247-0327-0.
- Kardiologická revue - Interní medicína*, 2005. Praha: Ambit Media, a.s. ISSN 2336-288X.
- Kardiologická revue - Interní medicína: Chyby v diagnostice a léčbě akutních forem ischemické choroby srdeční*, 2009. Praha: Ambit Media, a.s. ISSN 2336-288X.
- LANG, Roberto M., Luigi P. BADANO, Wendy TSANG et al., 2012. EAE/ASE Recommendations for Image Acquisition and Display Using Three-Dimensional Echocardiography. *Journal of the American Society of Echocardiography* [online]. **25**(1), 3-46 [cit. 2020-06-13]. DOI: 10.1016/j.echo.2011.11.010. ISSN 08947317. Dostupné z: <https://linkinghub.elsevier.com/retrieve/pii/S089473171100842X>
- LINHART, Aleš, Tomáš PALEČEK a Michael ASCHERMANN, 2002. *Echokardiografie pro praxi*. 1.vyd. Praha: Audioscan, 245 s. ISBN 80-7262-290-4.
- MALEKI, Majid a Maryam ESMAEILZADEH, 2012. The Evolutionary Development of Echocardiography. *Iranian journal of medical sciences*. **37**(4), 222-232.
- NEKULA, Josef, 2014. *Klinická radiologie: skriptum*. Vyd. 1. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě. ISBN 978-80-7464-564-8.
- O'ROURKE, Robert A., Richard A. WALSH a Valentín FUSTER, 2010. *Kardiologie: Hurstův manuál pro praxi*. 1. české vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-3175-9.
- PANOVSKÝ, R., V. KINCL a J. MELUZÍN, 2007. Akustická denzitometrie a hibernovaný myokard. *Kardiologická revue*. **9**(1), 6-11.
- SEDLÁŘ, Martin, Erik STAFFA a Vojtěch MORNSTEIN, 2014. *Zobrazovací metody využívající neionizující záření* [online]. 1. el. vyd. Brno: Muni press [cit. 2020-06-10]. ISBN 978-80-210-7156-8. Dostupné z: https://www.med.muni.cz/biofyz/zobrazovacimetody/files/zobrazovací_metody.pdf
- ŠANTA, Marián, Anna LESŇÁKOVÁ, Imrich ANDRÁSI a Ivana ŠANTOVÁ, 2015. *Prehľad zobrazovacích diagnostických metod*. V Tribunu EU vydání první. Brno: Tribun EU. Librix.eu. ISBN 978-80-263-0973-4.
- ŠPINAR, Jindřich a Jiří VÍTOVEC, 2007. *Jak dobře žít s nemocným srdcem*. 1. vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-1822-4.
- Vnitřní lékařství: Internal Medicine : orgán Československé společnosti pro vnitřní lékařství, sekce Československé lékařské společnosti J. E. Purkyně*, 2007. Praha: SZN. ISSN 0042-773X.
- VOMÁČKA, Jaroslav, 2015. *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty*. Druhé, doplněné vydání. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4508-3.

WAGNER, Robert, 2009. *Kardioanestezie a perioperační péče v kardiochirurgii*. 1.vyd. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-1920-7.

WALDAUF, Petr, 2013. Aplikace ultrazvuku u příjmu traumata nejasných šokových stavů (FAST). *Anesteziologie a intenzivní medicína*. **24**(5), 332-338.

WELLS, Peter N. T. a Hai-Dong LIANG, 2011a. Medical ultrasound: imaging of soft tissue strain and elasticity. *Journal of The Royal Society Interface* [online]. **8**(64), 1521-1549 [cit. 2020-06-07]. DOI: 10.1098/rsif.2011.0054. ISSN 1742-5689. Dostupné z: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsif.2011.0054>

WELLS, Peter N. T. a Hai-Dong LIANG, 2011b. Medical ultrasound: imaging of soft tissue strain and elasticity. *Journal of The Royal Society Interface* [online]. **8**(64), 1521-1549 [cit. 2020-06-13]. DOI: 10.1098/rsif.2011.0054. ISSN 1742-5689. Dostupné z: <https://royalsocietypublishing.org/doi/10.1098/rsif.2011.0054>

ZAMORANO, José Luis a Juhani M KNUUTI, 2015. *The ESC Textbook of Cardiovascular Imaging*. 2.vyd. London: Oxford University Press. ISBN 978-0-19-870334-1.

ZEMANOVÁ, Markéta, 2016. Nová diagnostická zobrazovací metoda - Shear waves elastografie. *Česká a slovenská oftalmologie: časopis České oftalmologické společnosti a Slovenské oftalmologické společnosti*. **72**(4), 103-110.

Seznam zkratek

2D	dvojrozměrné zobrazení
3D	trojrozměrné zobrazení
4D	zobrazení v reálném čase
ALARA	as low as reasonably achievable
BSA	body surface area
EFAST	extended focused assesment with sonography for trauma
EKG	elektrokardiogram
FAST	focused assesment with sonography
ICHS	ischemická choroba srdeční
PRF	pulzní repetiční frekvence
SPECT	single-photon emission computed tomography = jednofotonová emisní tomografie
STE	speckle tracking echokardiografie
TDI	tissue Doppler imaging
TEE	transezofageální echokardiografie
TGE	transgastrická echokardiografie
TM	time motion
TTE	transtorakální echokardiografie
UCG	ultrasound cardiology