

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Tereza Stuchlíková

## **Ultrazvuková elastografie a její využití**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. MUDr. David Školoudík, Ph.D., FESO, FEAN

Olomouc 2021

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

Olomouc 26. dubna 2021

-----  
Podpis autora

Děkuji prof. MUDr. Davidu Školoudíkovi, Ph.D., FESO, FEAN za odborné vedení a cenné rady při zpracování bakalářské práce.

## ANOTACE

**Typ závěrečné práce:** Bakalářská práce

**Téma práce:** Ultrazvuková elastografie a její využití

**Název práce:** Ultrazvuková elastografie a její využití

**Název práce v AJ:** Ultrasound elastography and its use

**Datum zadání:** 2020-11-16

**Datum odevzdání:** 2021-04-26

**Vysoká škola, fakulta, ústav:** Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

**Autor práce:** Stuchlíková Tereza

**Vedoucí práce:** prof. MUDr. David Školoudík, Ph.D., FESO, FEAN

**Oponent práce:** doc. MUDr. Jaroslav Vomáčka, Ph.D., MBA

**Abstrakt v ČJ:** Přehledová bakalářská práce se zabývá metodou ultrazvukové elastografie a jejím využitím v oblasti medicíny. Zaměřuje se na charakteristiku jednotlivých typů ultrazvukové elastografie a jejich využití při vyšetření struktur orbity, slinných žláz, lymfatických uzlin, štítné žlázy, prsní žlázy, plic, jater, sleziny, slinivky břišní, gastrointestinálního traktu, ledvin, prostaty, varlat, gynekologické oblasti, cévního systému, muskuloskeletálního systému a pediatrických pacientů. Ze získaných informací vyplývá, že ultrazvuková elastografie je stále se rozvíjející diagnostická metoda, která má potenciál k zařazení do vyšetřovacího algoritmu pacientů s různými diagnózami. Poznatky jsou čerpány z databází: EBSCO, PubMed, ProQuest, Scopus a BMČ.

**Abstrakt in AJ:** The bachelor thesis reviews the information about the ultrasound elastography and its use in medicine. It focuses on the characteristics of individual types of ultrasound elastography and their use in the examination of structures in the orbit, salivary glands, lymph nodes, thyroid gland, mammary gland, lungs, liver, spleen, pancreas, gastrointestinal tract, kidneys, prostate, testes, gynaecological areas, vascular and musculoskeletal system and paediatric patients. The information obtained shows that ultrasound elastography is an evolving diagnostic method that has a potential to be included in the examination algorithm of patients with various diagnoses. The data was obtained from databases: EBSCO, PubMed, ProQuest, Scopus and BMČ.

**Klíčová slova v ČJ:** ultrazvuk, elastografie, sonoelastografie, ultrasonografie, elasticita, tuhost, játra, prs, štítná žláza, slinné žlázy, lymfatické uzliny, slezina, slinivka břišní, ledvina, střevo, prostata, varlata, gynekologie, cévy, svaly, vazy, šlachy, orbita, pediatrie, plíce

**Klíčová slova v AJ:** ultrasound, elastography, sonoelastography, ultrasonography, elasticity, stiffness, liver, breast, thyroid gland, salivary glands, lymph nodes, spleen, pancreas, kidney, bowel, prostate, testicles, gynaecology, vessels, muscles, ligaments, tendons, orbit, paediatrics, lungs

**Rozsah:** 71/0

# Obsah

Úvod .....	7
1 Ultrazvuková elastografie .....	9
1.1 Statická ultrazvuková elastografie .....	9
1.2 Dynamická ultrazvuková elastografie .....	11
2 Využití ultrazvukové elastografie .....	14
2.1 Vyšetření struktur orbity .....	14
2.2 Vyšetření slinných žláz .....	15
2.3 Vyšetření lymfatických uzlin .....	16
2.4 Vyšetření štítné žlázy a příštítných tělísek .....	19
2.5 Vyšetření prsní žlázy .....	24
2.6 Vyšetření plic .....	27
2.7 Vyšetření jater .....	29
2.8 Vyšetření sleziny .....	32
2.9 Vyšetření slinivky břišní .....	36
2.10 Vyšetření gastrointestinálního traktu .....	39
2.11 Vyšetření ledvin .....	41
2.12 Vyšetření prostaty .....	44
2.13 Vyšetření varlat .....	47
2.14 Vyšetření v gynekologii .....	49
2.15 Vyšetření cévního systému .....	50
2.16 Vyšetření muskuloskeletálního systému a periferních nervů .....	53
2.17 Vyšetření v pediatrii .....	56
2.18 Intraoperativní vyšetření .....	58
Závěr .....	59
Referenční seznam .....	60
Seznam zkratk .....	69

## Úvod

Ultrazvukové vyšetření patří v moderní medicíně mezi nejrozšířenější diagnostickou zobrazovací metodu a zaujímá přední místa ve vyšetřovacím algoritmu pacientů. Ultrazvukové vlnění bylo objeveno v roce 1794 italským biologem a fyziologem Lazarrem Spallanzanim, během minulého století prošlo vyšetřování ultrazvukem prudkým rozvojem a stále se rozvíjí.

Ultrazvuková elastografie představuje neinvazivní diagnostickou zobrazovací metodu, která se neustále více rozvíjí v medicínských oborech. Přidáním hodnoty elasticity ke konvenčnímu ultrazvukovému vyšetření zvyšuje jeho specificitu a zlepšuje diagnostickou přesnost, čímž je dosaženo kvalitního ultrazvukového vyšetření (Zemanová, 2016, s. 103-104). Díky neinvazivnímu hodnocení mechanických vlastností tkání byla elastografickým zobrazovacím technikám v posledních letech věnována značná pozornost. Metody ultrazvukové elastografie mají obzvláště zajímavé výhody jako jsou neinvazivnost, široká dostupnost, relativně nízké náklady a možnost provedení vyšetření přímo u postele pacienta (Sigrist et al., 2017, s. 1303).

Ultrazvuková elastografie je novodobá náhrada tradičního palpačního vyšetření, které je využíváno ve standardním postupu klinického vyšetření. Ultrazvuková elastografie zjišťuje elastické vlastnosti biologických tkání na základě odezvy tkání na silové působení vyvolané nízkofrekvenčními vibracemi. Patologické procesy a různé abnormality tkání často mění elasticitu tkání, která je poté detekována elastografií. Výsledkem elastografického vyšetření je ultrazvukový obraz v B-módu překrytý barevně kódovanou mapou (Zemanová, 2016, s. 103-104).

V souvislosti s rozvojem této metody napříč obory je možno si položit otázky: „Jaké jsou aktuální validní poznatky o ultrazvukové elastografii?“, „Jaké existují typy ultrazvukové elastografie?“, „Jaká jsou nejnovější možná využití ultrazvukové elastografie v diagnostice?“, „Jaké má ultrazvuková elastografie aktuální postavení mezi ostatními zobrazovacími metodami?“

Cílem této práce je sumarizovat dohledané publikované aktuální poznatky o ultrazvukové elastografii a jejím využití. Cíl práce je specifikován v dílčích cílech:

- 1) Sumarizovat dohledané publikované aktuální poznatky o metodách ultrazvukové elastografie.
- 2) Sumarizovat dohledané publikované aktuální poznatky o využití ultrazvukové elastografie při vyšetření jednotlivých lidských orgánů.

Použitá vstupní studijní literatura:

1. DIETRICH, Christoph Frank. 2019. *Ultrasound Elastography* [online]. MDPI [cit. 2021-04-15]. ISBN 978-3-03897-911-1. DOI: 10.3390/books978-3-03897-911-1. Dostupné také z: <https://www.mdpi.com/books/pdfview/book/1399>
2. LUPSOR-PLATON, Monica. 2020. *Ultrasound Elastography* [online]. IntechOpen [cit. 2021-04-15]. ISBN 978-1-83880-015-4. DOI: 10.5772/intechopen.80108. Dostupné také z: <https://www.intechopen.com/books/ultrasound-elastography>
3. NENADIC, Ivan Z. et al. 2019. *Ultrasound Elastography for Biomedical Applications and Medicine: Wiley Series in Acoustics Noise and Vibration* [online]. Wiley [cit. 2021-04-15]. ISBN 978-1-11902-152-0. DOI: 10.1002/9781119021520. Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/book/10.1002/9781119021520>
4. SIGRIST, Rosa M.S. et al. 2017. Ultrasound elastography: Review of techniques and clinical applications. *Theranostics* [online]. 7(5), 1303-1329 [cit. 2021-04-10]. ISSN 1838-7640. DOI: 10.7150/thno.18650. Dostupné také z: <https://www.thno.org/v07p1303.htm>

Pro dohledání aktuálních informací k tématu práce byl použitý standardní rešeršní postup s použitím vhodných klíčových slov a s pomocí booleovských operátorů. Při rešeršní činnosti byla použita následující klíčová slova v ČJ: ultrazvuková elastografie, ultrazvuk, ultrasonografie, elastografie, sonoelastografie, shear wave, elasticita a v AJ: ultrasound, ultrasonography, elastography, sonoelastography, shear wave, elasticity. Bylo vyhledáváno v databázích EBSCO, PubMed, ProQuest, Scopus a BMČ. Rešerše byla provedena ve vyhledávacím období 2015-2021, v českém, slovenském a anglickém jazyku. Bylo nalezeno 337 článků a na základě duplicitních článků, kvalifikačních prací a článků nesouvisejících s tématem práce bylo následně vyřazeno 280 článků. V práci bylo použito 15 článků z databáze EBSCO, 3 články z PubMedu, 3 články z ProQuestu, 28 článků ze Scopusu a 7 článků z BMČ. Také byl použitý jeden článek poskytnutý od vedoucího práce, jehož jsem spoluautorkou, a v současné době je přijatý k publikaci. Pro tvorbu bakalářské práce bylo použito celkem 57 dohledaných článků, z toho 5 v českém jazyce a 52 v anglickém jazyce.



# 1 Ultrazvuková elastografie

Počátky ultrazvukové elastografie se datují k počátku 80. let 20. století a název této metody byl poprvé použit v roce 1991 Ophirem a jeho spolupracovníky (Zemanová, 2016, s. 104). V poslední době byla metoda nadále vyvíjena a zdokonalována, aby dosáhla možnosti kvantitativního hodnocení tuhosti biologických tkání (Sigrist et al., 2017, s. 1303).

Tuhost tkáně můžeme popsat Hookeovým zákonem, kde používáme jako konstantu úměrnosti Youngův modul pružnosti (YM), neboli elasticitu v jednotkách kilopascal (kPa). Youngův modul pružnosti tahu/tlaku je poměr mezi vnějším homogenním stlačením a vyvolaným pnutím tělesa:  $E = S/e$  [kPa]. Platí, že čím vyšší je hodnota Youngova modulu, tím je tkáň tužší, a čím je nižší modul pružnosti, tím je tkáň pružnější, měkčí.

Ultrazvuková elastografie se dělí na statickou (kompresní) elastografii a na dynamickou elastografii (Zemanová, 2016, s. 105). Techniky ultrazvukové elastografie se také můžou dělit na nekvantitativní nebo semikvantitativní techniky, které představuje strain elastografie (SE) a na kvantitativní techniky, jejichž hlavní komerční implementací je shear wave elastografie (SWE) (Anvari et al., 2015, s. 709). U techniky SE je aplikován na tkáň normální tlak a je měřeno normální napětí tkáně paralelně k aplikovanému tlaku, zatímco u techniky SWE je provedení složitější. U 1D-TE (jednodimenzionální tranzientní elastografie) je aplikováno dynamické napětí pomocí mechanického vibračního zařízení a u pSWE (jednobodové shear wave elastografie) a 2D-SWE (dvoudimenzionální shear wave elastografie) je využíváno akustického tlaku vyvolaného v ultrazvukovém svazku. Vytvořené střížné vlny jsou následně měřeny kolmo k působení síle akustického záření a u 1D-TE je měření prováděno v souběžném postavení s excitací (Sigrist et al., 2017, s. 1306-1307).

## 1.1 Statická ultrazvuková elastografie

Při statické elastografii je vyšetřujícím provedeno homogenní stlačení povrchu těla pomocí ultrazvukové sondy, které následně vyvolá deformaci, kterou vidíme v zobrazované rovině. Statická elastografie nám poskytuje kvalitativní informace o tkáni, je závislá na vyšetřující osobě a špatně opakovatelná (Zemanová, 2016, s. 105).

Technika SE pouze hodnotí deformaci tkáně, proto je označována jako deformační elastografie. Deformace je charakterizována strain ratiem (SR), které se vypočítá jako poměr pnutí tkáně v oblasti zájmu (ROI) a pnutí v normální okolní tkáni stejné hloubky. Strain ratio vyjadřuje relativní tuhost, nikoliv absolutní Youngův modul pružnosti tkáně (Anvari et al., 2015, s. 709-710). SR je poměr napětí okolní normální referenční tkáně v oblasti zájmu a cílené

léze. Když je SR větší než 1, znamená to, že cílená léze je méně stlačitelná než normální referenční tkáň, což vypovídá o její zvýšené tuhosti ve srovnání s normální tkání (Sigrist et al., 2017, s. 1307).

Hlavní limitací této metody je závislost na vyšetřujícím, která vede k variabilitě mezi operátory, což činí tuto metodu méně reprodukovatelnou ve srovnání s technikami SWE. Také fyziologické faktory, jako jsou kardiovaskulární pulzace nebo dýchací pohyby v přilehlé tkáni může zvýšit variabilitu SE působením časově proměnných kompresních sil na oblast zájmu (Anvari et al., 2015, s. 709-710).

Statická ultrazvuková elastografie zahrnuje první tři vyvinuté generace ultrazvukové elastografie a existují dva přístupy pro strain zobrazování. První a druhá generace jsou podtypy SE, kde je využívána manuální komprese a vnitřní fyziologické pohyby, a třetí generace se nazývá strain zobrazování pomocí impulsu síly akustického tlaku (ARFI) (Sigrist et al., 2017, s. 1306).

### **První generace ultrazvukové elastografie - Manuální strain stress elastografie (SE)**

Manuální strain stress elastografie představuje první generaci ultrazvukové elastografie, při které vyšetřující sondou provádějí stlačení a uvolnění tkáně. Elasticita tkáně je určena na základě rozdílu ultrazvukového signálu před kompresí a po ní, signál je porovnáván na snímcích jdoucích za sebou ve zvolené oblasti zájmu a počítají se vzdálenosti těchto obrazů navzájem. Více stlačitelné oblasti jsou více elastické a méně tužší a jsou většinou zbarveny do modra, na rozdíl od méně stlačitelných tužších oblastí, které jsou zbarveny do červena. Strain stress elastografie je závislá na operátorovi, jeho zkušenostech a zručnosti, objevuje se množství artefaktů a není dobře reprodukovatelná (Zemanová, 2016, s. 106). Manuální komprese dobře funguje u povrchově uložených orgánů jako jsou prsní žláza či štítná žláza. První generaci zastupují firmy Hitachi, Esaote a Aloka (Sigrist et al., 2017, s. 1306).

### **Druhá generace ultrazvukové elastografie**

Tato metoda ultrazvukové elastografie je vylepšená a citlivější, zpracování signálu je stejné jako u předchozí generace, ale využívá rytmickou kompresi tkáně způsobenou fyziologickými pohyby ve vyšetřovaném těle, což jsou dýchání, pulzace cév či pohyb srdce. Hodnocení elasticity je špatně reprodukovatelné (Zemanová, 2016, s. 106). Díky nezávislosti na povrchově aplikované kompresi, lze druhou generaci použít i k hodnocení hlouběji uložených orgánů. Tento princip využívá řada firem, Toshiba, Siemens, GE, Phillips, Ultrasonix, Mindray nebo Samsung (Sigrist et al., 2017, s. 1306).

### **Třetí generace ultrazvukové elastografie (VTI/ARFI)**

Třetí generace využívá metodu Acoustic Radiation Forced Impulse Elastography (ARFI), která má dva způsoby využití. První způsob využití je Virtual Touch Tissue Imaging (VTTI), kdy je deformace vyvolána automaticky velmi výkonným akustickým impulzem elektrické sondy. Výstupem je kvalitativní hodnocení relativní tuhosti tkáně ve stupnici šedi, kdy světlé oblasti svědčí pro měkkou tkáň a tmavé oblasti pro tkáň tužší (Zemanová, 2016, s. 106). Posun v rámci oblasti zájmu se měří stejnými metodami jako u SE. Třetí generaci zastupuje firma Siemens (Sigrist et al., 2017, s. 1306-1307).

### **1.2 Dynamická ultrazvuková elastografie**

Shear wave elastografie využívá přechodné pulzy, které generují příčné vlnění. Poskytuje kvantitativní informace o elasticitě v reálném čase, elasticitu tkání vyjadřuje měřením rychlosti šíření střížné vlny. Po stlačení tkáně jsou mechanicky vyvolány příčné neboli střížné vlny, které jsou odezvou elastického odporu tkáně na mechanické nízkofrekvenční vibrace. Pokud můžeme změřit rychlost šíření střížné vlny ( $c$ ) a zároveň víme, že hustota tkání je konstantní ( $\rho$ ), tak můžeme vypočítat elasticitu ze vzorce:  $E = 3\rho c^2$ . Kapalina nemá elasticitu, z toho důvodu se v ní příčné vlny nešíří. Zhoubné léze vykazují tuhost v rozmezí 30-270 kPa, zatímco benigní ložiska a zdravá tkáň mají menší tuhost v rozsahu 1-70 kPa (Zemanová, 2016, s. 105).

Šíření střížných vln ve tkání je zobrazováno s ultrazvukovými technikami rychlostí až 20 000 snímků za 1 sekundu. Youngův modul pružnosti ve tkání odpovídá rychlosti šíření příčných vln, což umožňuje kvantitativní odhady tkáňového YM, které jsou obvykle zobrazovány jako barevné překrytí B-obrazu. Kvantitativní měření YM lze získat jako odhad v rámci oblasti zájmu. Poměr rychlosti střížných vln (SWR) je poměr rychlostí šíření vln v patologické tkáni a v okolní normální tkáni (Anvari et al., 2015, s. 710).

Výstupem SWE je překrytý B-obraz barevně kódovanou mapou, kdy barvy odpovídají různým hodnotám elasticity každého bodu tkáně. Používá se barevná škála od červené až do modré a většinou tužší tkáně jsou zbarveny teplými odstíny a měkčí tkáně studenými barvami. Modrá barva je standardním měřítkem a pomocí ní je zbarvena měkká solidní tkáň nebo viskózní tekutina v cystách. Tuhá tkáň je vybarvena červeně a žlutě. Odstíny šedi či černé výpadky znamenají ztrátu signálu střížných vln a představují čistou tekutinu například v cystě anebo také tuhou tkáň, kdy jsou vlny velmi slabé a jsou rychle propagovány do okolí a tlumeny. Rozlišovací schopnost obrazu je kolem 1 mm. Při měření je potřeba vyčkat alespoň 3 sekundy, aby došlo k ustálení SWE obrazu a teprve poté zmrazit, měřit a hodnotit (Zemanová, 2016, s. 107).

V současné době existují tři technické přístupy pro zobrazování pomocí shear wave elastografie. První z nich je jednorozměrná tranzientní elastografie, druhou představuje bodová shear wave elastografie a poslední je dvourozměrná shear wave elastografie.

### **1D tranzientní elastografie (TE)**

První komerčně dostupný systém zobrazování pomocí shear wave vyvinula firma Echosens s firemním názvem tranzientní elastografie FibroScan™. Jedná se o nejběžněji používanou a validovanou techniku k hodnocení jater. Sonda FibroScan™ je jediné zařízení, které obsahuje zároveň ultrazvukový měnič a mechanické vibrační zařízení. 1D-TE se používá bez přímého navádění pomocí B-obrazu, ačkoliv je to technika založena na ultrazvuku. Vyšetřující vybírá zobrazovanou oblast zájmu pomocí časově pohybového ultrazvuku na základě více linek v A-módu v čase v různých proximálních umístěních pro vytvoření obrazu s nízkou kvalitou. Poté mechanické vibrační zařízení působí vnějším vibračním úderem na povrch těla pacienta, které vyvolá vznik střížných vln šířící se paralelně tkáni. Stejná sonda pak použije A-režim k měření rychlosti vln a výpočtu YM. Měření obsáhne oblast tkáně přibližně 1x4 cm, což je více než 100x větší než průměrný objem vzorku biopsie. Měření elasticity pomocí 1D-TE zabere přibližně 5 minut (Sigris et al., 2017, s. 1306-1307).

### **Virtual Touch Quantification (VTQ/ARFI) - „jednobodová“, statická shear wave elastography (pSWE)**

Druhým způsobem využití ARFI je Virtual Touch Quantification (VTQ), při kterém vyvolá silný akustický impulz šíření příčné vlny velmi malou zvolenou oblastí zájmu. Při vyšetření probíhá ultrazvukové měření rychlosti střížné vlny a její střední hodnota se objeví na displeji, která je kvantitativně úměrná průměrné elasticitě tkáně v této oblasti zájmu. Pro dobrou reprodukovatelnost metody je nutno provést 10 po sobě jdoucích měření a poté jejich zprůměrování. Nejedná se o dynamický elastografický mód, ale jde o jednotlivá statická měření, u kterých není vytvářena mapa elasticity (Zemanová, 2016, s. 106). Na rozdíl od 1D-TE může být pSWE provedena na konvenčním ultrazvukovém zařízení s klasickou ultrazvukovou sondou. Tento typ měření elasticity přivedla na trh v roce 2008 firma Siemens a poté i Philips v roce 2013 (Sigris et al., 2017, s. 1306-1308).

### **Čtvrtá generace (2D-SWE) - SWE nebo VTIQ/ARFI**

Čtvrtá generace je takzvaně dynamická, real time shear wave elastography a je patentovaně chráněná u MultiWave sonografu-elastografu Aixplorer, výrobce SuperSonic Imagine. Sonda vydává vibrace a tím generuje pulzy akustického tlaku, které jsou vytvořené

fokusovaným ultrazvukovým paprskem a jsou fokusované do různých hloubek supersonickou rychlostí. Akustický tlak, nazývaný akustický vír, vybudí tkáň ležící pod sebou a působí na ně ve směru šíření, tkáň ale kladením odporu indukují mechanické vlny a příčné vlnění, které se již šíří transversálně.

Vzniklé příčné vlnění je velmi slabé, což ale umí eliminovat technologie SonicTouch™, která funguje na principu excitace a postupně fokusuje ultrazvukové svazky do různé hloubky tkáň. Zvyšuje amplitudu a vzdálenost šíření příčných vln tím, že koherentně sumuje vlny do tvaru takzvaného Machova kuželu, při současné minimalizaci akustického výkonu na bezpečnou úroveň. Čím více má ultrazvukový paprsek fokusačních zón, tím je umožněno vyvolání příčných vln ve více hloubkách tkáň.

Ve tkáních se střížné vlny šíří obvykle rychlostí 1-10 m/s, což odpovídá hodnotě elasticity 1-300 kPa. Taková rychlost je ale nevhodná pro dobu potřebnou k vytvoření jednoho snímku, vlny by vymizely a nebyly by zachyceny, proto vznikla ultrarychlá snímkovací frekvence s názvem Ultrafast™ zobrazení. Pro správné zachycení vln s dostatečnými detaily jsou potřebné snímkovací frekvence v řádech několika tisíců snímků za sekundu. Ultrafast zobrazení vysílá rovinné ultrazvukové vlny do tkáň v jednom jediném okamžiku k vybuzení celé zobrazované roviny a maximální snímkovací frekvence je ovlivněna časem, za který ultrazvuková vlna zdolá dráhu od sondy do tkáň a zase zpět. Toto velmi vysoké pulzní opakování frekvence pracuje v závislosti na hloubce a rychlosti ultrazvuku a také na typu tkáň. Ultrafast zobrazení umožňuje detailní sledování šíření střížných vln, které jsou vyvolány malými posuvy tkáň a jsou zaznamenány a kvantifikovány podobně jako u Dopplerovy metody. Rychlost šíření vln závisí na elasticitě tkáň. Kvantitativně se zobrazuje výsledná mapa rychlostí a obraz elasticity tkáň v kPa. Zpracování dat je velmi rychlé, proto je možné kontinuální obnovování obrazu elasticity v reálném čase (Zemanová, 2016, s. 106-107).

2D-SWE je v současné době nejnovější metoda zobrazování pomocí shear wave využívající akustického tlaku indukovaného v ultrazvukovém svazku. Technologii Shear Wave™ Elastography má pod záštitou firma SuperSonic Imagine (SSI) a technologii VTIQ/ARFI zastupují firmy Philips, Toshiba, GE a Siemens (Sigrist et al., 2017, s. 1306-1308).

## 2 Využití ultrazvukové elastografie

V lékařských oborech postupně vznikají standardy hodnot elasticity lidských tkání, mezi první patří prsní žláza, játra, prostata a štítná žláza. Probíhají studie se zobrazováním povrchového muskuloskeletálního systému, oblasti rekta a i v dalších oblastech medicíny jako je i kardiologie se začíná ultrazvuková elastografie významně prosazovat (Zemanová, 2016, s. 107).

### 2.1 Vyšetření struktur orbity

Gravesova-Basedowova choroba způsobuje endokrinní orbitopatii, což je chronické postižení orbitálních struktur způsobující nejen edém a fibrotické změny okohybných svalů. Tyto změny elastických vlastností svalů byly zkoumány pomocí SWE. U zdravých lidí se výsledná tuhost horního, dolního, vnitřního a vnějšího přímého svalu pohybovala na mediánové hodnotě  $20,3 \pm 3,0$  kPa, elasticita jednotlivých okohybných svalů se vzájemně od sebe neliší. U pacientů postižených endokrinní orbitopatií s edémem byla naměřena nižší hodnota mediánové tuhosti  $18,4 \pm 3,2$  kPa než u zdravých lidí, zatímco fibrotické změny vykazovaly vyšší tuhost  $34,6 \pm 7,5$  kPa. Nejčastěji postižený okohybný sval byl horní přímý sval a nejméně postižený byl zevní přímý sval. Tuhost okohybných svalů odpovídá stupni postižení způsobené endokrinní orbitopatií, které postupuje od edému přes zánětlivou infiltraci až k fibrotickým změnám, zařazením této metody do diagnostického procesu by došlo k ulehčení a upřesnění vyšetření pacientů. Ultrazvuková elastografie s metodou SWE by se mohla stát možností volby k vyšetření pomocí MR. V rámci studie byla měřena i tloušťka svalů a bylo zjištěno, že pomocí SWE je měření přesnější ve srovnání s konvenčním ultrazvukem díky lepšímu odlišení jednotlivých hranic svalů (Zemanová, 2019, s. 14-24).

SE a SWE byla použita také k hodnocení tuhosti optického nervu u zdravých lidí v porovnání s pacienty s roztroušenou sklerózou, což je chronické zánětlivé neurodegenerativní onemocnění postihující centrální nervový systém a zhoršené vidění je jeden z nejčastějších příznaků této nemoci. Elastogramy u pacientů se sklerózou byly významně odlišné od nepostižených zrakových nervů, pomocí SWE byla u nervů pacientů naměřena tuhost  $33,87 \pm 11,64$  kPa, u zdravých lidí  $10,381 \pm 3,48$  kPa a s mezní hodnotou 18,3 kPa odpovídající roztroušené skleróze dosáhla metoda vysoké senzitivity i specificity. Při měření tuhosti optického nervu u pacientů s roztroušenou sklerózou nezáleželo na tom, zda pacient měl předchozí zánět zrakového nervu či ne, u obou případů byla naměřeny podobné hodnoty. Metody ultrazvukové elastografie jsou schopny zachytit včasné varovné signály zasažení

zrakového nervu u pacientů s roztroušenou sklerózou. Zánět zrakového nervu je diagnostikován pomocí MRI, což je ale časově náročné a méně dostupné vyšetření vyžadující kontrast (Ínal et al., 2017, s. 39-43).

## 2.2 Vyšetření slinných žláz

Střední tuhost zdravé příušní žlázy je  $8,95 \pm 3,5$  kPa, u podčelistní žlázy střední tuhost dosahuje hodnot  $11,01 \pm 3,4$  kPa (Heřman et al., 2017, s. 321). Výsledky studií mají velký rozsah specifity a senzitivity v hodnocení příušních slinných žláz pomocí ultrazvukové elastografie. Heterogenitu studie ovlivňuje postup hodnocení, kvantitativní a semikvantitativní metody vykazují lepší výsledky než kvalitativní metody hodnocení, díky automatickému výpočtu ultrazvukového přístroje a tím pádem menší závislosti na operátorovi (Zhang et al., 2019, s. 725-734).

Studie využívající SE vykazují překrytí elastografického skóre u smíšených adenomů a karcinomů. Při hodnocení lézí slinných žláz pomocí SWE se ukázalo, že mukoepidermoidní karcinomy byly výrazně tužší (172 kPa) než ostatní nádory, ale jiné histopatologické typy karcinomů a lymfomů vykazují menší tuhost (12-15 kPa) než benigní sialomy a mnohdy také pleomorfní adenomy byly tužší (39 kPa) než Warthinovy benigní tumory (24 kPa). Metodou SWE tedy není možné rozlišit zhoubné a nezhooubné nádory slinných žláz (Heřman et al., 2015, s. 225). Maligní léze vykazují vyšší maximální hodnotu tuhosti a zároveň nižší minimální tuhost ve srovnání s benigními lézemi. Autoři článku používají jejich nově vytvořený koeficient variability tuhosti (CSV), což je poměr maximální a minimální tuhosti kruhové oblasti zájmu a jeví se jako silný a nejlepší ukazatel malignity ve srovnání s ostatními parametry SWE. Maligní tumory mají vysoký koeficient, zároveň ale tumory příušní slinné žlázy nižšího stupně vykazují významně nižší tuhost než tumory vyššího stupně a dlaždicobuněčné karcinomy, což snižuje sílu předpovědi díky možnému překryvu hodnot tuhosti zhoubných a nezhooubných útvarů, hlavně kvůli pleomorfním adenomům, které dosahují mnohdy vysokých hodnot tuhosti. Přestože SWE s CSV dokáže rozlišit benigní a maligní léze, tak nepřidává žádnou další hodnotu ke konvenční ultrasonografii v hodnocení příušní slinné žlázy a nezvyšuje její sílu předpovědi malignity (Heřman et al., 2017, s. 1-5). Ve studii využívající samostatně kontrastní index tuhosti (ECI) bylo u mezní hodnoty indexu větší než 3,5 s výjimkou pleomorfních adenomů dosaženo vyšší diagnostické přesnosti v předoperačním stanovením povahy lézí příušních slinných žláz než u parametrů konvenční ultrasonografie, při kombinování s klasickým ultrazvukem ale také nebylo dosaženo žádného zlepšení v diagnostické přesnosti. Je navrhováno používat USE jako dodatečný nástroj ke standardnímu ultrazvuku (Cantisani et al., 2017, s. 32-38).

## 2.3 Vyšetření lymfatických uzlin

Rozpoznání benigních nálezů mízních uzlin, které mohou představovat infekce či záněty, od maligních stavů, což může být primární či sekundární metastatické postižení uzlin je klinicky významné. Lymfatické uzliny mohou být postiženy metastázami již při velikosti menší než 5 mm, proto neinvazivní techniky jako výpočetní tomografie a magnetická rezonance stanovující malignitu převážně na základě velikostních kritérií nemají velkou úspěšnost, podobně i B režim ultrazvuku posuzující velikost, tvar, hustotu a rozlišení okrajů nedosahuje příliš velké senzitivity a specificity. U metastatického postižení je pomocí Dopplerovy metody zjištěna převládající periferní či ztracená vaskularizace oproti zdravým lymfatickým uzlinám, které mají vaskularizaci v hilu uzlin, Dopplerova metoda je ale omezená u malých uzlin a nezvyšuje citlivost vyšetření uzlin. Kontrastní ultrazvuk (CEUS) vykazoval u zhoubných lymfatických uzlin dostředivé nehomogenní zesílení s poruchami prokrvení ve srovnání s dostředivým stejnorodým zesílením u nezhooubných uzlin, ale byla zjištěna proměnlivost těchto výsledků, protože homogenně zvýšený kontrast vykazovaly jak maligní lymfomy, tak i uzliny s benigními reaktivními změnami.

V diagnostice maligních lymfatických uzlin je za zlatý standard považována bezpečná a dobře přijatelná aspirační biopsie tenkou jehlou navigovaná konvenčním ultrazvukem v případě povrchových uzlin anebo endoskopickým ultrazvukem v případě uzlin gastrointestinálního traktu a přilehlých oblastí. Biopsie může být zkomplikovaná podvzorkováním, krvácením, infekcí či ukládáním maligních buněk podél traktu jehly (track seeding). Blokáda podezřelé mízní uzliny primárním nádorem znamená relativní kontraindikaci při endosonograficky vedené biopsii, protože při průchodu jehlou nádorem by mohlo dojít k ovlivnění výsledků biopsie. U obou typů biopsií může vyjít falešně negativní výsledek způsobený ohniskovými infiltracemi, průměr metastatické infiltrace může být pouhé 4 mm.

Ultrazvuková elastografie je považována za další potenciální zobrazovací metodu, která by mohla pomoci v rozlišení benigních a maligních mízních uzlin. Metastaticky postižené uzliny vykazují větší tuhost než okolní tkáň a nezhooubné lymfatické uzliny, naopak benigní reaktivní změny nemění tuhost uzlin a nejsou rozlišitelné od okolí. Zjištěné vlastnosti elastografie by mohly znamenat pomoc v navigování biopsie či výběru uzlin k histologickému vyšetření (Sigrist et al., 2017, s. 1324-1325). Ultrazvuková elastografie vykazuje lepší provedení diagnostiky na rozdíl od CEUS, který není doporučen pro hodnocení lymfatických uzlin. Existují důkazy o vyšetření povrchových lymfatických uzlin s použitím ultrazvuku



s metodami SE a SWE a o hodnocení mediastinálních lymfatických uzlin pomocí endoskopického ultrazvuku pouze s použitím SE. Nejčastěji popisovaná je SE, protože je široce dostupná ve většině obchodních systémech, ale v poslední době byla zveřejněna metaanalýza také s hodnocením metody SWE (Săftoiu et al., 2019, s. 437).

Strain elastografie lymfatických uzlin je hodnocena pomocí poměru napětí normální tkáně a vyšetřované uzliny (strain ratio) nebo elastografického skóre, podobně jako v hodnocení SE štítné nebo prsní žlázy. U lymfatických uzlin se jako referenční tkáň používá okolní podkožní tuk nebo zdvihač hlavy (m. sternocleidomastoideus). Elastografické skóre může být čtyř až osmi stupňové a stanovuje se na základě barevného modelu elastogramu. Většina nedávných studií při rozlišování benigních nálezů, jako jsou reaktivní, histiocytární nekrotizující lymfadenitida či tuberkulóza, a maligních lymfatických uzlin pomocí strain elastografie ukazují slibné výsledky, ale existují i studie zpochybňující tyto nadějně závěry. Strain ratio vykazuje vyšší citlivost, naopak elastografické skóre vyšší specifitu při studiích zahrnující krční, podpažní a tříselné uzliny. Ve studii pouze krčních mízních uzlin je senzitivita vysoká oproti nízké specifitě obou parametrů, což bylo vyvráceno ve studii zvětšených lymfatických uzlin se stoprocentní specifitou elastického skóre a také vyšší hodnotou senzitivity při rozlišení benigních a metastaticky postižených mízních uzlin (Sigrist et al., 2017, s. 1325). Hodnocení povrchních lymfatických uzlin s užitím SE má smíšené výsledky. Nedávné metaanalýzy představují vysokou přesnost v rozlišení nezhoubných a zhoubných mízních uzlin. Specifita obou parametrů je lepší než senzitivita a zároveň strain ratio dosahuje vyšších hodnot senzitivity i specifity než elastografické skóre (Săftoiu et al., 2019, s. 437). Metaanalýza studií SE v detekci zhoubných krčních mízních uzlin vykazuje senzitivitu 74 % a specifitu 90 % a dosahují lepších hodnot než klasická ultrasonografie, kde se používá kritérium poměru délky dlouhé osy ke krátké ose (Heřman et al., 2015, s. 224). SE může pomoci v rozlišení maligních krčních mízních uzlin od benigních, ale problémy vytváří lymfomy, které vykazují nízkou tuhost, a tuberkulózní lymfadenitida, která naopak zvyšuje tuhost mízních uzlin (Choi, Lee, Baek, 2015, s. 160). Ultrazvuková elastografie představuje dobrou metodu v hodnocení středně těžkých až pokročilých stádiích lymfedémů dolních končetin, založenou na skutečnosti, že napětí kůže a podkožních tkání je menší a vykazují vyšší tuhost než u končetin zdravých lidí bez lymfedému, rozpoznání nižších stádií lymfedému je nutno ověřit budoucími studiemi (Forte et al., 2019, s. 1-7).

Endoskopická SE má při zobrazování lymfatických uzlin v blízkosti gastrointestinálního traktu smíšené výsledky, někdy je dokázána dominantnost této metody v hodnocení malignity uzlin nad B-módem, naopak jiná studie ukazuje horší výsledky než standardní endoskopická

ultrasonografie (Sigrist et al., 2017, s. 1325). U nejnovější metaanalýzy endoskopická SE prokázala senzitivitu 88 % a specificitu 85 % pro rozlišení benigních a maligních uzlin a studie zahrnující pacienty vyšetřované endobronchiálním ultrazvukem (EBUS) měly podobné výsledky (Săftoiu et al., 2019, s. 437).

Při zkoumání klinické významnosti EBUS real-time elastografie v rozlišení maligních nitrohručních mízních uzlin od benigních bylo dosaženo vysoké senzitivity (93 %) a specificity (85 %) této metody, vykazující dobrý diagnostický výtěžek. EBUS elastografie má dobrou negativní prediktivní hodnotu, zatímco pozitivní prognostická hodnota je menší než u aspirační biopsie tenkou jehlou navigovanou pomocí EBUS, kompenzující nedostatky EBUS elastografie. Semikvantitativní metoda hodnocení vykazuje vyšší specificitu než kvantitativní metoda, u senzitivity nebyl nalezen rozdíl mezi těmito dvěma metodami hodnocení (Chen et al., 2018, s. 1251-1256). Většina studií popisuje dobrou senzitivitu a specificitu EBUS elastografie pro rozlišení benigní a maligní lymfadenopatie. Studie in vitro porovnávající histopatologické obrázky s předoperačně pořízenými elastogramy pomocí EBUS vykazují korelaci mezi tuhými oblastmi na elastogramu a oblastmi s buněčnými maligními infiltracemi z histologického vyšetření (Mittal et al., 2019, s. 149-153).

Studii používaných shear wave elastografií je málo, ale tento počet neustále narůstá. Při hodnocení malignity krčních mízních uzlin ve srovnání s aspirační biopsií jako referenční metody 2D-SWE dosahuje i stoprocentní specificity, ale hodně nízké senzitivity, oproti tomu u pSWE je citlivost zvýšená, ale současně klesá specificita (Sigrist et al., 2017, s. 1326). SWE v metaanalýze hodnocení krčních lymfatických uzlin dosáhla 81% senzitivity a 85% specificity pro stanovení malignity a byla zjištěna heterogenita mezi studii, hlavně u souhrnné specificity, která byla přepočítána na 88 %, heterogenita je ovlivněna prevalencí zhoubných mízních uzlin. Hodnoty citlivosti a specificity při použití ARFI nebo SSI dosahovaly u obou metod podobných hodnot (Suh et al., 2017, s. 222-229). Zdravé lymfatické uzliny vykazují hodnoty střední tuhosti  $9,46 \pm 4,6$  kPa (Heřman et al., 2017, s. 321). Při použití SWE byla tuhost maligních krčních uzlin vyšší než u benigních mízních uzlin a při mezní hodnotě střední tuhosti 30,2 kPa dosáhla senzitivity 41,9 % a 100% specificity. SWE může zlepšit diagnostiku krčních uzlin v kombinaci s běžnými ultrazvukovými znaky malignity (Heřman et al., 2015, s. 225). Při užití mezní hodnoty maximální tuhosti 19,4 kPa vykazovala senzitivita hodnotu 91 % a specificita 97 %. Zhoubné léze jsou značně tužší, s výjimkou lymfomu, který dosahuje nízkých hodnot tuhosti jako je tomu u nezhooubných mízních uzlin. Maximální tuhost měřená pomocí SWE je významným ukazatelem malignity krčních mízních žláz, nejvyšší senzitivity a specificity bylo dosaženo s použitím kombinace demografických charakteristik, zejména

věku a pohlaví, standardních ultrazvukových parametrů a elastografických kritérii, ale SWE má pouze malý vliv na celkové zvýšení síly předpovědi malignity (Heřman et al., 2019, s. 1-5).

Při hodnocení podpažních mízních uzlin pomocí obou metod ultrazvukové elastografie byla při studii uváděna citlivost 82,8 % a specifická 69,6 %, u shear wave elastografie byla stanovena mezní hodnota 1,44 m/s a při užití pouze strain elastografie v diagnostice malignity byla zjištěna nižší senzitivita, ale vyšší specifická v porovnání s užitím obou metod zároveň. Studie porovnávající diagnostickou užitečnost sonoelastografie a B-módu neprokázala žádné významné zlepšení přidáním elastografie ke konvenčnímu ultrazvuku (Săftoiu et al., 2019, s. 428-429). Ultrazvuková elastografie byla zkoumána v posouzení podpažních mízních uzlin u pacientek s karcinomem prsu. SE i SWE vykazovaly relativně vysoké hodnoty senzitivity i specifické, nejnižší diagnostickou přesnost prokázala metoda SE, nejvyšší specifické dosáhly hodnoty maximální tuhosti měřené pomocí SWE, zatímco nejlepší senzitivitu měly hodnoty střední tuhosti (Wang et al., 2020, s. 320.e1-320.e5).

Studie naznačují užitečnost ultrazvukové elastografie při hodnocení malignity u povrchových i hlubokých, přilehlých zažívacímu traktu, lymfatických uzlin. Pro zvýšení přesnosti vyšetření může být elastografie použita v kombinaci s B-módem. Endosonografická ultrazvuková elastografie může být užitečná při relativní kontraindikaci biopsie. Limitace této metody představují některé maligní mízní uzliny, týká se to lymfatických uzlin lymfomů, které nemají zvýšenou tuhost, a nestandardizace technik. Dostupné studie jsou také omezené malou velikostí vzorků a zkrácením výběru, proto je nutné provést výzkumy s větším počtem vzorků (Sigrist et al., 2017, s. 1326). Je pravděpodobnější, že ultrazvuková elastografie bude užitečnější pro cílení biopsie pokud je přítomno více lymfatických uzlin než pro diferenciální diagnostiku zhoubných uzlin. Při EUS může dojít k relativnímu vyčerpání okolní tkáně, včetně gastrointestinální stěny, jako normální referenční hodnoty pro výpočet SR (Săftoiu et al., 2019, s. 437).

## **2.4 Vyšetření štítné žlázy a příštítných tělísek**

V populaci je vysoká prevalence výskytu uzlů štítné žlázy, navzdory tomu pouze 4-8 % z nich představuje maligní uzly diagnostikované biopsií. Důležitá je včasná diagnostika, protože s vývojovým stádiem nemoci se zhoršuje mortalita a morbidita rakoviny štítné žlázy. Pomocí ultrazvuku v B-módu objevíme charakteristiky léze naznačující malignitu, mezi něž patří nepravidelné okraje, větší délka než šířka útvaru, výrazná hypoechogenita či mikrokalcifikace a na základě těchto vlastností je potvrzena nebo vyvrácena malignita nálezu pomocí aspirační biopsie tenkou jehlou (FNAB). FNAB je sice považována za standard při

diagnostice maligních tyreoidálních uzlů, ale zůstává určitý podíl uzlů, které jsou dle aspirační biopsie i opakovaně hodnoceny jako nedagnostické nebo neurčité. Největší problém představují folikulární nádory, které vyžadují totální tyreoidektomii, a je u nich obtížné stanovit malignitu pomocí aspirační biopsie, jádrové biopsie či dokonce analýzy zmrazeného řezu (Sigrist et al., 2017, s. 1318). FNAB dosahuje vysoké senzitivity, ale může být ovlivněna několika faktory, mezi které patří odborné znalosti lékařů či cytopatologů. Při 10-15 % biopsiích je odebráno nedostatek tkáně pro diagnostiku a u dalších 10-20 % je nalezen folikulární novotvar, u kterého může být vyžadováno diagnostické resekce pro rozlišení mezi adenomem a karcinomem. Ultrazvuková elastografie štítné žlázy zlepšuje preciznost konvenční ultrasonografie především u tyreoidálních uzlů menších než 10 mm a u multinodulárních chorob, čímž se případně snižuje počet nepotřebných aspiračních biopsií a diagnostických zákroků (Anvari et al., 2015, s. 710). Fokální nebo difúzní tuhost štítné žlázy zvyšují chronické zánětlivé onemocnění štítné žlázy nebo maligní nádory, USE je potencialem ukazatelem těchto odchylek od normálu a může pomoci při klinickém rozhodování.

V nedávné době se objevil koncept hodnocení nazývaný systémem třídění či hlášení s názvem TIRADS, který umožňuje třidit tyreoidální uzly do kategorií podle jejich ultrazvukového vzoru, což může pomoci k přesnému odhadu rizika malignity podle ultrazvuku a výběru uzlů s vysokým rizikem k FNAB (Săftoiu et al., 2019, s. 430)

SE se začala klinicky používat k hodnocení uzlů štítné žlázy nejméně od roku 2005 (Anvari et al., 2015, s. 711). SE štítné žlázy můžeme rozdělit podle typů podnětů a skórovacích systémů. Nejčastěji je prováděno vnější stlačení pomocí vyšetřovací sondy, druhou možností je využití pulzace karotické tepny k vyvolání pohybu štítné žlázy, což je zkoumáno se slibnými výsledky. K hodnocení používáme dva kvalitativní klasifikační systémy, první z nich je čtyřstupňový Asteria criteria, který se podobá hodnotícímu systému u prsní žlázy a je založen na míře tuhosti tkáně, následující je pětibodové skóre Rago criteria, a také je používán semikvantitativní index tuhosti štítné žlázy, který je založen na poměru napětí v okolní normální tkáni a uzlu štítné žlázy. Studie vykazují smíšené výsledky, někdy senzitivita a specificita SE přesahovala úspěšnost B-módu, v jiném případě tomu bylo naopak, některé studie podporují diagnostiku maligních uzlů pomocí kombinace těchto dvou metod, jiné upřednostňují samostatný B-mód. Různorodé výsledky studií mohou být způsobeny rozdílnými populacemi a vyřazovacími kritérii, proto k posouzení klinické hodnoty SE v popisu uzlů štítné žlázy jsou nutné další prospektivní studie s větší velikostí zkoumaného souboru lézí (Sigrist et al., 2017, s. 1318-1319). Oproti tomu výsledky metaanalýzy 31 studií vykazují u elastografického skóre souhrnnou citlivost 0,79 a specificitu 0,77, u strain ratia dosahují

citlivosti 0,85 a specificity 0,8, z toho plyne dobrá interpretace výsledků při rozlišení benigních a maligních uzlů štítné žlázy a může případně pomoci při snížení počtu nepotřebných biopsií. SE není vhodná u diagnostiky multinodulárních onemocnění, protože na elastogramech založených na kompresi často od sebe nelze rozlišit jednotlivé uzlíky. Nevhodné použití této metody je u převážně cystických uzlin nebo uzlin obsahujících kalcifikace, u nichž nelze provést přesné měření a vytváří artefakty na elastogramu (Anvari et al., 2015, s. 711). Nejnovější metaanalýza 13 studií SE vykazovala citlivost v rozmezí 48-97 % a specificita se pohybovala mezi 64-100 %, se souhrnnou senzitivitou 84 %, specificitou 90 % a přesností 94 %. Nebyla prokázána shoda mezních hodnot pro strain ratio, byly navrženy hodnoty od 1,5 pro benigní uzliny až po 5 pro maligní léze, ale byla prokázána menší variabilita této charakteristiky mezi pozorovateli a je snadnější pro naučení oproti jednoduchým barevným vzorům. Důležité zjištění je, že většina studií byla provedena v populacích s vysokou prevalencí maligních uzlin, u nízkorizikové populace má SE nižší citlivost a specificitu. Kromě papilárních karcinomů mohou nádory štítné žlázy vykazovat neočekávané nízké hodnoty tuhosti (Săftoiu et al., 2019, s. 430). Léze s elastografickým skórem  $\geq 3$  znamenají podezření z malignity, taková hodnota vykazuje vysoké hodnoty senzitivity, specificity i přesnosti, která je vyšší než při využití standardních kritérií ultrazvuku. Jednotlivé histopatologické typy lymfomů a karcinomů štítné žlázy jsou detekovány s různou spolehlivostí pomocí ultrazvukové elastografie (Heřman et al., 2015, s. 224).

SWE při hodnocení malignity tyreoidálních uzlů je založena na porovnávání kvantitativních parametrů tuhosti, jako je rychlost šíření střížných vln (SWV) či poměr rychlosti šíření vln (SWR) v normální tkáni a uzlíku štítné žlázy. První nadějně výsledky studie s použitím SWE byly zveřejněny v roce 2012. Při hodnocení diagnostiky maligních uzlů byla pro mezní hodnoty rychlosti šíření 2,55-2,87 m/s vykazována senzitivita 65,9-96,8 % a specificita 66,7-96,0 % a pro hodnoty SWR 1,32-1,59 citlivost 91,9-63,6 % a specificita 75,0-81,7 % s vysokou hodnotou korelačních koeficientů mezi pozorovateli. Morfologické hodnocení virtuálního dotykového zobrazení (VTI) vykazovalo senzitivitu 87-71,6 % a specificitu 83,4-95,8 % s nižší korelací mezi pozorovateli než u SWV. VTI parametry a Youngův modul pružnosti mají lepší výsledky v diagnostice než standardní ultrasonografie a lze je pokládat za nezávislé proměnné pro předpověď malignity v uzlech štítné žlázy. Při použití Youngova modulu vypočítaného z rychlosti šíření střížných vln byla pro mezní střední hodnotu tuhosti uzlu 34,5-65 kPa v diagnostice zhoubných uzlin hlášena citlivost 76,9-90,3 % a specificita 64,1-93,9 % (Anvari et al., 2015, s. 711-712). Vyšší mezní hodnoty dosahují vyšší senzitivity a specificity v detekci karcinomu štítné žlázy pomocí SWE, výsledky studií jsou

odlišné, ale celková senzitivita a specificita byla podle metaanalýzy 84 % a 90 % (Heřman et al., 2015, s. 224). U zdravé štítné žlázy byla naměřena střední tuhost  $9,46 \pm 3,6$  kPa (Heřman et al., 2017, s. 321). Střední míra elasticity se u benigních uzlů pohybuje v rozmezí 15,3-28 kPa, zatímco u maligních lézí se pohybuje v rozsahu 19,6-52,18 kPa s mezní hodnotou 26,6-65 kPa. Z důvodu studií zahrnující uzliny velikosti 2-71 mm a většinou papilární karcinomy mají mezní hodnoty velký rozsah a není možné stanovit jedinou prahovou hodnotu. U nejnovější metaanalýzy se mezní hodnoty pohybovaly v rozmezí 26,6-85,2 kPa a došlo k závěru, že 2D-SWE má poměrně dobrou přesnost v diagnostice, přestože senzitivita a specificita jsou průměrné. Studie využívající ARFI uvádí možnost hodnocení tuhosti tkáně touto metodou a střední SWV zhoubných uzlin se pohybovala v rozsahu 3,13-3,9 m/s, s mezní hodnotou 2,15-3,77 m/s (Săftoiu et al., 2019, s. 430-431). Výsledky nedávných studií vykazují také slibné výsledky SWE při odlišení benigních a maligních tyreoidálních uzlů, při použití pSWE se senzitivita pohybovala mezi 80-86,3 % a specificita mezi 85-89,5 %. Výrazně důležité je zjištění, že SWE může být nápomocná při obtížné diagnostice i klinické léčbě malignity folikulárních novotvarů, pokud by byla charakteristika folikulárních novotvarů lépe určena již před operací, v mnohých případech by stačila hemi-tyreoidektomie a pacient by byl ušetřen doživotní substituce hormonů štítné žlázy kvůli zbytečné totální tyreoidektomii (Sigrist et al., 2017, s. 1319-1320). Při použití malé oblasti zájmu (ROI) by tato oblast neměla být umístěná do části uzlíku, která obsahuje kalcifikace, cystickou degeneraci či krvácení, měření také může být ovlivněno v blízkosti pulzující krční tepny, proto v těchto případech by výsledky měly být interpretovány opatrně a nejlépe v kombinaci s konvenční ultrasonografií (Anvari et al., 2015, s. 712). Zajímavostí je výsledek nedávné metaanalýzy, citlivost SE a SWE se významně neliší, ale SE má větší specificitu a přesnost než SWE (Săftoiu et al., 2019, s. 431). Při srovnání SE, 2D-SWE a pSWE s využitím ARFI zobrazení bylo zjištěno, že SE má nejmenší diagnostickou kvalitu a nejvýznamnější rozdíl v kvalitě byl právě mezi SE a ARFI. Mezi specificitou jednotlivých typů elastografie nebyl nalezen významný rozdíl, zatímco senzitivita byla značně nejnižší u SE (Kyriakidou et al., 2018, s. 11). Při kombinaci SWE a ultrazvukových charakteristik malignity nebyly nalezeny značně lepší výsledky přidáním SWE k B-módu. Přestože SWE umí dobře rozlišit zhoubný a nezhooubný uzel, tak přínos elastografie v diagnostice uzlů štítné žlázy je sporný a mnohdy jsou ultrazvukové parametry dostačující (Sedláčková et al., 2019, s. 109-112).

U pacientů s Graves-Basedowovou chorobou vykazuje štítná žláza vyšší tuhost než u zdravé skupiny, SWE s mezní hodnotou 15,45 kPa dosáhla senzitivity 56,8 % a specificity 71,1 %. Délka trvání nemoci, velikost štítné žlázy, tuhost istmu žlázy a hodnoty protilátek proti

tyreoperoxidáze, proti tyreoglobulinu a proti TSH receptorům pozitivně korelují se střední hodnotou modulu pružnosti. Zatímco věk, pohlaví a hodnoty tyroxinu, trijodthyroninu a tyreotropního hormonu jsou v nepřímé závislosti s hodnotami tuhosti (Li et al., 2019, s. 950-953). Hashimotova choroba také zvyšuje tuhost štítné žlázy, pomocí SWE s využitím ARFI byla u pacientů s chronickou autoimunitní tyreoiditidou naměřena střední rychlost šíření vln  $2,56 \pm 0,30$  m/s, zatímco u kontrolní skupiny  $1,63 \pm 0,12$  m/s. Nejlepší diagnostické přesnosti dosáhla mezní hodnota rychlosti 2,42 m/s, SWE může pomoci v diagnostice a také ve sledování léčby u pacientů s Hashimotovou strumou (Hekimoglu et al., 2015, s. 322-325).

Štítná žláza postižená difuzním onemocněním štítné žlázy u předběžných studiích vykazovala větší tuhost než normální zdravá tyreoidální tkáň, ale je nutné tuto diagnostickou informaci ověřit pomocí větších studií. USE by mohla být užitečná při diagnostice lymfomů štítné žlázy či nádorových uzlin na pozadí difuzního onemocnění, navíc umožňuje zobrazovat rozložení difuzních onemocnění, čímž nabízí případný zobrazovací biomarker ke sledování těchto nemocí (Anvari et al., 2015, s. 712). Úloha SE při detekci zhoubných uzlů na pozadí difuzního onemocnění nebyla stále ověřena (Săftoiu et al., 2019, s. 430). Podle jedné studie SWE vykazují štítné žlázy postižené difuzním onemocněním značně vyšší tuhost, nicméně druhá studie neprokazuje staticky významný rozdíl v hodnotách tuhosti oproti zdravým jedincům (Heřman et al., 2015, s. 224).

Štítná žláza je po prsní žláze druhá nejrozsáhleji zkoumaná mimojaterní aplikace ultrazvukové elastografie (Săftoiu et al., 2019, s. 431). I přes různé limitace jsou výsledky studií této neinvazivní metody povzbuzující a nabízí doplňující informace k vyšetření v B-módu při rozlišení benigních a maligních uzlin štítné žlázy. Důležitou pomoc představuje v diagnostice folikulárních malignit, pokud aspirační biopsie vykazuje neurčité výsledky. K získání širokého klinického uplatnění dosažených slibných výsledků je potřeba dalšího prověření pomocí velkých kohortních prospektivních studií a standardizace technik (Sigrist et al., 2017, s. 1320). Významnost v diferenciální diagnostice tyreoidálních uzlů zůstává nejasná, zatímco evropská asociace považuje elastografii jako doplňkový nástroj k hodnocení uzlů pro biopsii, zejména díky vysoké negativní prediktivní hodnotě, tak americká a korejská asociace nepovažují tuhost za ukazatele malignity (Săftoiu et al., 2019, s. 431). Výsledky metaanalýzy podle diagnostického poměru šancí vykazují vyšší diagnostickou přesnost u malignit štítné žlázy při použití CEUS než při SWE (Huang et al., 2019, s. 15).

Pro předoperační hodnocení metastatického postižení lymfatických uzlin není dostupný žádný systematický přehled. Studie zkoumaly SWE k předpovědi metastatického rozsevu z rakoviny štítné žlázy. Bylo zjištěno, že při mezní hodnotě střední tuhosti 29 kPa byla

senzitivita 66,67 % a specificita 72,62 %, zatímco s kombinací B-modu se senzitivita zvýšila na 98,04 % a specificita snížila na 45,45 % s vyšší diagnostickou efektivitou. Jiní autoři tvrdí, že nejlepší parametr SWE pro předpověď metastáz je mezní hodnota maximální tuhosti 40 kPa, která vykazuje senzitivitu 80 %, specificitu 93,1 % a nejvyšší hodnotu AUROC 0,918 (Săftoiu et al., 2019, s. 437). Při zkoumání postižení centrálního kompartmentu krku metastázami z papilárního karcinomu štítné žlázy pomocí SWE byly hodnoty tuhosti vyšší u pacientů s pozitivním nálezem, zejména hodnoty maximální tuhosti vykazují značně vyšší hodnoty. Kombinace SWE a B-módu vykazuje vyšší diagnostickou přesnost v předoperační diagnostice postižení kompartmentu centrální mízní uzliny než samostatný konvenční ultrazvuk. Mikrokalcifikace, extrathyroidální rozšíření, multifokalita ložisek a hodnoty maximální tuhosti vyšší než 59 kPa jsou nezávislými rizikovými faktory pro předpověď zasažení lymfatických uzlin metastázami. Nejlepších výsledků dosahovaly mezní hodnoty maximální tuhosti 59 kPa, střední tuhosti 40,9 kPa a u minimální tuhosti 23,6 kPa. Zároveň bylo prokázáno, že Hashimotova tyreoiditida nemá vliv na diagnostický výkon předoperačního posouzení lymfatických uzlin (Li et al., 2021, s. 1-4).

SWE s využitím metody VTIQ byla použita ve studii lézí příštítných tělísek. Při měření rychlosti šíření střížných vln v příštítných tělískách byla odhalena u parathyroidních adenomů vyšší střední hodnota rychlosti ( $2,16 \pm 0,33$  m/s) ve srovnání s hyperplazií příštítných tělísek ( $1,75 \pm 0,28$  m/s) a krčních mízních uzlin ( $1,86 \pm 0,37$  m/s). Mezní hodnota rychlosti 1,92 m/s dosáhla v diagnostice adenomů 80% senzitivitu a 82% specificitu, tato metoda může přispět k diferenciální diagnostice adenomů, hyperplazie příštítných tělísek a krčních lymfatických uzlin (Polat et al., 2017, s. 386-390).

## 2.5 Vyšetření prsní žlázy

Rakovina prsu se nachází na prvním místě v žebříčku malignit u žen, ale její včasná diagnostika v rámci screeningu může znamenat i možnost úplného vyléčení. Mamografie a ultrazvuk jsou hlavní metody určené ke screeningu karcinomu prsu, která jsou ale omezena falešnou negativitou mamografického vyšetření či nízkou specificitou B-módu, a proto jako doplňkový nástroj ke zlepšení neinvazivní diagnostiky prsní léze řadíme ultrazvukovou elastografii. V některých studiích měla ultrazvuková elastografie dokonce přesnější diagnostické výsledky než mamografie či B-mód ultrazvuku (Sigrist et al., 2017, s. 1315).

Ultrazvuková elastografie se používá k rozlišení benigních a podezřelých ložiskových lézí, přičemž nezhoubné útvary mají menší tuhost než maligní léze. SE i SWE zlepšují obecně vysokou senzitivitu a specificitu systému BIRADS. Oba typy ultrazvukové elastografie jsou



doporučovány jako doplňkové metody k běžnému vyšetření pomocí B-zobrazení (Săftoiu et al., 2019, s. 428).

Při provádění SE existuje několik parametrů, dle kterých můžeme hodnotit benignitu či malignitu, mezi tři nejčastější charakteristiky řadíme Tsukuba score (elastografické skóre), EI/B ratio (poměr šířky nebo délky léze) a strain ratio (Sigrüst et al., 2017, s. 1315). Tsukuba score je také známé pod názvem Itoh score nebo Ueno score. Vizuální hodnocení může být prováděno i pomocí strain histogramů, což je semikvantitativní metoda stejně jako strain ratio. Elastogram by měl obsahovat samotnou lézi, žláznatou tkáň a okolní tuk, což platí i u SWE (Săftoiu et al., 2019, s. 428). Tsukuba score je široce používaná, pětibodová barevná stupnice založená na mapě tuhosti vyšetřované tkáně a jejího pozadí, na základě vztahu tuhosti léze k okolí se útvar začlení do jednoho z pěti stupňů. Vyšší skóre znamená větší pravděpodobnost malignity, první tři stupně odpovídají spíše nezhoubné lézi a u čtvrtého a pátého stupně se již provádí biopsie (Sigrüst et al., 2017, s. 1315-1316). Jako nejlepší mezní hodnota pro rozlišení benigní a podezřelé léze se ukázalo skóre mezi třetím a čtvrtým stupněm (Săftoiu et al., 2019, s. 428). EI/B ratio představuje poměr velikosti léze měřené na elastogramu a v B-módu, tento parametr je založen na zjištění, že příčný průměr benigní léze je menší na elastogramu, naopak u malignity je příčný průměr menší v B-módu. EI/B ratio dosáhlo ve studii výborné stoprocentní senzitivity a také vysoké specifity, když byla mezní hodnota nastavena na hodnotu 1. Strain ratio představuje poměr tuhosti v lézi a v podkožním tuku, díky konstantnímu modulu pružnosti tuku při různých kompresích tento poměr odráží relativní tuhost lézí. Obě poměrové charakteristiky jsou široce zkoumány s dobrými výsledky senzitivity a specifity (Sigrüst et al., 2017, s. 1316). Při studii s využitím strain ratio byla určena optimální mezní hodnota 2,24 a bylo uvedeno, že čím vyšší je hodnota poměru, tím vyšší je i riziko malignity. Bylo zjištěno, že mezní hodnota není srovnatelná se systémy od různých prodejců. V nedávné metaanalýze vykazovalo strain ratio citlivost 88 % a specifitu 83 %. Ukázalo se, že přidáním SE k B-módu se zvyšuje specifita vyšetření až na 97 % a pomáhá předcházet zbytečným biopsiím. Anechogenní léze s tekutým obsahem se zobrazují jako typický třívrstvý vzor ech nazývaný Blue Green Red (BGR) znak (Săftoiu et al., 2019, s. 428). SE je efektivnější než Dopplerova metoda a mezi charakteristikami SE je Tsukuba elastografické skóre nadřazeno EI/B poměru a strain ratio. EI/B ratio s mezní hodnotou 1,05 dosáhlo podobně dobré senzitivity a specifity jako strain ratio s mezní hodnotou 1,90, přičemž strain ratio má lepší celkovou diagnostickou kvalitu. Přidáním elastografického skóre k vyšetření v B-módu bylo dosaženo zlepšení diagnostického výkonu v hodnocení lézí prsu (Ranjekesh et al., 2020, s. 215-221).

Nálezny pomocí SWE můžou být měřeny buď v m/s nebo v kPa, záleží na užívaném systému (Săftoiu et al., 2019, s. 428). Rychlost smykové vlny nebo Youngův model pružnosti v provedení SWE je možno měřit buď jako jednu hodnotu v malé pevné oblasti zájmu (ROI) nebo pro každý pixel v zorném poli (FOV), vytvářející barevnou mapu. Barevná škála u ultrazvukové elastografie prsa se obvykle pohybuje v rozmezí 0-180 kPa (Sigrist et al., 2017, s. 1316). Normální hodnoty tuhosti ve všech čtyřech kvadrantech prsu jsou  $30,68 \pm 9,11$  kPa a v oblasti bradavky 31,35 kPa. Tuhost je v nepřímé závislosti s věkem pacientek, protože vlivem stáří je prsní parenchym nahrazen tukem, který má výrazně menší tuhost než parenchym (Syed, Qureshi, Devrajani, 2020, s. 3). Maligní tumory jsou více heterogenní a tužší než nezhoubné nádory a zvyšující se tuhost odpovídá zvyšujícímu se stupni malignity a zdá se, že nejvýraznější tuhost je na okrajích lézí (Săftoiu et al., 2019, s. 428). Pomocí SWE byly u benigních lézí naměřeny hodnoty tuhosti menší než 200 kPa a u zhoubných lézí hodnoty dosahovaly hodnot až 300 kPa (Syed, Qureshi, Devrajani, 2020, s. 10). Nejlepšího diagnostického výkonu dosahují hodnoty maximální tuhosti a poměr hodnot elasticity léze a okolního tuku. Senzitivita těchto dvou parametrů je podobná, ale poměr elasticity vykazuje vyšší specifitu než hodnota maximální tuhosti (Youk, Gweon, Son, 2017, s. 304). Několik studií ověřilo užitečnost SWE k rozlišení prsních lézí a byla prokázána vysoká specifita a senzitivita středních a maximálních hodnot tuhosti, což jsou nejužívanější parametry. Některé studie posuzovaly také změnu výkonnosti B-módu při hodnocení malignity prsu přidáním SWE a bylo prokázáno, že SWE zlepšuje specifitu ultrazvuku v B-módu bez ztráty citlivosti, z toho důvodu může být snížen stupeň hodnocení léze z původního stupně 4a na 3 v hodnotícím systému BIRADS, pacient je ušetřen nepotřebné invazivní biopsie a je nadále sledován, ale další studie musí tuto teorii dále potvrdit (Sigrist et al., 2017, s. 1316-1317). Naopak některé léze hodnoceny jako stupeň 3 vykazující vyšší tuhost můžou být povýšeny na stupeň 4a vyžadující biopsii. Kdyby byla SWE používána tímto způsobem přispívající k B-módu, tak by se citlivost B-módu ze 97,2 % zvýšila na 98,6 % a specifita ze 61,1 % na 78,5 %. Cysty s čirou tekutinou jsou zobrazovány jako černé, protože v tekutině se příčné vlny nešíří, ale pokud má cysta vyšší viskozitu, tak je pomocí SWE zobrazována s nízkou tuhostí.

Mezi tuhostí karcinomu prsu a prognostickými faktory je prokázána významná korelace. Studie se SWE uvádí zvýšenou tuhost pro méně diferencované nádory (grading), větší velikost léze, nádorové a lymfatickovaskulární zasažení u invazivního karcinomu prsu. Triple-negativní karcinomy (negativní testy na estrogenové, progesteronové a HER2 receptory), které jsou často hodnoceny jako stupeň 3 pomocí BIRADS v B-módu ultrazvuku, jsou v klinické praxi velmi

obtížně posuzovatelné, ale SWE vykazuje zvýšenou tuhost v těchto případech a může vést ke správnému posouzení.

Ve studiích s malým počtem pacientů byla zaznamenána možnost předpovídat odpověď neoadjuvantní chemoterapie na léčbu karcinomu prsu pomocí SE, ale větší studie nejsou k dispozici. Také byla hlášena významná korelace mezi odpovědí na léčbu a snížením heterogenity a tuhostí nádoru (Săftoiu et al., 2019, s. 428-429). U SWE byla také zjištěna potenciální role v předpovědi odpovědi na chemoterapii. Po chemoterapii odumírají buňky, což přináší snížení tuhosti nádoru, kterou můžeme měřit pomocí SWE (Syed, Qureshi, Devrajani, 2020, s. 6).

Na základě studií byla prokázána SWE jako nezávislý prediktor metastatického postižení lymfatických uzlin při nádoru prsní žlázy s použitím střední hodnoty tuhosti pro definovanou oblast zájmu. Při střední hodnotě elasticity nádoru menší než 50 kPa pouze 7 % karcinomů prsu metastazovalo do mízních uzlin, zatímco při hodnotě vyšší než 150 kPa bylo metastaticky postiženo 41 % mízních uzlin (Săftoiu et al., 2019, s. 429).

Ultrazvuková elastografie prsní žlázy i přes její neinvazivnost má nějaké limity, z toho důvodu se doporučuje elastografii provádět a popisovat ve spojení s B-módem. Je nutné ještě zapracovat na podpoře současných klinických aplikací prsní ultrazvukové elastografie, studie v současné době stále probíhají, zatím nebyla prokázána nadřazenost jedné z metod ultrazvukové elastografie nad druhou (Sigrist et al., 2017, s. 1317-1318). Předběžné stlačení sondy může zvýšit tuhost všech tkání, normální tuková tkáň má střední hodnoty elasticity v rozmezí 5-10 kPa pokud je škála nastavena na hodnoty 0-180, ale barevnou stupnici lze změnit a pokud se barva změní na základě těchto hodnot, tak by se měla upravit předběžná komprese (Săftoiu et al., 2019, s. 429). Výsledky metaanalýzy vykazují vyšší diagnostickou přesnost CEUS u malignit prsní žlázy než SWE (Huang et al., 2019, s. 15).

## **2.6 Vyšetření plic**

Syndrom akutní dechové tísně (ARDS), chronická obstrukční plicní nemoc (CHOPN), intersticiální plicní onemocnění (ILD) a další plicní onemocnění jsou spojena s velkými změnami mechanických vlastností plicních tkání. Mezi vzduchem a plicní tkání existuje velký rozdíl v akustické impedanci, což způsobuje odraz vlnění od povrchu plic a ztrátu většiny energie ultrazvukového vlnění. Ultrazvuková elastografie je používána jen zřídka kvůli vzduchové náplni plic, ale díky pokroku této techniky se v posledních letech zvyšuje zájem o využití elastografie pro hodnocení plicních onemocnění.

U ILD je vykazována vyšší tuhost tkáně, která je způsobená fibrózou plicní tkáně. V pilotní klinické studii bylo zjištěno, že při použití povrchové vlnové elastografie plic byla rychlost šíření vln na povrchu plic u pacientů s intersticiálním onemocněním značně vyšší než u zdravých pacientů, což způsobují fibróza plicní tkáně. Podobných výsledků bylo dosaženo i pomocí magnetické rezonanční elastografie a výsledky korelovaly také s hodnocením pomocí CT. Nejvyšší přesnost vykazuje povrchová vlnová elastografie plic při rozlišení nultého stupně fibrózy od prvního a dalších stupňů. Plicní ultrazvuková povrchová vlnová elastografie (LUSWE) může být doplňkem k HRCT pro neinvazivní hodnocení intersticiálních chorob a také představuje slibnou techniku v diagnostice časně ILD u pacientů trpících systematickou sklerózou. LUSWE představuje neinvazivní, snadno opakovatelnou techniku nevystavující pacienty ionizujícímu záření, což je velmi vítáno ve sledování léčby pacientů s plicní fibrózou. Studie vykazují zvyšující se hustotu plic s vyšším stupněm fibrózy, byla vyvinuta technika deep neural network (DNN) pro předpověď hustoty plic na základě rychlosti šíření vln na povrchu plic a tuhosti plic získané z testování plicních funkcí (PFT), kontrola s HRCT pomocí výpočtu tuhosti na základě Hounsfieldových jednotek naznačuje, že DNN technika může neinvazivně kvantitativně určit hustotu plic.

Rakovina plic je celosvětově jedním z nejčastějších zhoubných nádorů. Zásadní roli v diagnostice a léčbě pacientů s rakovinou plic zastává rozlišení mezi benigním a maligním tumorem. Zhoubné nádory jsou obvykle tužší než nezhoubné. Při identifikaci subpleurálně lokalizované rakoviny pomocí transtorakálního ARFI zobrazení byla zjištěna výrazně nižší elasticita spinocelulárního karcinomu na rozdíl od ostatních karcinomů plic a zápalu plic. Strain ratio se výrazně liší mezi lézemi a vykazuje značnou odlišnost primárního karcinomu plic od zápalu plic a také od metastatického postižení plic. Pomocí ARFI můžeme získat cenné diagnostické informace o periferních plicních lézích a může pomoci při intervenčních postupech, na rozdíl od neviditelnosti plicních lézí při vyšetření v B-módu. Při hodnocení subpleurálních ložiskových lézí pomocí SWE byla zjištěna u benigních lézí významně nižší rychlost šíření střížných vln než u maligních lézí a s mezní hodnotou 2,47 m/s dosahuje metoda vysoké senzitivity i specificity. Při srovnání SE, ARFI a pSWE v hodnocení periferních plicních lézí (PPLs) se ukázala strain elastografie jako neschopná rozlišit benigní a maligní ložisko, při použití ARFI vykazovala malignitu ložiska s elastickým skórem 3 a vyšším a užití pSWE s mezní hodnotou 1,951 m/s vykazovala sice vyšší specificitu než ARFI, ale nižší senzitivitu. Diagnostická přesnost je výrazně zlepšena použitím ultrazvukové bronchoskopie a při provedení EBUS elastografie se ukázalo, že elastografické skóre je více senzitivní a specifické než standardní EBUS kritéria v rozlišení benigních a maligních plicních lézí.

Stlačováním plicního parenchymu pleurální tekutinou se projevuje pleurální výpotek podílející se na hypoxemii. K posouzení mechanických vlastností plicního parenchymu u pacientů s pleurálním výpotkem lze použít LUSWE. Maligní pleurální výpotek (MPE) představuje nahromadění tekutiny a rakovinných buněk mezi hrudní stěnou a plícemi a je poměrně častou komplikací různých druhů rakoviny. Při diagnostice maligního pleurálního výpotku pomocí ultrazvukové elastografie byla zjištěna senzitivita 83,64 % a specificita 90,67 % a tato metoda dosahuje lepšího hodnocení výpotku než transtorakální ultrazvuk. U plicního edému se vzhledem k přítomnosti extravaskulární plicní vody snižuje plicní poddajnost a zvyšuje se tuhost plic. Ve studii s hospitalizovanými pacienty se symptomatickým plicním edémem a akutním městnavým srdečním selháním, kterým byla podána diuretická terapie, byl při použití LUSWE sledován pokles rychlosti povrchových plicních vln, který odpovídal ukazatelům snížené extravaskulární plicní vody.

Sonoelastografie by mohla zlepšit diagnostickou přesnost zápalu plic způsobeným novým onemocněním COVID-19, tato metoda navíc nevyužívá ionizující záření jako CT a nezatěžuje pacienta, což je jedna z hlavních výhod. Kombinace ultrazvuku a elastografie by mohla poskytnout kvantitativní metodu pro vyhodnocení povrchové plicní tuhosti a případně vytvářet automatické “COVID-19 lung score“ umožňující přesné dlouhodobé sledování stavu plic jednotlivých pacientů za účelem vyhodnocení účinnosti léčby choroby (Zhou et al., 2020, s. 2249-2255).

## **2.7 Vyšetření jater**

Chronická jaterní onemocnění zahrnující jaterní infekční onemocnění, alkoholová onemocnění jater (ALD), nealkoholové tukové choroby jater (NAFLD) a autoimunitní onemocnění jater jsou hlavním problémem veřejného zdraví na celém světě. Zmíněná onemocnění vedou nejdříve k jaterní fibróze a později k cirhóze se zvýšeným rizikem rozvoje portální hypertenze, jaterního selhání a hepatocelulárního karcinomu jater. K hodnocení fibrózy či cirhózy jater se v současné době používá jako zlatý standard biopsie jater a podle histopatologických výsledků se fibróza dělí do 5 stádií (F0-F4). Biopsie je invazivní metoda, kterou limitují komplikace s ní spojené, podvzorkování a odbornost patologa.

Při USE jater je pacient vyšetřován vleže na zádech nebo mírně nakloněn na levou stranu s pravou rukou zdviženou nad hlavu, což slouží k lepšímu přístupu k játrům přes mezižeberní prostory. Pacient během vyšetření dostává pokyny k zadržení dechu a kvůli pohybům srdce se doporučuje měření tuhosti provádět v pravém jaterním laloku. Dodržení standardizované techniky při provádění ultrazvukové elastografie jater je důležité pro spolehlivé a přesné

výsledky (Sigrist et al., 2017, s. 1309-1310). Při měření elasticity jater u zdravých dobrovolníků pomocí TE se elasticita pohybuje v rozsahu 4,4-5,5 kPa, u mužů je obecně dosahováno vyšších hodnot než u žen, zatímco věk nemá vliv na tuhost jater. Pomocí pSWE jsou ve zdravé skupině měřeny hodnoty 1,01-1,59 m/s, ale nejvíce studií vykazuje rychlost šíření vln v rozmezí 1,07-1,16 m/s. 2D-SWE s využitím SSI vykazuje u zdravých jedinců hodnoty jaterní tuhosti od 4,5 kPa do 5,5 kPa (Dietrich et al., 2017, s. 379).

TE je nejvíce přesná při diagnostikování cirhózy, což představuje čtvrtý stupeň fibrózy, a dále je užitečná při rozlišení významného druhého a třetího stupně fibrózy od nevýznamných nižších stádií, ale je omezená v odlišení jednotlivých fází fibrózy navzájem. Bodová shear wave elastografie při studiích prokázala celkově dobré výsledky při hodnocení fibrózy v porovnání s biopsií jater. V porovnání TE a pSWE při studii pacientů převážně s virovou hepatitidou C byla v diagnostice významné fibrózy a cirhózy mírně přesnější TE, ale v další skupině pacientů s neznámou příčinou chronického jaterního onemocnění byly prediktivní hodnoty obou typů elastografií téměř totožné. V současné době jako nejuznávanější 2D-SWE k hodnocení fibrózy je považovaná elastografie od firmy SuperSonic Imagine. U pacientů s chronickou virovou hepatitidou typu C je diagnostika fibrózy druhého a vyššího stupně prostřednictvím 2D-SWE prokazatelně přesnější v porovnání s 1D-TE. Studií bylo prokázáno, že 2D-SWE má výrazně vyšší diagnostickou přesnost než 1D-TE u těžké fibrózy ( $F \geq 3$ ) a vyšší než pSWE v diagnostice významné fibrózy ( $F \geq 2$ ). V další studii byly prediktivní hodnoty u těchto tří typů ultrazvukové elastografie podobné od druhého stádia fibrózy až po cirhózu (Sigrist et al., 2017, s. 1310-1312). V posledních letech je SWE široce používána v hodnocení stupňů fibrózy jater a v mnoha centrech již nahradila zlatý standard, biopsii jater. 2D-SWE a pSWE vykazují trvaly vyšší technickou úspěšnost ve srovnání s TE, což je z největší pravděpodobnosti způsobeno možností zobrazením jater v B-módu před samotným měřením elasticity pomocí SWE. Optimální mezní hodnota rychlosti šíření vln měřená pomocí pSWE je 1,21-1,34 m/s pro předpovězení významné fibrózy a rozmezí hodnot 1,55-2,00 m/s pro cirhózu v přítomnosti virové hepatitidy C. U pacientů s virovou hepatitidou B jsou hodnoty mírně odlišné, mezní hodnota pro detekci významné fibrózy je 1,35 m/s a pro cirhózu 1,87 m/s. Pro fibrózu smíšené etiologie jsou mezní hodnoty pro přítomnost významné fibrózy  $1,30 \pm 0,07$  m/s a u cirhózy  $1,80 \pm 0,16$  m/s.

Pokročilejší stupně fibrózy dosahují obecně vyšších rychlostí šíření střížných vln, ale ve srovnání s METAVIR klasifikací se mohou rychlosti překrývat u prvního až třetího stádia fibrózy. Mezní hodnoty se mohou lišit na základě etiologie onemocnění a také hlavně v závislosti na výrobci ultrazvukového přístroje, měření rychlosti není možné srovnávat mezi

různými přístroji. Z těchto důvodů WFUMB doporučuje používat pravidlo 5 při interpretaci hodnot tuhosti jater a léčbě pacientů a také je důležité interpretovat měření jaterní tuhosti v souvislosti s dalšími klinickými údaji pacientů. Hodnoty tuhosti menší než 5 kPa reprezentují normální jaterní parenchym, hodnoty v rozsahu 5-10 kPa vylučují kompenzované pokročilé chronické onemocnění jater bez přítomnosti známých klinických příznaků, hodnoty v rozmezí 10-15 kPa vylučují pokročilé kompenzované chronické onemocnění jater, kompenzované pokročilé chronické onemocnění jater naznačují hodnotu 15-20 kPa a hodnoty vyšší než 20 kPa již odpovídají klinicky významné portální hypertenzi (Fang, Sidhu, 2020, s. 3467-3468).

Portální hypertenze je jedna z nejvýznamnějších komplikací chronických jaterních onemocnění a cirhózy, v souvislosti s ní se může rozvinout další řada komplikací jako jsou ascites, krvácení z varixů nebo jaterní encefalopatie. Pokud jaterní žilní tlakový gradient (HVPG) dosáhne hodnoty 10 mmHg, jedná se o klinicky významnou portální hypertenzi s vysokým rizikem vzniků varixů, když gradient dosáhne hodnoty 12 mmHg a vyšší, označujeme tento stav jako těžkou portální hypertenzi se zvyšujícím se rizikem akutního krvácení z varixů, což může znamenat život ohrožující stav. K detekci přítomnosti a zjištění závažnosti portální hypertenze u pacientů s cirhózou se používají angiografické techniky nebo gastrointestinální endoskopie. USE se může stát neinvazivní metodou ke zjištění portální hypertenze pomocí měření jaterní a/nebo slezinné elasticity (Sigrist et al., 2017, s. 1312). Optimální mezní hodnoty elasticity pro stanovení klinicky významné portální hypertenze se pohybují mezi hodnotami 15 a 25 kPa (Fang, Sidhu, 2020, s. 3468). Nedávná studie prokázala větší přesnost elasticity jater v diagnostice klinicky významné portální hypertenze ve srovnání se slezinou při použití TE, naopak při vyšetření pSWE představují přesnější informace ke stanovení klinicky významné i těžké portální hypertenze hodnoty elasticity sleziny, několik dalších studií prokázalo souvislost mezi tuhostí sleziny a výskytem jícnových varixů. Výsledky dočasných studií poukazují na význam hodnot elasticity jater a sleziny k posouzení portální hypertenze a přítomnosti jícnových varixů, ale je nutné pomocí dalších studií ověřit aktuální výsledky a zjistit, která z těchto elasticit či kombinace obou elasticit bude představovat nejpřesnější posouzení stavu (Sigrist et al., 2017, s. 1312-1313).

U pacientů s NAFLD při použití TE s mezní hodnotou rozsahu 7,6-9 kPa pro odhalení závažné fibrózy třetího stupně bylo dosaženo citlivosti metody 83-89 % a specificity 77-78 %. Dobré diagnostické přesnosti dosahuje nejen TE, ale i pSWE, a v jedné metaanalýze vykazuje 2D-SWE vyšší přesnost než TE u hodnocení jaterní tuhosti pacientů s NAFLD. Pro hodnocení pacientů s ALD nelze jednoznačně stanovit mezní hodnoty pro jednotlivé stupně fibrózy

z důvodu velkého rozsahu hodnot ve studiích s využitím TE, studií s metodami pSWE a 2D-SWE je u této skupiny pacientů jen omezený počet (Fang, Sidhu, 2020, s. 3468).

Využití ultrazvukové elastografie k diagnostice fokálních jaterních lézí je v současné době stále zkoumáno, existuje již několik studií, které prokazují slibné výsledky, na druhé straně byly popsány i limitace této metody kvůli velkému rozsahu hodnot elasticity mezi benigními a maligními nálezy, proto je nutné danou problematiku ještě dále více probádat, aby bylo možné elastografickou metodu doporučit k diagnostice ložiskových jaterních lézí (Sigrist et al., 2017, s. 1313-1314). Mezní hodnoty se ve studiích pohybovaly v rozsahu 1,5-2,7 m/s a ne všechna ložiska jater jsou ultrasonograficky dostupná, což komplikuje využití ultrazvukové elastografie v oblasti jaterních ložisek. Fokální nodulární hyperplazie vykazuje největší tuhost v rámci benigních lézí, zatímco u maligních lézí jater je nejtužší cholangiocelulární karcinom (Dvořák, 2019, s. 544).

Ultrazvuková elastografie má výhodu v neinvazivnosti, ale také má své limitace, především kvůli fyziologickým procesům v lidském těle, z toho důvodu WFUMB doporučuje užití ultrazvukové elastografie pouze k odlišení významné nebo těžké fibrózy od nevýznamného stádia, nikoliv rozlišování jednotlivých stádií a podobně reaguje i SRU, která doporučuje využití této metody pouze k odlišení lidí s žádnou či minimální fibrózou od pacientů s těžkou fibrózou a cirhózou (Sigrist et al., 2017, s. 1314-1315). Výsledky metaanalýzy vykazují vyšší diagnostický poměr šancí (DOR) SWE než CEUS u diagnostiky rakoviny jater (Huang et al., 2019, s. 15).

## 2.8 Vyšetření sleziny

Ultrazvuková elastografie sleziny je používána k hodnocení závažnosti chronického onemocnění jater většinou ve spojení s měřením tuhosti jater pro hodnocení jaterní fibrózy či komplikací související s portální hypertenzí, pro předpověď přítomnosti klinicky významné portální hypertenze, jícnových varixů či k předpovědi dlouhodobé prognózy jsou zkoumány různé techniky SWE. Při elastografickém vyšetření sleziny leží pacient na zádech s maximálním odtažením levé paže a vyšetření je nutno provádět nejméně po třech hodinách hladovění a deseti minutách klidu, měření by se mělo přednostně provádět na dolním pólu sleziny (Săftoiu et al., 2019, s. 434).

Slezinná tuhost je vyšší než jaterní, pohybuje se v rozmezí od 9,4 kPa do 65,2 kPa (Giunta, Conte, Fraquelli, 2016, s. 7859). Slezina je nejtužší ve srovnání s ostatními břišními orgány dospělých, střední hodnota tuhosti je  $16,6 \pm 2,5$  kPa, u mužského pohlaví byla naměřena vyšší tuhost ( $17,3 \pm 2,7$  kPa) než u žen ( $16,1 \pm 2,2$  kPa). Jiná studie vykazuje podobnou hodnotu



tuhosti zdravé sleziny ( $17,3 \pm 2,6$  kPa). Střední rychlost šíření vln při ARFI zobrazení je  $2,46 \pm 0,35$  m/s. Tuhost sleziny je přímo úměrná věku dítěte, u dospělých není závislá na věku pacientů, tuhost se zvyšuje při hlubokém nádechu a po příjmu potravy (Mazur et al., 2018, s. 38).

Stanovení stádia jaterní fibrózy pomocí slezinné tuhosti vykazuje pro odhalení významné fibrózy (F2) souhrnnou citlivost dvou studií 0,7 a specificitu 0,87 s hodnotou AUROC 0,88 a pro detekci cirhózy (F4) senzitivitu 0,77, specificitu 0,82 a AUROC 0,85 (Săftoiu et al., 2019, s. 434). Slezinná tuhost je přímo úměrná stádiu jaterní fibrózy, závislost je silnější u významné fibrózy, což představuje stupeň 2 v METAVIR skóre. Slezina je jeden z mimojaterních zásobníků pro virus HCV a replikační místo pro virus HBV, u pacientů infikovaných těmito dvěma viry hepatitidy je zjištěna vyšší tuhost sleziny, i přestože jaterní tuhost zůstává nezměněna (Mazur et al., 2018, s. 38-39). TE má výbornou diagnostickou přesnost v předpovědi závažnosti hepatické fibrózy u pacientů s chronickým onemocněním jater zejména pro pokročilou fibrózu až cirhózu, mezní hodnota pro  $F \geq 2$  byla stanovena v rozmezí 7,3-7,9 kPa a pro cirhózu (F4) 13,0-15,6 kPa. V jiné studii byla pro diagnostiku jaterní cirhózy stanovena mezní hodnota 46 kPa a dosáhla senzitivity 89 %, specificity 78 % a hodnoty AUROC 0,84. SWE má nižší míru chybnosti než TE vyjadřující lepší přesnost v diagnostice klinicky významné jaterní fibrózy, pro jaterní cirhózu byla pomocí SWE stanovena mezní hodnota 24 kPa, metoda SWE je vhodná i u pacientů s ascitem (Giunta, Conte, Fraquelli, 2016, s. 7858-7859).

Portální hypertenze a jícnové varixy jsou způsobeny pokročilými stádii jaterní fibrózy a díky přímému propojení portální a slezinné žíly poruchy žilního krevního toku v portální žíle ovlivňují i slezinu. Slezina není ovlivněna chorobami, které představují primární příčinu portální hypertenze, proto je slezinná tuhost nadřazená jaterní a představuje přesnější ukazatel pro odhalení hypertenze a jícnových varixů než měření jaterní tuhosti (Mazur et al., 2018, s. 39). Tuhost sleziny dokáže odhalit klinicky významnou portální hypertenzi s vysokou diagnostickou přesností díky výborné korelaci s jaterním žilním tlakovým gradientem, transientní elastografie sleziny dokonce vykazuje lepší závislost s portohepatálním gradientem než jaterní tuhost. Hodnoty  $\geq 46$  kPa vykazují dobrou senzitivitu, specificitu i diagnostickou přesnost pro klinicky významnou portální hypertenzi. Bodová shear wave elastografie (pSWE), s výjimkou u hodnot HVPG větších než 10 mmHg, kde je tato závislost slabší, má podobnou celkovou korelaci s portálním gradientem jaterních žil a také lepší než u měření tuhosti jater. pSWE má vyšší citlivost, ale nižší specificitu než ostatní techniky, což zvyšuje možnost heterogenity a variability této metody. Při použití 2D-SWE se diagnostická přesnost významně

lišila, pohybovala se v rozmezí hodnot AUROC 0,63-0,84, přičemž při nejmenší diagnostické přesnosti byla mezní hodnota 34 kPa. Navzdory skutečnosti, že dvě studie vykazují různé mezní hodnoty pro potvrzení a vyloučení klinicky významné portální hypertenze, mezní hodnota pro potvrzení byla buď  $\geq 40$  nebo 35,6 kPa, pro vyloučení hodnota  $\leq 22,7$  nebo 21,7 kPa, u studie s vyššími mezními hodnotami zůstala přesnost nízká, zatímco u druhé s nižšími hodnotami byla přesnost lepší. Při použití kombinovaného přístupu měření tuhosti sleziny i jater je diagnostická přesnost vysoká (Săftoiu et al., 2019, s. 434-435). Pomocí 2D-SWE byla zjištěná mezní hodnota 26,3 kPa pro klinicky významnou portální hypertenzi (Gibbino et al., 2019, s. 4378). Pro odhalení klinicky významné portální hypertenze jsou vhodné hodnoty tuhosti sleziny v rozmezí 35,6-75 kPa (Mazur et al., 2018, s. 39).

TE sleziny vykazuje dobrou přesnost v odhalení přítomnosti jícnových varixů, ale nedokáže rozlišit jejich stupeň. Hodnoty slezinné tuhosti  $\leq 40$  kPa jsou navrženy pro vyloučení jícnových varixů a hodnoty  $\geq 55$  kPa pro jejich přítomnost. V metaanalýze tato metoda vykazovala uspokojivou senzitivitu a specificitu, přičemž citlivost byla lepší při detekci varixů vyžadující léčbu. Jako jediný nezávislý prediktor pro potřebu léčby se ukázaly hodnoty větší než 75 kPa, pro jejich měření byla vyvinutá jednoúčelová sonda s upraveným výpočetním algoritmem umožňujícím měřit tak vysoké hodnoty, což vykazuje lepší výkonnost v porovnání s původním algoritmem a s tuhostí jater. Bodová shear wave elastografie vykazuje vysokou specificitu v detekci jícnových varixů, ale senzitivita je velmi proměnlivá. Výkonnost pro detekci potřeby léčby je nižší než u TE, ale toto tvrzení nezahrnuje zprávy vykazující vysoké pozitivní a negativní prediktivní hodnoty. Při použití 2D-SWE nedochází k rozlišování mezi pacienty s varixy a bez varixů potřebující léčbu. Přestože ve větší kohortě byla hodnota AUROC pro detekci varixů jakéhokoliv stupně poměrně vysoká, tak pravděpodobnost je u pacientů s kompenzovanou cirhózou pouhých 10 %, pokud je tuhost sleziny nižší než 25,6 kPa. Pokud je měření slezinné tuhosti pomocí 2D-SWE prováděno v postupujícím přístupu vedle ztuhlosti jater, s použitím mezních hodnot pro slezinu 38 kPa a pro játra 19 kPa, s přihlédnutím také na počet krevních destiček, lze vyloučit jícnové varixy s dostatečnou přesností a lze tak vyřadit mnoho zbytečných endoskopií (Săftoiu et al., 2019, s. 435). Použití mezní hodnoty slezinné tuhosti 41,3 kPa pro přítomnost jícnových varixů dosáhla nízké prediktivní hodnoty, jaterní tuhost a slezinná tuhost představují nezávislé ukazatele předpovědi jícnových varixů (Giunta, Conte, Fraquelli, 2016, s. 7861). Dobrých výsledků dosahují mezní hodnoty pro rozlišení velkých jícnových varixů (56 kPa) od malých (49 kPa), a krvácejících (58 kPa) od nekrvácejících subjektů (50,2 kPa) s použitím TE. Mezní hodnota 3,51 m/s měřena pomocí pSWE doporučuje profylaktickou léčbu jícnových varixů. Pro vyloučení

vysokorizikových jícnových varixů odpovídá hodnota  $\leq 25,6$  kPa měřena 2D-SWE (Gibbino et al., 2019, s. 4370-4373). Měření tuhosti sleziny je také nadřazené jaterní tuhosti v posuzování jícnových varixů, ale záleží na příčině cirhózy, u jícnových varixů způsobených alkoholovou cirhózou není slezinná tuhost vhodným ukazatelem (Mazur et al., 2018, s. 39).

Tuhost sleziny může předpovídat komplikace související s játry, pokud je tuhost vyšší než 54 kPa, tak vedle MELD skóre je považována za nezávislý ukazatel dekompenzace u pacientů s cirhózou kompenzovaného viru HCV, během dvouleté sledovací periody. Pro roli ztuhlosti sleziny při sledování odpovědi na neselektivní beta-blokátory nejsou k dispozici žádné údaje. Malé série naznačují menší snížení tuhosti sleziny při úspěšné antivirové léčbě cirhózy HCV během sledování, toto snížení ale není vždy významné a není tak důležité nebo trvalé jako snížení tuhosti jater, což pravděpodobněji odráží snížení zánětu jater. Pomocí bodové shear wave elastografie bylo sledováno snížení tuhosti sleziny po umístění transjugulární intrahepatální portosystémové spojky (TIPS), což naznačuje možnost použití slezinné tuhosti jako dalšího nástroje k hodnocení účinnosti TIPS (Săftoiu et al., 2019, s. 435). Rychlost šíření střížných vln ve slezině je odpovídající rychlosti splenoportálního žilního toku v kvantitativním monitorování funkce či dysfunkce TIPS (Mazur et al., 2018, s. 39).

Slezinná tuhost byla použita i k hodnocení pacientů s necirhotickou portální hypertenzí. Tuhost sleziny se zvyšuje při extrahepatální obstrukci portální žíly a je vyšší i u pacientů s anamnézou krvácení. Pacienti s idiopatickou portální sinusovou chorobou mají slezinu výrazně tužší na rozdíl od zdánlivě normálních hodnot jaterní tuhosti. Kombinace může být použita před nebo po Kasai portoenterostomii k předpovědi výsledku nebo ke sledování následného onemocnění jater a portální hypertenze u dětí s biliární artrezií (Săftoiu et al., 2019, s. 435). Měření slezinné tuhosti může být použito v těchto případech jako neinvazivní metoda hodnocení závažnosti portální hypertenze a jaterní dysfunkce a může být nápomocná ve výběru pacientů pro transplantaci jater a pro zvolení nejlepší strategie rekonstrukce portální žíly před transplantací (Mazur et al., 2018, s. 39). TE je navrhována jako jednoduchá neinvazivní metoda pro monitorování progresu primární myelofibrózy, protože tuhost sleziny vykazuje přímou úměru se stupněm fibrózy kostní dřeně u těchto pacientů.

TE nelze provést při vysokém BMI, přítomnosti ascitu, interpozici plic nebo tlustého střeva či při příčném průměru sleziny menším než 4 cm. Použitelnost TE je přibližně 70 %, protože ještě určitý podíl pacientů dosahuje maximální hodnoty (75 kPa) měřené konvenčním přístrojem. 2D-SWE má podobnou použitelnost jako TE a limituje ji vyšší BMI a menší velikost sleziny. Vyšší použitelnost vykazuje pSWE, ale reprodukovatelnost této metody je ovlivněna malou velikostí sleziny a centrální obezitou (Săftoiu et al., 2019, s. 435).

## 2.9 Vyšetření slinivky břišní

Elastografické vlastnosti slinivky břišní je možné zkoumat transabdominálním přístupem, endoskopickou metodou či intraoperativním přístupem. Transabdominálně může být prováděna SE i SWE, zatímco endoskopická metoda je možná v současné době pouze pomocí SE s kvalitativními a semikvantitativní metodami použitím strain ratio (SR) a strain histogramu (SH) (Săftoiu et al., 2019, s. 431). Kvůli hlubokému uložení slinivky břišní se k měření nepoužívá TE. Strain ratio je poměr napětí referenční tkáně a cílové oblasti (Ciobanu, 2020, s. 1-2). Slinivka je částečně uložena v retroperitoneu, což znamená obtížný přístup vnější komprese nebo akustických impulzů do této hloubky, z toho důvodu je sonoelastografie prováděna většinou endoskopicky. Hlavní klinickou aplikací USE je rozlišení maligních solidních nádorů slinivky od chronických patologických procesů jako jsou fibrotické uzly při chronickém zánětu pankreatu, dále je navrhováno užití sonoelastografie při predikci rizika tvoření pankreatické píštěle po resekci slinivky břišní (Anvari et al., 2015, s. 717). Slinivka vykazuje ve všech svých třech částech rovnoměrnou střední tuhost, střední hodnota rychlosti šíření vln při použití ARFI u zdravé slinivky břišní byla přibližně 1,4 m/s. Pomocí SE i SWE bylo prokázáno, že se se zvyšujícím věkem může snižovat elasticita slinivky, kromě věku ale vliv jiných vlastností na rychlost šíření vln nebyl jednoznačně prokázán (Săftoiu et al., 2019, s. 431). Zdravá slinivka u mužů má hodnoty tuhosti  $11,1 \pm 3,2$  kPa a u žen  $10,8 \pm 3,1$  kPa (Ciobanu, 2020, s. 4).

Při akutním zánětu se parenchym slinivky obvykle stává tužší v porovnání se zdravým parenchymem, což je zjistitelné pomocí SE i SWE včetně použití ARFI. Nekróza se jeví jako oblast s nižší tuhostí. Studie při hodnocení akutní pankreatitidy jsou protichůdné, některé uvádějí neschopnost USE najít rozdíl v rychlosti šíření vln mezi zánětlivým a zdravým parenchymem, jiné vykazují vyšší rychlost u akutního zánětu slinivky oproti normálu a v jedné studii byla dokonce prokázána rychlost šíření vln vyšší u akutní pankreatitidy než u chronického typu. V porovnání transabdominální SWE s použitím techniky ARFI s B-módem konvenčního ultrazvuku a CT u pacientů při přijetí kvůli diagnostice akutní pankreatitidy vykazovala SWE mnohem vyšší přesnost než ostatní dvě diagnostické metody. Autoři byli schopni nalézt segmentální postižení slinivky i parenchymální nekrózu (Săftoiu et al., 2019, s. 431). U zdravých dobrovolníků se hodnoty střední rychlosti šíření střížných vln zjištěné pomocí SWE pohybovaly na hodnotách  $2,40 \pm 0,37$  m/s a střední tuhost byla  $23,77 \pm 6,72$  kPa, zatímco u pacientů s akutním zánětem byly hodnoty výrazně vyšší, rychlost dosahovala hodnot  $3,48 \pm 0,52$  m/s a střední tuhost  $45,71 \pm 10,72$  kPa. Mezní hodnoty tuhosti 29,45 kPa a rychlosti

2,77 m/s vykazují velmi vysokou senzitivitu a specificitu v diagnostice akutního zánětu slinivky břišní, dokonce i v raných stádiích nemoci (Durmaz et al., 2018, s. 278-283).

Parenchym slinivky s chronickým zánětem je pomocí SE zobrazován s heterogenním barevným voštinatým vzorem s převážně tužšími vlákny, nicméně samotná elastografie není schopna rozeznat maligní tumory od chronické pankreatitidy, protože obě onemocnění mají podobnou tuhost. SWE i SE je možné použít k hodnocení fibrózy a chronické pankreatitidy, zejména hodnocení závažnosti fibrózy, dle skórovacích čtyřstupňových systémů, a chronického zánětu slinivky. Rychlost šíření střížných vln, strain ratio a strain histogramy jsou značně vyšší u pacientů s chronickou pankreatidou než u zdravých dobrovolníků či pacientů s normálním parenchymem slinivky. Několik studií prokázalo významnou korelaci mezi SWE, semikvantitativní SE a histologickým stádiem fibrózy slinivky, navíc SWE a SR mají významnou korelaci se stádiem chronické pankreatitidy v porovnání s diagnostikou chronického zánětu pomocí kritérií EUS (Săftoiu et al., 2019, s. 432). Je zkoumána užitečnost endoskopické SWE v posouzení chronického zánětu slinivky. Měření tuhosti pomocí této metody vykazuje u chronického zánětu značně vyšší hodnoty než u zdravé slinivky a s mezní hodnotou 2,19 m/s dosahuje velmi dobré diagnostické přesnosti. Pro hodnocení závažnosti chronického zánětu na základě endokrinní poruchy s přítomností diabetu mellitu byla stanovena mezní hodnota 2,78 m/s vykazující 70% senzitivitu a 56% specificitu. Měření bylo provedeno na těle slinivky, protože vykazuje nejvyšší přesnost v hodnocení chronického zánětu (Yamashita, 2020, s. 659-663).

Nedávná studie vykazuje vyšší rychlost šíření vln u pacientů s klinickými markery závažného onemocnění jako jsou doba trvání nemoci delší než 10 let, léčba chronickými analgetiky či nižší tělesná hmotnost. Byl prokázán přímý vztah mezi SR parenchymu slinivky při endoskopické SE, nízkou tuhostí peripankreatické tkáně a pravděpodobností exokrinní nedostatečnosti slinivky, zatímco jiná studie uvádí převrácenou korelaci mezi předoperační rychlostí šíření střížných vln a pooperační exokrinní funkcí u pacientů podstupující resekci pankreatu. Endoskopická USE může být nápomocná v diagnostice pacientů s autoimunitním zánětem slinivky díky jedinečnému vzhledu difuzní tuhé tkáně s elastografickým vzorem nacházejícím se v hromadné lézi i sousedním parenchymu slinivky, s převážně tuhými barevnými signály rovnoměrně rozšířenými v hlavě a těle pankreatu.

Nedávno byla zkoumána tuhost žlázy před operací pankreatu za účelem posouzení rizika chirurgických komplikací, hodnocení tuhosti pomocí SE a SWE může být objektivním indexem pro odhad fibrózy slinivky a může předpovídat riziko pooperační píštěle. Nezávislým ukazatelem pooperační pankreatické píštěle je především nízká tuhost parenchymu slinivky.

Více důkazů má klinická hodnota endoskopické SE v diferenciální diagnostice solidních lézí. Jsou popsány vzory EUS elastografie u zdravých pacientů, difuzní chronické pankreatitidy a u fokálních lézí slinivky. Všechny maligní nádory slinivky a serózní cystadenomy vykazují voštinatý vzor se střední tuhostí a jsou dobře odlišitelné od zdravého parenchymu, ale tento vzor je pozorován i u poloviny chronických zánětů, protože fibrotické struktury vykazují v obou případech podobné mechanické vlastnosti, takže specifita této metody je nízká. Elastografie není dostatečná, aby přispěla k včasné diagnostice nádorů slinivky u chronické pankreatitidy (Săftoiu et al., 2019, s. 432). Vnitřní pulzace cév jsou dostatečné pro tvorbu elastogramů, proto u endoskopické SE není vyžadována vnější komprese od operátora. Prováděné studie se SE vykazují smíšené výsledky při rozlišení benigních a maligních slinivkových lézí. Výsledky metaanalýzy 13 studií ukazují vysokou souhrnnou citlivost 95 % při nízké specifitě 69 % v hodnocení nálezů pankreatu (Anvari et al., 2015, s. 717-718).

V diferenciální diagnostice benigních a maligních ložiskových pankreatických lézí jsou užívány s velkou přesností kvalitativní a semikvantitativní přístupy SE. Diagnostické techniky podporované počítačem mohou zvýšit přesnost v diagnostice fokálních lézí, nejčastěji se používají umělé neuronové sítě. Několik studií vykazují velmi vysokou citlivost, ale nižší specifitu a negativní prediktivní hodnotu, při metaanalýze byla ověřena vysoká citlivost, byla uvedena také vysoká negativní prediktivní hodnota EUS-SE, ale omezená specifita a pozitivní prediktivní hodnota v diagnostice zhoubných ložiskových lézí slinivky a nebyly pozorovány významné rozdíly mezi kvalitativním a semikvantitativním přístupem. Kombinace několika pokročilých nástrojů založených na endoskopické ultrasonografii může poskytnout nejlepší výsledky v diferenciální diagnostice fokální lézí. SE nemůže nahradit cytopatologickou diagnózu ložiskového onemocnění slinivky, ale pokud je vzorkování řízené pomocí EUS negativní či neprůkazné, tak podezřelé nálezy pomocí elastografie a CEUS mohou ovlivnit další klinické rozhodování buď opakovaným odebráním vzorku nebo přímým doporučením k operaci. Nález s nízkou tuhostí nebo bez hypozezení při CE-EUS většinou vždy předpovídá benigní charakter ložiska. Negativní prediktivní hodnota EUS-FNA pro diagnostiku maligních solidních lézí slinivky je pouze 72 %, proto takový nález může zabránit potencionálně nedignostickým či riskantním postupům.

V duktálním adenokarcinomu slinivky přesahuje rychlost šíření střížných vln 3 m/s a je výrazně vyšší oproti parenchymu zdravých pacientů a okolnímu parenchymu obklopující karcinom. Ale bohužel mezi maligními, benigními solidními nádory a chronickým zánětem existuje značné překrývání hodnot rychlostí šíření vln. Jedna studie vyazuje významně větší rozdíl mezi rychlostmi šíření v maligních lézích a okolním parenchymu ve srovnání mezi

rychlostmi šíření v benigních lézích a okolí, ale větší prospektivní srovnávací studie hodnotící přesnost SWE v diagnostice solidních pankreatických lézí nejsou dostupné (Săftoiu et al., 2019, s. 432-433).

Transabdominální SWE má možnost odhalit tumory slinivky, u pacientů s diagnostikovanou rakovinou byla naměřena střední hodnota rychlosti šíření  $1,54 \pm 0,32$  m/s na rozdíl od rychlosti  $1,21 \pm 0,27$  m/s u zdravých lidí a mezi rychlostí vln a velikostí tumoru existuje přímá úměrnost. Pro odhalení nádorových lézí byla stanovena na základě senzitivity a specifity mezní hodnota pro hlavu slinivky 1,33 m/s a pro tělo slinivky 1,36 m/s, u ocasu je malá úspěšnost provedení správného měření (Zaro et al., 2018, s. 285-290). Endoskopická SWE, která nevyžaduje externí kompresi a výsledky elasticity stanovuje na základě rychlosti šíření střížných vln, nebyla rozsáhle studovaná. Tato metoda pravděpodobně nebude užitečná při rozlišení cystických lézí, protože šíření příčných vln v tekutině je tlumené (Anvari et al., 2015, s. 718).

SE a SWE, zejména ARFI mohou hrát roli v diagnostice cystických lézí slinivky. SWE vykazuje přesnost v rozlišení serózních a mucinózních cystických lézí. Sérozní cystadenomy jsou naplněné serózní tekutinou s podobnými fyzikálními vlastnostmi jako má voda, zatímco u mucinózních cystadenomů mohou být přítomny početná a hustá septa s fibrotickou jizvou, díky tomu se mikrocystický serózní cystadenom jeví jako velmi tuhá léze při vyšetření EUS-SE. S použitím ARFI je rychlost střížných vln v serózní cystě neskutečně vysoká a nedá se číselně vyjádřit, zatímco u mucinózních je rychlost také velká, ale většinou lze získat číselné hodnoty.

Endoskopická USE trpí technickými omezeními a artefakty. Velké cévy v zobrazované oblasti při transabdominální aplikaci představují hlavní důvod pro tlumení smykového napětí. Dýchání a pohyby srdce vyvolávají pohyby léze a mohou způsobit nedostatek barevného signálu v oblasti zájmu. Z těchto a také dalších důvodů bylo obtížné nalézt optimální mezní hodnoty pro rozlišení nádorů pankreatu od benigních onemocnění (Săftoiu et al., 2019, s. 433). Při zlepšení technologie může být v budoucnu sonoelastografie klinicky užitečná pro lepší cílení biopsie slinivky (Anvari et al., 2015, s. 718).

## 2.10 Vyšetření gastrointestinálního traktu

Stěna gastrointestinálního traktu může být zobrazována pomocí ultrazvuku jako vrstvená struktura skládající se obvykle z 5 vrstev. Pro umožnění optimální vizualizace vrstev stěn, zesílené stěny střeva a ložiskových lézí je vhodnější použít frekvence nad 7,5 MHz, což platí také pro metody SE a SWE, které se používají pro zobrazování a měření elasticity při vyšetřování střev. Pro SE a SWE jsou nejvýznamnější patologické léze, který zvětšují tloušťku

střevní stěny, protože stěna je zobrazována ultrazvukem jako tenká struktura s přirozenou peristaltikou umožňující pohyb na serózní i luminální straně, což může způsobovat artefakty a měření se stává obtížnějším a závislé na uživateli. Stěna se stává silnější u nádorových i u zánětlivých onemocnění, převážně u Crohnovy choroby (CD). Za účelem klinického rozlišení fibrotických od zánětlivých lézí u Crohnovy choroby a odlišení rektálního adenomu od adenokarcinomu byla použita hlavně SE (Săftoiu et al., 2019, s. 433).

Výsledky ultrazvukové elastografie korelují se stupněm fibrózy, napětí střevní stěny u postižených segmentů fibrotickou stenózou je významně nižší ve srovnání s nepostiženými úseky střeva (Pescatori et al., 2018, s. 300). Některé studie naznačují, že SE and SWE můžou odlišit fibrózu od zánětlivých lézí díky zjištění, že tuhost je spojena s přítomností fibrotických struktur. Studie porovnávající SE ve stenóze terminálního ilea u CD vykazovala vyšší vizuální skóre tuhosti tkáně při výskytu fibrózy, s použitím MR enterografie jako referenční metody. Studie ex vivo ukázala také přítomnost vyšší tuhosti u lézí Crohnovy choroby, podobně i u rektálního adenokarcinomu, na rozdíl od adenomů, které vykazují nižší tuhost. Výsledky studií naznačují významně vyšší ztuhlost u fibrotické stenózy u Crohnovy choroby, nicméně autoři použili k hodnocení různé parametry SE, proto systematický přehled těchto studií zmiňuje různorodé a stěží srovnatelné koncové ukazatele. Při vyšetření střevní stěny postižených a nepostižených úseků pomocí SE předoperačně, intraoperačně a pooperačně byly zjištěny významné rozdíly v hodnotách středního napětí v postižených a nezasazených částech, které dobře korelovaly s histologickou distribucí pojivové tkáně a obsahu kolagenu. Použitím strain ratia bylo dosaženo dobrého odlišení pacientů s těžkou ileální fibrózou tak jako pomocí histologie, včetně vynikající shody mezi hodnotiteli, u pacientů podstupujících operaci kvůli Crohnově chorobě. Ale u pacientů podstupujících operaci kvůli zúžení u Crohnovy choroby u předoperačního ultrazvuku SR nekorelovalo s histologickým hodnocení fibrózy nebo zánětu. SE střevních lézí u pacientů s CD může předpovídat odpověď na protizánětlivou léčbu. U pacientů s Crohnovým onemocněním, kteří potřebovali chirurgický zákrok měli na počátku významně vyšší hodnoty měření SR a po 52 týdnech léčby protinádorovým nekrotickým faktorem (TNF) došlo k významné negativní korelaci mezi SR na počátku a tloušťkou stěny po léčbě. Na základně současných důkazů by SWE neměla být používána jako metoda k rozlišení fibrotických od zánětlivých lézí u Crohnovy choroby (Săftoiu et al., 2019, s. 433-434).

U pacientů s anální fisurou byly pomocí SWE hodnoceny oblast fisury, vnitřní a vnější řitní svěrač, a zdvihač konečníku (m. levator ani). Anorektální tkáň a vnitřní svěrač v klidu a při provedení Valsavova manévru u kontrolní skupiny dosahovaly vyšších hodnot Youngova modulu než u pacientů s anální fisurou, zatímco u vnějšího svěrače nebyl nalezen žádný rozdíl



v tuhosti v klidu a při provedení Valsavova manévru mezi skupinami. Zdviháč konečníku vykazuje u pacientů v klidu vyšší hodnoty modulu pružnosti než u kontrolní skupiny. Pro rozlišení pacientů s anální fisurou od zdravé skupiny byly stanoveny mezní hodnoty pro anorektální tkáň  $\leq 1$  kPa, pro vnitřní svěrač v klidu  $\leq 44$  kPa, při vykonání Valsavova manévru  $\leq 0,4$  kPa a pro zdviháč konečníku hodnoty  $> 11$  kPa (Ozer, Gorgulu, 2020, s. 1133-1136).

Diferenciace a stážování rektálních nádorů může být provedeno pomocí SE jako doplněk k B-módu endoskopické rektální ultrasonografie (ERUS). SE může zlepšit stážování karcinomu rekta a odlišit adenom od adenokarcinomu s vysokou shodou mezi pozorovateli, v porovnání s ERUS a MR. Další studie ukázala dobrou korelaci mezi difuzně-váženým MR zobrazením, které je spojeno s fibrózou, a SWE zhoubných nádorů rekta. Při hodnocení výkonnosti ERUS u rektální tumorů pomocí SWE bylo zjištěno, že měření tuhosti nádorů pomocí SWE endorektální sondou s frekvencí 8 MHz přesně odpovídá T-stádiu patologického nádoru a diagnostická přesnost stagingu nádoru se zlepšila ze 76,7 % na 93,3 % (Săftoiu et al., 2019, s. 434). MR nedokáže rozlišit rané stádium adenokarcinomu od adenomu, zatímco kombinace elastografie a TRUS vykazuje dobré výsledky v rozlišení stádia pT0 a pT1 a je v tomto případě nadřazená MR. Jako optimální mezní hodnota SR při použití perirektální tukové tkáně jako referenční tkáně pro odlišení benigních od maligních lézí rekta byla stanovena hodnota 1,25 a dosáhla lepší diagnostické přesnosti než předoperační biopsie (Gersak et al., 2015, s. 231).

## 2.11 Vyšetření ledvin

Biopsie je stanovena jako standardní metoda pro určení stupně renální fibrózy, rozlišujeme tři stádia fibrózy ledvin, pro zmenšení zátěže pacientů při biopsii ledvin nám mohou pomoci neinvazivní metody ultrazvukové elastografie, které poskytují také informaci o stádiu fibrózy ledvin. USE může být klinicky užitečná při vyšetření fibrotických patologií ledvin vedoucích k rozsáhlé nemocnosti a úmrtnosti jako jsou chronická onemocnění ledvin (CKD) v nativních ledvinách, která se mohou rozvinout do terminálního stádia onemocnění ledvin (ESRD) potřebného dialýzu či transplantaci ledviny, a intersticiální fibróza v alogenních štěpech ledvin vedoucí k selhání transplantované ledviny (Sigrist et al., 2017, s. 1320). Intersticiální choroba je nejčastější příčinou selhání alogenního transplantátu ledviny. Pokud je fibróza diagnostikována v rané fázi, tak různé léčebné metody dokážou zpomalit progresi či dokonce vést k regresi fibrózy (Anvari et al., 2015, s. 715). Elastografie ledvin se používá k neinvazivnímu hodnocení CKD, hlavně v raných stádiích, kdy ještě není významně ovlivněna jejich funkce anebo pro monitorování nemoci. Hladina kreatininu v séru a odhadovaná glomerulární filtrace (eGFR) jsou špatnými ukazateli závažnosti histologických lézí

u transplantované ledviny. Neinvazivní test, který by včas poskytl diagnózu a v lepším případě i prognózu, by mohl zlepšit management pacientů, zároveň by se zabránilo opakovaným biopsiím a umožnilo včasný terapeutický zásah (Săftoiu et al., 2019, s. 435-436).

Ledviny se svými jedinečnými fyziologickými vlastnostmi a strukturou mohou ovlivňovat měření tuhosti. Mezi hlavní vlastnosti patří vysoká tkáňová anizotropie, která způsobuje závislost uspořádání anatomických prvků na směru měření, oproti izotropní tkáni jater, kde existuje nezávislost fyzikálních vlastností na směru, ve kterém jsou měřeny. Tímto rysem může být ovlivněna rychlost šíření střížných vln, když se vlny šíří souběžně s ultrastrukturou ledvin, tak rychlost může být snížena a podceněna tuhost tkáně, naopak když se šíří kolmo, tak se může rychlost zvyšovat a přeceňovat tuhost ledvinné tkáně (Anvari et al., 2015, s. 715). Elastografii ledvin také ovlivňuje jejich prokrvení, hydronefróza, typ technologie a účinek vysílací frekvence nebo útlum vysílacího pulzu (Săftoiu et al., 2019, s. 436).

Vzhledem k povrchnímu uložení alogenního štěpu ledviny je možné provést vyšetření pomocí SE dosahující vysoké přesnosti především při diagnostice druhého a třetího stupně intersticiální fibrózy ve srovnání s výsledky histopatologických vyšetření (Sigrist et al., 2017, s. 1320). Ve studii využívající semikvantitativního přístupu vytvořením map elasticity z jednotlivých obrazů napětí a histogramové analýzy podílů tuhé a měkké tkáně dosahovala citlivost této metody v diagnostice druhého a třetího stupně fibrózy u alogenního transplantátu 85,7 % a specifická 95 % (Anvari et al., 2015, s. 716). SE lze použít pouze u povrchové, obvykle transplantované ledviny s předpokladem rovnoměrné deformace sledované tkáně, tato technika je omezená kvůli hloubce uložení nativních ledvin, která způsobuje obtížnost použití homogenní deformace a neschopnost dosáhnout absolutního měření tuhosti (Săftoiu et al., 2019, s. 436). SE není schopna rozlišit jednotlivá stádia CKD, ale vnímá významný rozdíl mezi tuhostí ledvinového parenchymu zdravých jedinců a pacientů s CKD, kdy je střední hodnota indexu napětí vyšší (Sigrist et al., 2017, s. 1320-1321).

Ve studiích s pSWE byl nalezen významný rozdíl mezi tuhostí ledvin žen a mužů a také se ukázalo, že s rostoucím věkem klesá tuhost ledvin. Tuhost dřeně ledvin vykazuje nižší hodnoty než kortikální oblast ledvin. Měření pomocí pSWE je závislé na používaném systému, s jedním systémem se hodnota normální ledvinné tuhosti dospělého člověka pohybuje v rozmezí 2,15-2,54 m/s, u druhého systému jsou hodnoty v rozsahu 1,23-1,54 m/s. U dětí byly naměřeny hodnoty v rozmezí 3,00-3,33 m/s, což odpovídá přibližně 29,4 kPa. Pomocí pSWE byla naměřená průměrná hodnota kortikální tuhosti u normálních povrchových ledvin  $15,4 \pm 2,5$  kPa (Săftoiu et al., 2019, s. 436). Nejdůležitějším problémem při hodnocení ledvin je nedostatek definovaných limitů tuhosti u zdravých ledvin, což následně způsobuje rozdíly

mezi výsledky studií (Peride et al., 2016, s. 363). SWE má díky absenci vnější komprese schopnost spolehlivě vyšetřit renální fibrózu u transplantované a také i normální ledviny. Většina studií se shoduje na menší rychlosti šíření střížných vln v ledvinném parenchymu pacientů s CKD než u zdravých lidí. Korelace rychlosti šíření střížných vln a biochemických parametrů chronického onemocnění ledvin je některými studii značně potvrzena, jiné ji vyvrací (Sigrist et al., 2017, s. 1321). Několik studií uvádí korelaci mezi ztuhlostí ledvin a fibrózou nebo funkcí ledvin. V jiných studiích bylo zjištěno, že rychlost šíření střížných vln klesá se zvyšujícím se stádiem CKD nebo se snižováním eGFR. Na experimentálních modelech glomerulosklerózy korelovala kortikální tuhost se stupněm renální dysfunkce, u lidí je ale tato korelace vysoce variabilní (Săftoiu et al., 2019, s. 436). Ve studii s nativními ledvinami při použití SWE byla zjištěna vyšší hodnota tuhosti 9,4 kPa u CKD a normální ledvinný parenchym odpovídal hodnotě 4,4 kPa (Anvari et al., 2015, s. 716). Stupeň chronického onemocnění ledvin u dětí zvýšil hodnoty SWE hlavně v ledvině postižené vesikoureterálním refluxem, ale také v kontralaterální ledvině, což může být důsledkem zvýšené glomerulární filtrace a minimální fibrózy. U transplantovaných ledvin se korelační koeficienty při použití pSWE pohybovaly v rozsahu 0,31-0,47 s průměrnou nebo střední shodou mezi operátory, zatímco u nativních ledvin byly korelační koeficienty v rozmezí 0,6-0,71 se silnou reprodukovatelností metody. Shoda mezi operátory je při elastografickém hodnocení ledvin nižší než u studií s jaterní ztuhlostí. S technikou 2D-SWE existuje v současné době jen několik studií. Při TE je objem tkáně zahrnutý do měření v pevné hloubce s délkou 40 mm, což způsobuje nevhodné použití při vyšetření ledvin (Săftoiu et al., 2019, s. 436). 1D-TE je použitelná jen u transplantované ledviny díky jejímu povrchovému uložení pod kůží, protože bez ultrazvukového navádění je v oblasti uložení nativní ledviny špatná orientace nevhodná k provedení spolehlivého vyšetření (Peride et al., 2016, s. 363). Zajímavostí je nepřímá úměrnost mezi rychlostí šíření střížných vln a progresí CKD, rychlost vln se snižuje se zvyšujícím se stupněm chronického ledvinného onemocnění, což je odlišné od jaterní fibrózy, kde figuruje přímá úměrnost. Tento fakt zůstává neobjasněn, ale předpokládá se, že snížením průtoku krve ledvinou v důsledku fibrózy se snižuje tuhost ledvin a dochází ke snížení rychlosti šíření střížných vln (Sigrist et al., 2017, s. 1321). Změny prokrvení ledvin mohou mít vliv na tuhost ledvin a tím mohou vysvětlit určité nesrovnalosti mezi výsledky, protože intrarenální průtok krve se snižuje s progresí fibrózy. Snížení průtoku krve ledvinami by tedy mohlo být příčinou poklesu tuhosti s progresí CKD a mohlo by mít větší vliv na tuhost ve srovnání s renální fibrózou (Săftoiu et al., 2019, s. 436).

Ložiskové léze ledvin jsou obtížně rozpoznatelné ultrazvukem v B-módu, jeho funkce nejsou specifické pro malignitu, karcinomy ledvin se můžou jevit jako hyperechogenní

angiomyolipomy nebo hypoechogenní nezhoubné cysty ledvin. Rozlišení benigní a maligní léze ledvin pomocí USE by usnadnilo diagnostiku a nebylo by potřeba intravenózního kontrastu, použití CT nebo MR (Sigrist et al., 2017, s. 1321). Aplikace sonoelastografie v diagnostice ledvinných nádorů je omezena technologickými omezeními, mezi které patří obtížná dostupnost vnější komprese u vyšetření nativních ledvin, omezený průnik akustického impulzu vyvolávajícího příčné vlny a nešíření střížných vln v cystických lézích. V roce 2013 se ukázalo, že SE může být užitečná v rozlišení angiomyolipomů od renálních karcinomů při využití strain ratia a vzorů elastogramů nebo jen jednoho ze dvou parametrů (Anvari et al., 2015, s. 716-717). Pomoc SE bylo zjištěno, že zhoubné léze jsou až 2,8x tužší než nezhoubné a karcinomy mají větší tuhost než angiomyolipomy. Výsledky studií se SWE jsou různorodé, některé prokazují možnost rozlišení benigních a maligních lézí současně se zjištěním vyšší tuhosti zhoubných ložisek než angiomyolipomů, jiné studie ale tuto informaci vyvrací a předpokládají podobné fyzikální vlastnosti angiomyolipomu s maligním ložiskem. Diagnostikou ložiskových ledvinových lézí se zabývalo do této chvíle málo studií.

USE je považována za neinvazivní, nízkonákladovou alternativu k renální biopsii s povzbudivými výsledky v odhalení fibrózy u nativní a transplantované ledviny. Existují nedostatky v rozlišení jednotlivých stádií CKD či hodnocení fibrózy u alogenních štěpů. Nepřímá úměra rychlosti šíření střížných vln v ledvinném parenchymu a progresu fibrózy není dostatečně vysvětlena. Je nutné provést řadu dalších studií s větším počtem pacientů pro odstranění nedostatků a potvrzení dosud zjištěných informací (Sigrist et al., 2017, s. 1321-1322).

## **2.12 Vyšetření prostaty**

Rakovina prostaty je jedno z nejfrekventovanějších nádorových onemocnění u mužů a také představuje jednu z nejčastějších příčin úmrtí na rakovinu. Podezření na rakovinu prostaty pochází ze zvýšené či rostoucí hladiny prostatického specifického antigenu (PSA) nebo z digitálního vyšetření per rectum (DRE) odchylovajícího se od normálu. Na základě zjištěných abnormalit často provádíme dvanáctijádrovou sextantní biopsii vedenou pomocí TRUS k vyloučení karcinomu prostaty. TRUS nedokáže spolehlivě rozlišit normální tkáň od karcinomu prostaty, z toho důvodu se biopsie provádí prostorově systematicky, aby došlo k odebrání reprezentativních vzorků celé prostaty. Necílená biopsie může způsobit krvácení či infekci a výsledky mohou vyjít falešně negativně (Sigrist et al., 2017, s. 1322). Saturační biopsie až se 40 odebranými vzorky sice může vyloučit rakovinu, ale má svá omezení jako jsou nemocnost, náklady či nadměrná diagnóza mikroskopických nádorových ložisek. Screening

PSA vede k podstatnému počtu nepotřebných biopsií u pacientů bez karcinomu prostaty či indolentní formy rakoviny, která nevyžaduje okamžitou léčbu a až v 17-21 % vykazuje falešně negativní výsledky (Săftoiu et al., 2019, s. 429). Včasná diagnostika asymptomatických stádií v rámci screeningových testů (PSA a DRE) může výrazně zlepšit dlouhodobé přežití. Novotvar se nachází v 70 % případů v periferní zóně prostatické žlázy (Anvari et al., 2015, s. 712-713). Karcinom prostaty je tužší než normální tkáň prostatické žlázy podle DRE, USE nám pomocí barevné mapy tuhosti usnadní náhled na danou oblast a umožní cílenou biopsii. TRUS elastografie se používá k cílené biopsii k potencionálnímu zmenšení počtu potřebných vzorků, nákladů a nemocnosti populace ve srovnání s necílenými biopsiemi, ale také může odhalit zcela nové ložisko nebo zhodnotit dříve nalezenou abnormalitu (Sigrist et al., 2017, s. 1322-1323).

Při provedení transrektální SE by měl elastogram pokrývat celou prostatickou žlázu a okolní tkáň, ale zároveň by se měl vyhnout močovému měchýři. Hypoechogenní tuhé léze jsou podezřelé z malignity. Semikvantitativní posouzení lze získat z měření strain ratia mezi dvěma oblastmi zájmu. Použitím postupného skenování prostaty od dolní k horní části při SE je umožněna detekce ztuhlých oblastí a porovnávání tuhosti mezi lézemi a okolní zdravou prostatickou tkání (Săftoiu et al., 2019, s. 429). SE je nejstudovanější metoda při lokalizaci karcinomu prostaty, která k vytvoření kvalitního elastogramu vyžaduje lehké a stejnoměrné stlačení tkáň prostatické žlázy (Anvari et al., 2015, s. 714). Při SE jsou operátorem prováděna pomocí transrektální sondy mírná přerušovaná stlačení, přičemž zlepšení homogenity deformace lze dosáhnout vložením balonku naplněného vodou mezi stěnu rekta a sondu. Z důvodu kvalitativní metody je výsledná tuhost vyšetřované tkáň odhadovaná podle rozdílů napětí v okolních oblastech. Diagnostická přesnost v detekci karcinomu prostaty je lepší než u TRUS a mnoho studií vykazuje i lepší přesnost cílené biopsie navigované transrektální ultrazvukovou elastografií než systematické biopsie naslepo. Nárůst míry odhalení karcinomu prostaty vykazuje kombinace řízené a neřízené biopsie. Navzdory tomu jiné studie ukazují smíšené výsledky, dle kterých TRUS elastografie není schopna přesně odhalit sextanty ukrývající nádorovou tkáň, z toho důvodu není doporučeno opustit od nastavených pravidel systematické necílené biopsie či snížit počet odebíraných vzorků na základě SE (Sigrist et al., 2017, s. 1323). Jedna nedávná studie vykazuje neschopnost SE odlišit karcinom prostaty od chronického zánětu (Săftoiu et al., 2019, s. 429). Studie uvádí u tohoto typu elastografie citlivost v rozmezí 51,1-91,7 % a specificitu 62,2-86,8 %. U nedávné metaanalýzy s chirurgickou patologií jako referenčním standardem představovala souhrnná senzitivita hodnotu 0,72 a specificita 0,76. Tato metoda nám sice poskytuje další informace o prostatické

žláze ve srovnání s konvenčním ultrazvukem v B-módu, ale cílená biopsie navigovaná pomocí SE nemůže nahradit systematickou biopsii vedenou pomocí TRUS (Anvari et al., 2015, s. 714).

SWE má výborné výsledky při rozlišování benigní a maligní tkáně prostatické žlázy (Sigrist et al., 2017, s. 1323). Pokud je prostatická žláza nezvětšená, tak se vleze v příčném řezu na jeden elastogram, naopak když je zvětšená, tak se provádí zobrazení každé strany prostaty od základny po vrchol zvlášť. Je možné vypočítat poměr středních hodnot elasticity dvou oblastí (Săftoiu et al., 2019, s. 429-430). Operátoři by měli udržovat stálý, stabilní a lehký tlak a neměla by se lišit míra komprese, sonda by měla být v každé pozici stabilní 2-4 s, aby došlo k ustálení obrazu. Ve srovnání se SE je tato metoda spolehlivější a vyžaduje menší školení operátorů. Zdravá prostata u mladých mužů vykazuje rovnoměrnou tuhost menší než 30 kPa. U benigní hyperplazie prostaty je rovnoměrně měkká periferní zóna, zvýšená tuhost a heterogenita se nachází v přechodné zóně prostatické žlázy. Benigní uzliny v periferní zóně vykazují tuhost menší než 35 kPa, naopak maligní léze mají tuhost větší než 35 kPa. Při mezní hodnotě rychlosti šíření střížných vln větší než 2,5 m/s byla uvedena citlivost 71,9 % a specifická 87,5 %. U mezních hodnot Youngova modulu 35-50 kPa se pohybovala citlivost v rozmezí 80,9-96,2 % a specifická 69,1-96,4 %. Odhadovaná elasticita karcinomu prostaty koreluje s Gleasonovým skórem (Anvari et al., 2015, s. 714). Ve studiích se mezní hodnoty pohybovaly od 35 kPa do 50 kPa, senzitivita a specifická vyšetření se lišily, ale významná je u většiny případů vysoká negativní prediktivní hodnota, což signalizuje možnou pomoc snížit počet invazivních biopsií v diagnostice karcinomu prostaty pomocí neinvazivní SWE (Sigrist et al., 2017, s. 1323). Pro klinické využití SWE vyplývá nejlepší mezní hodnota tuhosti 35 kPa a 37 kPa pro odlišení maligních lézí s maximalizací negativní prediktivní hodnoty. Parametr SWE ratio přináší další informace a zvažuje zvýšenou tuhost periferní zóny prostaty z kalcifikace a chronické prostatitidy. Nejlepší přesnost při rozlišení mezi uzlem a přilehlou periferní žlázou pro nezhoubné a zhoubné léze ukazuje poměr  $1,5 \pm 0,9$  a  $4,0 \pm 1,9$ .

Ultrazvukovou elastografií lze navíc kombinovat s dalšími zobrazovacími metodami ve stejném vyšetření k vyřešení heterogenního růstového znaku karcinomu prostaty. Zlepšení v odhalení a předpovědi rakoviny bylo zjištěno během multiparametrického ultrazvuku, kdy elastografie byla použita jako triážní test následovaná CEUS nebo jako doplněk během fúze obrazu MR a TRUS (Săftoiu et al., 2019, s. 430).

Ultrazvuková transrektální elastografie nese riziko nadměrného stlačení a falešného zvýšení tuhosti tkáně při měření, což může způsobit i prostatitida, benigní hyperplazie prostaty či mikrokalcifikace a mohou tak vznikat falešně pozitivní výsledky. SE je ovlivněna vyšetřujícím, který provádí ruční kompresi prostatické žlázy pomocí sondy, je těžké udržet

stejnou kompresi po celou dobu vyšetření a při této metodě jsou obtížněji detekovatelná ložiska nacházející se v oblastech mimo zadní část prostatické žlázy. Srovnání SWE s biopsií je náročné především pro malou kruhovou oblast zájmu v porovnání se vzorkem biopsie, existuje však několik dalších omezení jako vyžadované zobrazení levého a pravého laloku samostatně, pomalá obnovovací frekvence obrazu, zpoždění pro stabilizaci obrazu či zmenšení signálu u zvětšených prostat (Sigrist et al., 2017, s. 1323-1324). Výsledky můžou být také negativně ovlivněné jizvami po předchozí transuretrální resekci prostaty, křeči pánevního svalu v důsledku další vnitřní komprese nebo sekundární fibrózou u chronické prostatitidy a dobře diferencované karcinomy nemusí být tužší než normální prostatická tkáň (Anvari et al., 2015, s. 715). V současné době je ultrazvuková elastografie považována za doplňkovou metodu při diagnostice karcinomu prostaty a k vedení TRUS biopsie. Pro potvrzení přesnosti této metody a úspěšnosti v navigované biopsii je potřeba prospektivních multicentrických studií a také je potřeba posoudit možnost rozlišení agresivních a neagresivních nádorů prostaty (Sigrist et al., 2017, s. 1324).

## 2.13 Vyšetření varlat

Tradičně byla řešena přítomnost fokální léze ve varlatech odstraněním varlete pro histologické vyšetření za předpokladu, že téměř všechny takové léze jsou maligní, v současné době ale díky moderní ultrazvukové technologii je tento přístup zastaralý a až 80 % náhodně objevených lézí je benigních. Použití novějšího CEUS a elastografických technik kombinovaných jako multiparametrický ultrazvuk vedlo k opatrnějšímu přístupu k náhodným fokálním lézím varlat. Použití elastografie u abnormálních oblastí varlat ke zjištění tuhosti jako známka základní malignity je atraktivním návrhem, který lze přidat k celkovému víceparametrickému hodnocení (Săftoiu et al., 2019, s. 439). Nejvíce byla v klinické praxi zkoumaná ultrazvuková elastografie varlat zaměřená na léze, nádorové masy vykazují zvýšenou tuhost oproti snížené tuhosti u benigních procesů jako jsou zánět či infarkt varlat (Yavuz et al., 2018, s. 142).

SE je nejvíce používaná technika pro hodnocení lézí varlat. Rané studie převážně retrospektivní komentovaly možnost rozlišení maligních od benigních lézí s jistotou s užitím SE a SR, nicméně nedávné studie vykazují nízkou specificitu a dřívější studie nepotvrzují. Řada případů podrobně popisujících použití SE a SR, některé v kombinaci s CEUS, popsala nálezy u nádorů z Leydigových buněk, epidermoidních cyst, hematomu, lymfomu, fokálního infarktu, kapilárního hemangiomu, buněk nadledvin a extra-testikulární léze bez porovnání mezi nálezy těchto různých lézí.

Pro hodnocení lézí varlat pomocí SWE existuje jen omezené množství informací. Zkoumání role SWE v celkovém hodnocení parenchymu pozadí naznačuje, že zvýšené hodnoty mohou být naměřeny u testikulární mikrolitiázy, neplodnosti nebo nesestouplého varlete. Tato metoda má také schopnosti rozlišit seminomy od neseminomatózních nádorů a byla hodnocena u vyhořelých nádorů. Není publikovaná žádná prospektivní studie uvádějící rozdíly v SWE ve fokálních lézích varlat. Hodnoty naměřené pomocí SWE se liší mezi různými přístroji a nejsou zaměnitelné. Hodnocení ložiskových lézí přilehlých k tunice albuginea ztěžují problémy spojené s fibrózními oblastmi přiléhajícími k této oblasti. Měření pomocí SWE se mezi centrální a periferní zónou liší a bod měření vyžaduje standardizaci.

Použití všech typů ultrazvukové elastografie vykazuje slibné výsledky v hodnocení fokálních lézí varlat, tuhost tkáně byla potvrzena technikami SE i SWE, ale dochází k překrytí nálezů mezi benigními a maligními novotvary. V současné době je dovoleno používat elastografii jako doplněk celkového ultrazvukového vyšetření než jako samostatnou techniku (Săftoiu et al., 2019, s. 439-440).

Torze varlat je častou příčinou nouzových situací šourku a je často nesprávně diagnostikovaná jako akutní zánět varlat a nadvarlat kvůli zvláštním klinickým projevům. Přetočení varlat by mělo být diagnostikováno co nejdříve, protože po 6 hodinách může dojít k nevratnému poškození spermatogenních tkání. Za základní zobrazovací metodu v těchto situacích je považována vysokofrekvenční barevná dopplerovská ultrasonografie, ale některé případy neúplné torze však nelze rozeznat. CEUS je v diagnostice užitečný, ale některé studie naznačují, že nemá žádnou jasně viditelnou výhodu ve srovnání s Dopplerovou metodou. U metody SWE byla hodnocena její klinická hodnota v diferenciální diagnostice torze varlat a akutního zánětu varlat a bylo zjištěno, že maximální hodnota Youngova modulu tuhosti testikulární kapsle (membrány varlete) u torze varlete ( $138,76 \pm 58,27$  kPa) je značně vyšší než u akutního zánětu ( $16,40 \pm 4,71$  kPa). Překroucená spermatická část je také tužší ( $166,61 \pm 60,07$  kPa) než dolní segment spermatické šňůry s akutním zánětem ( $14,14 \pm 4,93$  kPa), zatímco parenchym centrální části nevykazuje rozdílné hodnoty tuhosti mezi těmito dvěma diagnózami. SWE "stiff ring sign" varlete označuje vzhled červeného prstence obklopující okraj varlete a "stiff knot sign" spermatické šňůry (funiculus spermaticus) je definován jako červený uzel nacházející se v překrouceném spodním úseku spermatické šňůry, tyto dva znaky současně s vyšší tuhostí testikulární kapsle a otočené spermatické části jsou typické nálezy pomocí SWE při přetočení varlat, tato metoda má významnou klinickou hodnotu v diferenciální diagnostice torze a akutního zánětu varlat. V případě, že konvenční ultrazvuk



nedokáže přesně určit torzi varlete, tak lze použít SWE ke stanovení jasné diagnózy (Xue et al., 2020, s. 43-47).

Byla zkoumána spolehlivost SWE pro předpověď potenciálu plodnosti u mužů a předběžnou diagnostiku poruch na základě určení množství spermií pomocí stanovení střední tuhosti varlat. Mezi středními rychlostmi šíření střížných vln ve varlatech a množstvím spermií nebo průměrnou velikostí varlat byla nalezena silná záporná závislost, zatímco mezi velikostí varlat a počtem spermií existuje dobrá přímá úměrnost. Rychlost šíření vln odpovídá druhé odmocnině tkáňové pružnosti. Pro rozlišení populace mužů s normálním počtem od sníženého množství (oligospermie) či úplného chybění spermií v ejakulátu (azoospermie) byly stanoveny mezní hodnoty střední rychlosti šíření střížných vln 1,465 m/s a 1,328 m/s, druhá hodnota ale vykazovala menší senzitivitu a specifitu. Pro rozlišení oligospermie a azoospermie byla stanovena hodnota 1,528 m/s. SWE s využitím techniky ARFI je spolehlivá, neinvazivní a efektivní sonografická metoda pro předpověď neplodnosti mužů, hlavně kvůli problémům s množstvím spermií a je potenciálně vhodná pro diagnostiku a následný screening patologií způsobující neplodnost mužů (Yavuz et al., 2018, s. 141-146).

## 2.14 Vyšetření v gynekologii

Rakovina děložního čípku je v celosvětovém měřítku čtvrtým nejčastějším maligním nádorem u žen. Cervikální tkáň vykazuje střední tuhost, která se s věkem nemění a procesem rakoviny se tkáň děložního čípku stává výrazně tužší, což je důležitý bod pro odlišení od benigních cervikálních lézí. Meta-regresní analýzou byly vyhodnoceny studie zabývající se rozlišením lézí děložního čípku pomocí transvaginální ultrazvukové elastografie. Diagnostická přesnost transvaginální sonoelastografie (TVSE) byla porovnávána s histopatologií, což je zlatý standard pro diagnostiku benigních a maligních lézí děložního čípku. Výsledek diagnostického prahu ukázal, že nedošlo k žádnému významnému prahovému účinku a Spearmanův korelační koeficient byl 0,267. TVSE vykazuje souhrnné diagnostické odds ratio (poměr šancí) 21,42, senzitivitu 0,87, specifitu 0,79 a hodnotu AUC 0,892, s výbornou shodou mezi pozorovateli. TVSE má relativně vysokou a uspokojivou hodnotu přesnosti pro diferenciální diagnostiku mezi maligními a benigními cervikálními lézemi a diagnostický výkon SE a SWE je podobně dobrý. Při použití SWE je maximální rychlost šíření střížných vln u maligních nálezů  $5,24 \pm 1,11$  m/s a u benigních lézí  $3,93 \pm 0,39$  m/s. TVSE lze použít s konvenčním ultrazvukem v B-módu k potvrzení diagnózy a je novou možností pro screeningové vyšetření, zejména v zemích s nízkými příjmy. Výsledky ukazují, že zobrazovací mechanismus, metoda hodnocení

či QUADAS score neovlivňují heterogenitu studie a jsou nutné další vysoce kvalitní studie k ověření účinnosti detekce pomocí ultrazvukové elastografie (Zhu et al., 2020, s. 7943-7952).

Hlavní příčinou novorozenecké úmrtnosti je spontánní předčasný porod. Pro odhad rizika předčasného porodu a předpověď úspěchu vyvolání porodu je rozhodující kvantitativní hodnocení děložního čípku. Bylo prokázáno, že digitální vyšetření neposkytuje dostatečně přesnou diagnózu skutečného předčasného porodu, v klinické praxi se používá kvantitativní hodnocení cervikální délky endovaginálním ultrazvukem, což zlepšuje předpověď nepříznivých výsledků, ale klasická ultrasonografie poskytuje pouze morfologické informace, nikoliv informace o mechanických vlastnostech děložního čípku. Použití shear wave elastografie s technikou SSI je možné pro hodnocení děložního čípku u těhotných pacientek. Ve studii byla měřena rychlost šíření střížných vln v nízké přední části děložního čípku s kruhovou oblastí zájmu o průměru 8 mm, kvůli menší vzdálenosti od sondy ve srovnání se zadní částí. U kratší délky těhotenství je rozsah hodnot větší než u druhého a třetího trimestru těhotenství. Rychlost šíření střížných vln v děložním hrdle (čípku) je mírně, ale významně snížena především ve druhém a třetím trimestru u pacientek s diagnostikovaným předčasným porodem a u pacientek, které předčasně porodily. Tuto metodu lze použít ke zvýšení specifity diagnózy a k rozeznání pacientek s rizikem předčasného porodu, byla prokázána také dobrá opakovatelnost mezi operátory. Měly by být provedeny další studie zabývající se vývojem rychlosti šíření vln u děložního hrdla během těhotenství a budou nezbytné pro stanovení klinického významu SWE pro diagnostiku předčasného porodu (Muller et al., 2015, s. 2789-2796).

## **2.15 Vyšetření cévního systému**

Stárnutí a aterosklerotické onemocnění zvyšuje tuhost cév. Biomarkery elastografie se jeví jako potenciální ukazatelé rizika cévní mozkové příhody a kardiovaskulárních onemocnění, či ukazatelé kompenzace arteriální hypertenze a diabetu mellitu a mohou přinášet další informace na podporu klinického rozhodování. Většina studií je založena na technice SE, časné studie používaly intravaskulární ultrazvuk a novější studie se zabývají neinvazivními technikami zahrnující SWE, které jsou porovnávány s alternativními zobrazovacími technikami, histologickým vyšetřením, měřením klinických výsledků anebo v experimentálních fantomech a simulacích.

Charakteristika plátu je obtížná, klinicky důležitá aplikace, pro kterou rostou důkazy o klinickém přínosu. Evidence ze zvířecích i lidských studiích SE jsou typicky spojené s oblastmi vysokého napětí u nestabilních ohrožených plátů (Săftoiu et al., 2019, s. 440).

Ischemické příhody jsou častější u plátů obsahující velké lipidové jádro než u tužších kalcifikovaných a fibrózních plátů. Mezi napětím tkáně měřeným pomocí SE a zranitelností plátu byla zjištěna přímá úměrnost a u pacientů s ložiskovými neurologickými příznaky byly nalezeny měkké pláty vykazující vyšší napětí než u ostatních pacientů. Naopak při použití endovaskulární SE byla v jedné studii u zranitelných plátů v koronárních tepnách naměřena nižší střední hodnota napětí než u stabilních plátů a pomocí endovaskulární SE byla po provedení atrektomie zjištěna nižší hodnota napětí. USE je schopna rozlišit různé typy aterosklerotických plátů a přináší další informace k vyšetření v B-módu (Mahmood et al., 2016, s. E106-E107).

Ve studiích na lidech, zvířatech ex vivo a fantomech byla dokázána proveditelnost vyčíslení Youngova modulu pružnosti v tepnách. Určení nestabilního karotického plátu pomocí SWE se jeví jako slibná klinická aplikace. Studie u lidí vykazují dobrou reprodukovatelnost a potenciální klinický přínos s poznatkem, že Youngův modul karotického plátu koreluje s kvalitativním hodnocením (Gray-Weale stupnice) a s kvantitativním měřením v B-módu (grayscale median) a pomáhá zlepšovat diagnostickou výkonnost zranitelnosti karotického plátu. I když se hodnoty v různých studiích liší, tak všechny studie vykazují pro nestabilní pláty nižší střední hodnotu modulu pružnosti (Săftoiu et al., 2019, s. 440). Při hodnocení aterosklerotických plátů v karotických tepnách způsobující  $\geq 50\%$  stenózu byly u asymptomatických stabilních plátů naměřeny vyšší hodnoty střední tuhosti (52,2 kPa) ve srovnání s asymptomatickými progredujícími pláty (30,4 kPa) a se symptomatickými pláty (36,4 kPa), mezi tuhostí asymptomatických progredujících a symptomatických plátů nebyl nalezen významný rozdíl. Asymptomatické stabilní pláty mají i významně vyšší maximální hodnoty tuhosti oproti asymptomatickým progredujícím a symptomatickým plátům a vyšší minimální hodnoty než asymptomatické progredující pláty. Hodnota tuhosti 26 kPa byla nastavena jako optimální mezní hodnota. Pláty vykazují podobnou echogenitu při vyšetření v B-módu (Školoudík et al., 2021, v tisku).

Byla prokázána klinická aplikace k rozlišení akutní od chronické hluboké žilní trombózy (HŽT) u lidí a systematický přehled dospěl k závěru, že elastografie je pomocný doplněk k současnému zobrazování první linie pro hlubokou žilní trombózu. Nicméně nejméně jedna studie nebyla schopna rozlišit akutní a subakutní HŽT (Săftoiu et al., 2019, s. 440). Pro prevenci vzniku plicní tromboembolie je podstatná včasná odhalení a léčba HŽT, protože možnosti léčby jsou obecně stanoveny stářím trombu. Žádná konvenční zobrazovací metoda není schopna spolehlivě odlišit akutní a chronickou HŽT. Trombus v průběhu času prochází dynamickým procesem změn v extracelulární matici a buněčnosti. Na počátku vzniku je trombus tvořen

zejména červenými krvinkami zapletenými do fibrinu, později do trombu cestují krevní destičky a fibroblasty a hojení způsobuje fibrózu krevní sraženiny a přestavbu žilní stěny. Zdá se, že tyto patofyziologické procesy způsobují schopnost měření časově závislého vývoje trombu pomocí metod sonoelastografie, mnoho studií zabývajících se určením stáří krevní sraženiny pomocí USE je experimentálních. Při studii se SE u skryté žíly dolní končetiny (v. saphena) byla zjištěna zvyšující se tuhost trombu v průběhu času (Anvari et al., 2015, s. 718).

SWE byla použita ve studii u pacientů s akutní ischemickou cévní mozkovou příhodou s využitím měření podélného modulu pružnosti u stěn karotických tepen. Rychlost šíření pulzové vlny (PWV) a hodnoty středního a maximální modulu pružnosti včetně směrodatné odchylky byly u pacientů s akutní ischemickou cévní mozkovou příhodou vyšší než u zdravé kontrolní skupiny, což svědčí o zvýšené arteriální tuhosti u postižených pacientů. Věk, systolický krevní tlak, PWV a nízkodenzitní lipoproteiny (LDL) vykazují přímou korelaci se střední a maximální hodnotou pružnosti a jsou nezávislými rizikovými faktory longitudinálního modulu pružnosti. Optimální mezní hodnoty byly stanoveny pro PWV 9,66 m/s, pro střední hodnotu tuhosti 55,4 kPa a pro maximální hodnotu 65,4 kPa, přičemž hodnoty longitudinálního modulu pružnosti vykazují mírně lepší diagnostickou přesnost než PWV. SWE nabízí potenciální klinický přínos a byla vyhodnocena jako rovnocenná metoda k měření rychlosti šíření pulzové vlny, která využívá k hodnocení tuhosti stěn tepen kruhový modul pružnosti (Li et al., 2016, s. 182-188).

Endoteliální dysfunkce u Behcetovy nemoci byla zkoumána pomocí SWE měřením arteriální tuhosti a měřením tloušťky komplexu intimy-medie karotických tepen v B-módu. Postižené karotické tepny jsou významně tlustší než u zdravých pacientů a střední rychlost šíření střížných vln je u pacientů v pravé ( $3,72 \pm 0,94$  m/s) i v levé karotické tepně ( $3,57 \pm 0,72$  m/s) také vyšší než u kontrolní zdravé skupiny ( $2,42 \pm 0,49$  m/s,  $2,56 \pm 0,49$  m/s), což naznačuje slibné výsledky metody SWE pro hodnocení endoteliálních poruch u Behcetovy choroby pomocí tuhosti tepen a odhad kardiovaskulárního rizika u těchto pacientů (Alis et al., 2018, s. 446-450).

Cévní zobrazení je obtížné kvůli malé velikosti heterogenní tkáně, dynamickému prostředí plynoucího z pulzujícího krevního toku, tenkých stěn cév, nelineární tuhosti tkáně a předpokladů modelu šíření střížných vln. Studie by měly uvádět rychlost šíření střížných vln nebo výpočet použitý k převedení rychlosti na Youngův modul, protože budoucí skenery mohou využívat různé modely šíření vln. Vaskulární aplikace jsou slibné, hlavně pro hodnocení

karotických plátů, kde jsou vyžadovány větší multicentrické studie k ověření dřívějších nálezů, stanovení mezních hodnot a optimalizaci metodik (Săftoiu et al., 2019, s. 440).

## 2.16 Vyšetření muskuloskeletálního systému a periferních nervů

Počet studií zabývajících se problematikou využití ultrazvukové elastografie v muskuloskeletálním systému stoupá, jsou k dispozici data týkající se použití SE, ARFI zobrazování a SWE pro hodnocení zejména šlach, svalů a nervů (Săftoiu et al., 2019, s. 438).

Provedení USE šlach není jednoduché, techniky provedení jsou stále ještě rozvíjeny, ale v posledních letech je aktivně zkoumána problematika elastických vlastností šlach u zdravých dobrovolníků a u pacientů s postižením šlach. Zdravá šlacha je velmi tuhá tkáň, Youngův modul pružnosti se pohybuje v rozsahu 400-1300 kPa, ale degenerativní změny nebo zranění mohou tuhost šlachy snížit (Ryu, Jeong, 2017, s. 189-190).

Zdravá Achillova šlacha je při SE ve většině případů tuhá a její tuhost se zvyšuje s věkem pacienta. Při tendinopatii Achillovy šlachy je strain ratio v porovnání s Kagerovým tukovým polštářem vyšší a šlacha se stává méně tužší. Ukázalo se, že SE je nadřazená B-módu a potvrzuje to její schopnost odhalit patologii předtím než jsou morfologické změny viditelné v B režimu vyšetření. Výsledky měření s použitím SWE jsou variabilní a závislé na použitém přístroji, pozici šlachy a rovině zobrazení (Săftoiu et al., 2019, s. 438). Zdravá Achillova šlacha v neutrální pozici vykazuje střední hodnotu tuhosti průměrně 291 kPa, zatímco přetržená šlacha nižší hodnoty v průměru 56 kPa. Tuhost Achillovy šlachy se zvyšuje po statickém strečinku a dlouhodobém cvičení, z toho plyne možnost využití SWE ke sledování efektu cvičení u atletů a u pacientů podstupující rehabilitační léčbu. SWE je navrhována i ke sledování hojícího se procesu přetržené Achillovy šlachy po chirurgické operaci, elasticita vykazuje pozitivní korelaci s funkčním výsledkem během sledovacího období (Ryu, Jeong, 2017, s. 190-191).

U vyšetření patelární šlachy pomocí SE nebyl nalezen žádný rozdíl mezi sportovci a kontrolní skupinou, ani mezi dominantní a nedominantní nohou. S věkem se významně snižuje rychlost šíření střížných vln, SWE má schopnost detekovat stárnutí šlachy před morfologickými abnormalitami pozorovanými v B-módu.

Přidáním SE k ultrazvukovému nálezu v B-módu u laterální epikondylitidy se zvýšila senzitivita pro detekci patologie šlachy a tato kombinace vykazovala lepší korelaci s výsledky histologického vyšetření.

V rotátorové manžetě může SE detekovat malé částečné slzy šlachy nadhřebenového svalu (m. supraspinatus), ve kterém dochází ke snížení rychlosti šíření vln u pacientů

s tendinopatií. V současné době nejsou v longitudinálních studiích k dispozici žádná pozorování monitorující hojení šlach.

Použitím SE se normální uvolněný sval jeví jako nehomogenní mozaika se střední nebo zvýšenou tuhostí s rozptýlenými méně tuhými či tužšími oblastmi, hlavně na hranicích svalu. U SWE se normální relaxovaný sval zobrazuje s nižší rychlostí šíření střížných vln, která stoupá v průběhu kontrakce a hraniční fascie nebo aponeuróza mají střední rychlost šíření. Fyziologické faktory, jako jsou věk, pohlaví, svalová výkonnost, únava nebo trénink, a patologické změny, mezi které řadíme trauma, degeneraci nebo neuromuskulární onemocnění, ovlivňují svalovou tuhost. Jsou k dispozici normální a abnormální rozsahy rychlostí střížných vln různých svalů, ale výsledky jsou omezené bez stanovení referenčních hodnot. SWE je spolehlivá kvantitativní zobrazovací metoda pro diagnostiku, rozhodnutí o léčbě a sledování a může být alternativou k elektromyografii pro různé neurologické stavy jako jsou Parkinsonova choroba, chronická cévní mozková příhoda, dětská mozková obrna, roztroušená skleróza nebo Duchennova dystrofie. Při zánětlivých myopatiích jsou postižené svaly vyšetřované pomocí SE hodnoceny jako tužší a byly získány významné korelace s histologickým nálezem. Akutní svalové a šlachové slzy vykazují nižší rychlost šíření střížných vln, ale nejsou publikované žádné prospektivní studie (Săftoiu et al., 2019, s. 438).

Při měření velkého žvýkacího svalu (m. masseter) byly zjištěny hodnoty střední tuhosti  $10,04 \pm 4,3$  kPa a u zdvihače hlavy (m. sternocleidomastoideus) dosahovala tuhost hodnot  $9,89 \pm 4,1$  kPa, s rostoucím věkem pacientů se tuhost svalů snižuje (Heřman et al., 2017, s. 321-322). Hodnoty tuhosti velkého žvýkacího svalu se u zdravé skupiny pohybovaly v rozmezí  $5,25-42,82 \pm 5,56$  kPa a hodnoty rychlosti šíření vln v rozsahu 1,27-2,45 m/s. U zdravých osob jsou hodnoty obou velkých žvýkacích svalů podobné, zatímco u temporomandibulárních poruch, což jsou časté orofaciální problémy, dosahuje postižený sval ve srovnání se svalem na druhé straně vyšších hodnot tuhosti, která odpovídá závažnosti příznaků těchto poruch. Nyní neexistuje žádný spolehlivý postup pro hodnocení žvýkacích svalů u temporomandibulárních poruch, metoda ultrazvukové elastografie má slibné výsledky, ale je potřeba provést studie s větší skupinou lidí k ověření přesnosti metody (Olchoway et al., 2020, s. 1-8).

Korakohumerální vaz je u pacientů s adhezivní kapsulitidou tužší v symptomatickém ramenu při použití SWE. Plantární fascie se stává s vyšším věkem méně tuhá a u pacientů s plantární fasciitidou je viděna abnormalita pomocí ARFI, SE nebo SWE i při absenci patologického nálezu v B-módu, což naznačuje roli elastografie v diagnostice raných stádií

plantární fasciitidy. Pomocí SE byla zjištěna vyšší tuhost příčného karpálního vazy, což může být jednou z příčin syndromu karpálního tunelu.

U syndromu karpálního tunelu je nalezena významně nižší hodnota napětí středového nervu (n. medianus) s tužší perineurální oblastí obklopující nerv. SE je schopna sledovat zotavování středového nervu po uvolnění karpálního tunelu nebo po lokální aplikaci kortikosteroidů, ale nemá schopnost posuzovat závažnost. Byla navržena kombinace použití B-módu a SE. Pomocí pSWE byla u pacientů se syndromem naměřena rychlost ve středovém nervu 3,857 m/s ve srovnání s rychlostí 2,542 m/s u kontrolní skupiny. 2D-SWE vykazovala u nemocných pacientů hodnotu střední tuhosti 66,7 kPa a u zdravých osob 32,0 kPa. Obě metody dynamické ultrazvukové elastografie mají vysokou senzitivitu i specificitu pro diagnostiku syndromu karpálního tunelu a jsou vysoce reprodukovatelné. Zvýšenou tuhost způsobuje fibróza nervu nebo otoky.

U diabetických pacientů se snižuje elasticita tibiálního nervu a dále se snižuje při rozvinutí diabetické periferní neuropatie. Při vyšetření nervů ultrazvukem je třeba vzít v úvahu postavení kloubů a končetin a stáří pacientů (Săftoiu et al., 2019, s. 438).

Pomocí SWE byla měřena elasticita i u ulnárního nervu při úžinovém syndromu loketního nervu. Střední hodnota tuhosti Guyonova kanálu byla u pacientů se syndromem tohoto kanálu značně vyšší (99,41 kPa) ve srovnání se zdravou skupinou (49,08 kPa). Při měření elasticity ulnárního nervu u syndromu kubitálního tunelu byly také měřeny vyšší hodnoty tuhosti ( $96,38 \pm 9,62$  kPa) než u lidí bez potíží ( $33,08 \pm 10,13$  kPa) (Zakrzewski et al., 2019, s. e585).

Při měření elastografie by měla být sonda kolmá na tkáň, aby se zabránilo anizotropii, protože ultrazvuk v B-módu ovlivňuje kvalitu elastogramu. Použití distančních pomůcek pro SE povrchových struktur nemá vliv na elastogram, je nutná minimální vzdálenost 3 mm mezi sondou a lézí, ale je třeba se vyhnout zahrnutí gelu do oblasti zájmu, což by mohlo maskovat minimální rozdíly v tuhosti šlach. SWE vyšetření svalů a šlach by mělo být prováděno s minimálním tlakem sondy. Rozměr oblasti zájmu neovlivňuje střední modul pružnosti. K dosažení přesného a spolehlivého SWE měření je potřeba, aby byla sonda orientovaná podélně na svalová vlákna. Střížné vlny se šíří rychleji ve svalech a šlachách v kontrakci a podél dlouhé osy šlach. Vazy by měly být vyšetřované ve stejné poloze jako odpovídají klouby.

Když je solidní struktura ohraničena nestlačitelnou skořápkou, tak je vyšetření vnitřní struktury pomocí SE omezené. Cystické léze mají charakteristickou mozaiku všech stupňů tuhosti. Mohou se objevit linie s nízkou tuhostí a to na rozhraních mezi tkáněmi, kolem kalcifikací, za kostí nebo na povrchové hraně homogenní léze. V důsledku měnícího se kontaktu s kůží lze pozorovat změny fluktuantů na okrajích Achillovy šlachy u axiálního

elastogramu. Limitací SWE je hloubka průniku, při vyšetření povrchových struktur lze dosáhnout lepšího zobrazení nanesením 5 mm vrstvy vazebného ultrazvukového gelu a tím vytvoření odstupů. SWE je ovlivněna působícím tlakem a úhlem sondy a modul smyku závisí na orientaci sondy vzhledem ke zkoumaným strukturám (Săftoiu et al., 2019, s. 438-439).

## 2.17 Vyšetření v pediatrii

Ultrazvuková elastografie jater je nejvíce zkoumané využití této metody, ale studie s přítomností dětských pacientů nejsou příliš početné a většinou se jedná jen o malou skupiny dětských pacientů. Studie s využitím TE vykazují dobrou diagnostickou přesnost při diagnostice cirhózy jater u dětí. Při srovnání ARFI zobrazení s biopsií jater bylo s mezní hodnotou 2 m/s dosaženo 100% citlivosti, ale značně nízké 32% specifity při odlišení významné jaterní fibrózy ( $F > 3$ ) od nevýznamné ( $F \leq 2$ ). Přesné odlišení jednotlivých stádií jaterní fibrózy je stejně jako u dospělých stále těžké. U dětí infikovaných virem HIV vykazovala játra větší tuhost než zdravá skupina a tuhost se u těchto pacientů zvyšuje v závislosti na věku, což je pravděpodobně způsobeno chronickou antivirotickou léčbou. NAFLD se stává nejčastějším chronickým onemocněním jater u dětí v rozvojových zemích. TE vykazuje u dětských pacientů s NAFLD dobré výsledky v odlišení nižších stádií fibrózy od vyšších významnějších stádií. ARFI zobrazení může odhalit významnou fibrózu také u dětí s transplantovanou ledvinou. Studie s TE vykazují dobré výsledky v posouzení možného rizika rozvinutí komplikací a závažnosti jaterní fibrózy po Kasaiově operaci u dětských pacientů s biliární artrézií (Pawluś et al., 2015, s. 539-541).

U sleziny zdravých dětí byla pomocí pSWE měřena hodnota rychlosti šíření střížných vln přibližně 2,25 m/s. Změny tuhosti sleziny u dětí můžeme pozorovat u jaterních a systémových onemocnění, nemoci kostní dřeně či splenomegalie. Při portální hypertenzi zaznamenáváme zvýšenou slezinnou tuhost, která celkově lépe vypovídá o komplikacích spojených s portální hypertenzí. Tuhost sleziny koreluje se stádiem jaterní fibrózy a také zastupuje roli ve výběru dětí po Kasaiově operaci k transplantaci ledviny (Dietrich et al., 2019, s. 319-320).

ARFI zobrazení bylo použito u dětských pacientů s vezikoureterálním refluxem, postižená ledvina vykazovala hodnoty rychlosti šíření  $5,70 \pm 1,71$  m/s ve srovnání s hodnotami  $4,09 \pm 0,97$  m/s u ledviny na druhé straně, zatímco u zdravé skupiny pacientů byla naměřena rychlost  $3,13 \pm 0,09$  m/s. Ledvina s primárním vezikoureterálním refluxem vykazovala nižší hodnoty tuhosti než ledvina postižená sekundárním refluxem (Zaleska-Dorobisz et al., 2015, s. 728).



Štítná žláza dospělých pacientů je rozsáhle zkoumaná pomocí USE, ale pro využití této metody u štítné žlázy dětských pacientů je známo málo informací (Dietrich et al., 2019, s. 320). Prevalence uzlů štítné žlázy je u dětí velmi nízká, ale z toho až 25 % uzlů bývá maligních.

Byla zjištěna užitečnost ultrazvukové elastografie v hodnocení tuhosti svalů u dětí se spastickou mozkovou obrnou, což může pomoci v plánování a hodnocení léčby. SE byla použita u kojenců s vrozenou torticollis při hodnocení tuhosti zdvihače hlavy, elastografie se může stát přídatným diagnostickým nástrojem ke konvenčnímu ultrazvuku v předpovědi výsledků léčby. USE byla použita i v hodnocení kongenitálních myopatií u dětí s dobrými výsledky. Je potřeba dalších studií s dětskými pacienty k potvrzení či vyvrácení dosud zjištěných informací (Zaleska-Dorobisz et al., 2015, s. 725-728).

V pilotní studii již byla zkoumána i proveditelnost měření elasticity myokardu u dětí pomocí SWE, která by mohla poskytnout kontrolní data pro dětské onkologické pacienty. Bylo zjištěno, že parasternální pohledy na dlouhou a krátkou osu interventrikulárního septa v bázi a střední části srdce mají lepší úspěšnost měření než pohled na septum v srdečním hrotu.

Ultrazvuková elastografie je užitečná v měření elasticity gastrointestinálního traktu, kde dokáže odhalit zánět, fibrózu či infiltraci a odlišit adenokarcinom od adenokarcinomu. V pilotní studii SE dosáhla dobrých výsledků v diagnostice a možnosti sledování pediatrických pacientů s Crohnovou chorobou (Dietrich et al., 2019, s. 320-321).

Lymfadenopatie je jeden z nejčastějších klinických problémů u dětí, přestože většinou je způsoben benigními problémy, tak zvětšené mízní uzliny mohou být také prvním znakem maligních onemocnění jakou jsou Hodgkinův lymfom, akutní leukémie či nehodgkinské lymfomy. Užitečnost USE v této problematice u dětských pacientů je jen na základě předpokladů, studií s mízními uzlinami dětí je velmi málo (Zaleska-Dorobisz et al., 2015, s. 726-727).

2D-SWE a pSWE pomocí měření tuhosti varlete u dětí dokáží rozeznat nesestouplé varle po operaci. U nesestouplých varlat byly měřeny hodnoty 0,75-2,8 m/s ve srovnání s kontrolní skupinou, kde se hodnoty rychlosti pohybovaly v rozmezí 0,65-1 m/s.

Ultrazvuková elastografie byla zkoumána i v neonatologii. Při použití transkraniální 2D-SWE v hodnocení elasticity periventrikulárního mozkového parenchymu byly zjištěny rozdílné hodnoty u předčasně narozených dětí a u dětí s hydrocefalem. Hodnoty tuhosti thalamu a bílé hmoty mozkové byly u předčasně narozených dětí výrazně nižší než u dětí narozených v termínu, byly stanoveny mezní hodnoty střední tuhosti 8,28 kPa pro thalamus a 6,59 kPa pro mozkový parenchym. Kojenci se zvýšeným intrakraniálním tlakem měly hodnoty tuhosti

mozku  $24,2 \pm 5,1$  kPa ve srovnání s hodnotami u zdravých kojenců  $14,1 \pm$  kPa a tuhost je v přímé korelaci s hodnotami intrakraniálního tlaku (Dietrich et al., 2019, s. 321-322).

## **2.18 Intraoperativní vyšetření**

Předoperační zobrazování k vizualizaci patologie pro zlepšení chirurgického plánování využívají všechny chirurgické obory. Vylepšená ultrazvuková technologie vyústila ve vysokofrekvenční malé sondy s lepším rozlišením zahrnující 3D ultrazvuk, CEUS a elastografie. Užitečnost intraoperativního ultrazvuku je méně zřejmá, ale je hlášeno použití intraoperativní elastografie pro játra, mozek, slinivku břišní, prostatu, plíce a ostatní orgány. Mezi výhody patří intraoperační navigace bez vystavení ionizujícímu záření nebo relevantního přerušování pracovního postupu, posouzení rozsahu resekce a monitorování a kompenzace orgánových posunů, což je nejvíce důležité pro mozek. Nevýhody USE zahrnují intraoperační orgánové deformity způsobené řadou faktorů zahrnující následky resekce nádoru a pooperační otok (Săftoiu et al., 2019, s. 440-441).

## Závěr

Ultrazvuková elastografie se dělí na statickou a dynamickou elastografii. Statickou elastografii nabízející kvalitativní či semikvantitativní hodnocení reprezentují nejstarší SE a statická elastografie využívající metodu ARFI. Dynamickou elastografii nabízející kvantitativní zhodnocení elasticity představují metody 1D-TE, pSWE a nejnovější 2D-SWE.

Ultrazvuková elastografie byla použita u vyšetření okohybných svalů u pacientů s autoimunitní hypertyreózou způsobující endokrinní orbitopatii a také při hodnocení optického nervu u pacientů s roztroušenou sklerózou. U slinných žláz, lymfatických uzlin a prsní žlázy pomáhá tato metoda odlišit benigní a maligní nádory, u lymfatických uzlin byla použita i endoskopická ultrazvuková elastografie. Při vyšetření štítné žlázy slouží k hodnocení tyreoidálních uzlů. Nově byla zkoumána i plicní onemocnění, kde je prozatím omezený počet provedených studií. Nejvíce zkoumaným uplatněním metody je při vyšetření jater, kde slouží zejména ke zhodnocení chronického onemocnění. S játry úzce souvisí slezina, měřením její elasticity můžeme posuzovat závažnost jaterního onemocnění. Elastografie byla zkoumána i v rozlišení akutního od chronického zánětu slinivky břišní a i k hodnocení tumorů slinivky. V gastrointestinálním traktu byla studována k hodnocení zánětlivých onemocnění střev v čele s Crohnovou chorobou a hodnocení rektálních nádorů. U ledvin slouží k hodnocení fibrózy, dokonce i u transplantovaného štěpu ledviny, a nádorů. U vyšetření prostaty se hodí nejen pro hodnocení lézí, ale také pro navigování biopsie. Využití má i v hodnocení lézí varlat, torze varlat či potenciálu plodnosti. V těhotenství vykazuje děložní čípek odlišnou elasticitu v případě předčasného porodu a také pomáhá hodnotit novotvary gynekologické oblasti. V cévním systému hraje roli v hodnocení aterosklerotického postižení cév. Dobrých výsledků dosahuje i v odhalení poranění, tendinopatií či jiných onemocnění šlach, svalů, vazů a nervů. U dětských pacientů je nejčastěji hodnoceno jaterní onemocnění, slezina, ledviny či svaly, a také má své zastoupení při neonatologickém vyšetření.

Ultrazvuková elastografie musí být používána téměř vždy současně s jinou zobrazovací metodou, nejčastěji s konvenčním B-módem. Metoda prochází v současné době ještě rozvojem, probíhají studie v této oblasti a dochází k vytváření standardů, aby mohla být zařazena samostatně do vyšetřovacího algoritmu pacientů bez použití jiné kontrolní vyšetřovací metody.

Cílem bakalářské práce bylo sumarizovat dohledané aktuální poznatky o ultrazvukové elastografii a jejím využití, předložit nejnovější poznatky o metodách ultrazvukové elastografie a jejich využití při vyšetření jednotlivých lidských orgánů. Všechny cíle byly splněny. Cílů bylo dosaženo pomocí dohledaných publikovaných a především zahraničních článků.

## Referenční seznam

ALIS, Deniz et al. 2018. Assessment of the common carotid artery wall stiffness by Shear Wave Elastography in Behcet's disease. *Medical Ultrasonography* [online]. **20**(4), 446-452 [cit. 2021-04-14]. ISSN 2066-8643. DOI: 10.11152/mu-1565. Dostupné také z: <https://www.medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/view/1565>

ANVARI, Arash et al. 2015. Clinical application of sonoelastography in thyroid, prostate, kidney, pancreas, and deep venous thrombosis. *Abdominal Imaging* [online]. **40**(4), 709-722 [cit. 2021-04-10]. ISSN 1432-0509. DOI: 10.1007/s00261-015-0383-2. Dostupné také z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00261-015-0383-2>

CANTISANI, Vito et al. 2017. Prospective evaluation of Quasistatic Ultrasound Elastography (USE) compared with Baseline US for parotid gland lesions: preliminary results of elasticity contrast index (ECI) evaluation. *Medical Ultrasonography* [online]. **19**(1), 32-38 [cit. 2021-04-09]. ISSN 2066-8643. DOI: 10.11152/mu-923. Dostupné také z: <https://medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/view/923>

CIOBANU, Lidia. 2020. Pancreatic Elastography. In: LUPSOR-PLATON, Monica. *Ultrasound Elastography* [online]. Rijeka: IntechOpen, kapitola 9, 1-12 [cit. 2021-04-12]. ISBN 978-1-83880-015-4. DOI: 10.5772/intechopen.89965. Dostupné také z: <https://www.intechopen.com/books/ultrasound-elastography/pancreatic-elastography>

DIETRICH, Christoph Frank et al. 2019. General advice in ultrasound based elastography of pediatric patients. *Medical Ultrasonography* [online]. **21**(3), 316-326 [cit. 2021-04-15]. ISSN 2066-8643. DOI: 10.11152/mu-2063. Dostupné také z: <https://medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/view/2063>

DIETRICH, Christoph Frank et al. 2017. EFSUMB Guidelines and Recommendations on the Clinical Use of Liver Ultrasound Elastography, Update 2017 (Short Version). *Ultraschall in der Medizin* [online]. **38**(4), 377-394 [cit. 2021-04-16]. ISSN 1438-8782. DOI: 10.1055/s-0043-103955. Dostupné také z: <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/html/10.1055/s-0043-103955>

DURMAZ, Mehmet Sedat et al. 2018. Effectiveness of Shear Wave Elastography in the diagnosis of acute pancreatitis on admission. *Medical Ultrasonography* [online]. **20**(3), 278-284 [cit. 2021-04-12]. ISSN 2066-8643. DOI: 10.11152/mu-1398. Dostupné také z: <https://medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/view/1398>

DVOŘÁK, Karel. 2019. Neinvazivní diagnostika jaterních chorob - zobrazovací metody. *Vnitřní lékařství* [online]. **65**(9), 539-545 [cit. 2021-04-16]. ISSN 1801-7592. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/vnitri-lekarstvi/2019-9-1/neinvazivni-diagnostika-jaternich-chorob-zobrazovaci-metody-115574>

FANG, Cheng a Paul S. SIDHU. 2020. Ultrasound-based liver elastography: current results and future perspectives. *Abdominal Radiology* [online]. **45**(11), 3463-3472 [cit. 2021-04-16]. ISSN 2366-0058. DOI: 10.1007/s00261-020-02717-x. Dostupné také z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00261-020-02717-x>

FORTE, Antonio J. et al. 2019. Ultrasound Elastography Use in Lower Extremity Lymphedema: A Systematic Review of the Literature. *Cureus* [online]. **11**(9), e5578, 1-8 [cit. 2021-04-09]. ISSN 2168-8184. DOI: 10.7759/cureus.5578. Dostupné také z: <https://www.cureus.com/articles/22670-ultrasound-elastography-use-in-lower-extremity-lymphedema-a-systematic-review-of-the-literature#>

GERSAK, Mariana Mirela et al. 2015. Endoscopic ultrasound for the characterization and staging of rectal cancer. Current state of the method. Technological advances and perspectives. *Medical Ultrasonography* [online]. **17**(2), 227-234 [cit. 2021-04-14]. ISSN 2066-8643. DOI: 10.11152/mu.2013.2066.172.gsk. Dostupné také z: <https://medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/view/601>

GIBIINO, Giulia et al. 2019. Spleen ultrasound elastography: state of the art and future directions - a systematic review. *European review for medical and pharmacological sciences* [online]. **23**(10), 4368-4381 [cit. 2021-04-12]. ISSN 2284-0729. DOI: 10.26355/eurrev\_201905\_17944. Dostupné také z: <https://www.europeanreview.org/article/17944>

GIUNTA, Mariangela, Dario CONTE a Mirella FRAQUELLI. 2016. Role of spleen elastography in patients with chronic liver diseases. *World Journal of Gastroenterology* [online]. **22**(35), 7857-7867 [cit. 2021-04-12]. ISSN 2219-2840. DOI: 10.3748/wjg.v22.i35.7857. Dostupné také z: <https://www.wjgnet.com/1007-9327/full/v22/i35/7857.htm>

HEKIMOGLU, Koray et al. 2015. The role of shear wave elastography in the diagnosis of chronic autoimmune thyroiditis. *Medical Ultrasonography* [online]. **17**(3), 322-326 [cit. 2021-04-11]. ISSN 2066-8643. DOI: 10.11152/mu.2013.2066.173.khu. Dostupné také z: <https://medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/view/792>

HEŘMAN, Jan et al. 2019. The Role of Ultrasound and Shear-Wave Elastography in Evaluation of Cervical Lymph Nodes. *BioMed research international* [online]. **2019**, ID 4318251, 1-6 [cit. 2021-04-10]. ISSN 2314-6141. DOI: 10.1155/2019/4318251. Dostupné také z: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2019/4318251/>

HEŘMAN, Jan et al. 2017. Differential Diagnosis of Parotid Gland Tumors: Role of Shear Wave Elastography. *BioMed research international* [online]. **2017**, ID 9234672, 1-6 [cit. 2021-04-09]. ISSN 2314-6141. DOI: 10.1155/2017/9234672. Dostupné také z: <https://www.hindawi.com/journals/bmri/2017/9234672/>

HEŘMAN, Jan et al. 2017. Shear wave elastography parameters of normal soft tissues of the neck. *Biomedical papers of the Medical Faculty of the University Palacky, Olomouc, Czech Republic* [online]. **161**(3), 320-325 [cit. 2021-04-09]. ISSN 1804-7521. DOI: 10.5507/bp.2017.024. Dostupné také z: [https://biomed.papers.upol.cz/artkey/bio-201703-0012\\_shear\\_wave\\_elastography\\_parameters\\_of\\_normal\\_soft\\_tissues\\_of\\_the\\_neck.php](https://biomed.papers.upol.cz/artkey/bio-201703-0012_shear_wave_elastography_parameters_of_normal_soft_tissues_of_the_neck.php)

HEŘMAN, Jan et al. 2015. Ultrazvuková elastografie a její využití v oblasti hlavy a krku. *Časopis lékařů českých* [online]. **154**(5), 222-226 [cit. 2021-04-09]. ISSN 1805-4420. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/casopis-lekaru-ceskych/2015-5-7/ultrazvukova-elastografie-a-jeji-vyuziti-v-oblasti-hlavy-a-krku-56548>

HUANG, Rongzhong et al. 2019. Comparative Diagnostic Accuracy of Contrast-Enhanced Ultrasound and Shear Wave Elastography in Differentiating Benign and Malignant Lesions: A Network Meta-Analysis. *Frontiers in oncology* [online]. **9**(102), 1-20 [cit. 2021-04-10]. ISSN 2234-943X. DOI: 10.3389/fonc.2019.00102. Dostupné také z: <https://www.frontiersin.org/articles/10.3389/fonc.2019.00102/full>

CHEN, Ye-Feng et al. 2018. Endobronchial Ultrasound Elastography Differentiates Intrathoracic Lymph Nodes: A Meta-Analysis. *The Annals of thoracic surgery* [online]. **106**(4), 1251-1257 [cit. 2021-04-10]. ISSN 1552-6259. DOI: 0.1016/j.athoracsur.2018.04.003. Dostupné také z: [https://www.annalsthoracicsurgery.org/article/S0003-4975\(18\)30590-3/fulltext](https://www.annalsthoracicsurgery.org/article/S0003-4975(18)30590-3/fulltext)

CHOI, Young Jun, Jeong Hyun LEE a Jung Hwan BAEK. 2015. Ultrasound elastography for evaluation of cervical lymph nodes. *Ultrasonography* [online]. **34**(3), 157-164 [cit. 2021-04-10]. ISSN 2288-5943. DOI: 10.14366/usg.15007. Dostupné také z: <https://www.e-ultrasonography.org/journal/view.php?doi=10.14366/usg.15007>

İNAL, Mikail et al. 2017. Evaluation of the optic nerve using strain and shear wave elastography in patients with multiple sclerosis and healthy subjects. *Medical Ultrasonography* [online]. **19**(1), 39-44 [cit. 2021-04-08]. ISSN: 2066-8643. DOI: 10.11152/mu-939. Dostupné také z: <https://medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/view/939>

KYRIAKIDOU, Georgia et al. 2018. Comparison of strain elastography, point shear wave elastography using acoustic radiation force impulse imaging and 2D-shear wave elastography for the differentiation of thyroid nodules. *PLoS One* [online]. **13**(9), e0204095, 1-17 [cit. 2021-04-11]. ISSN 1932-6203. DOI: 10.1371/journal.pone.0204095. Dostupné také z: <https://journals.plos.org/plosone/article?id=10.1371/journal.pone.0204095>

LI, Shimei et al. 2019. Multifactor analysis of thyroid stiffness in Graves disease: A preliminary study. *American Journal of Roentgenology* [online]. **212**(5), 950-957 [cit. 2021-04-11]. ISSN 1546-3141. DOI: 10.2214/AJR.18.20414. Dostupné také z: <https://www.ajronline.org/doi/10.2214/AJR.18.20414>

LI, Tingting et al. 2021. Shear wave elastography combined with gray-scale ultrasound for predicting central lymph node metastasis of papillary thyroid carcinoma. *Surgical Oncology* [online]. **36**, 1-6 [cit. 2021-04-11]. ISSN 1879-3320. DOI: 10.1016/j.suronc.2020.11.004. Dostupné také z: <https://www.sciencedirect.com/science/article/pii/S096074042030431X>

LI, Zhaojun et al. 2016. Assessment of the arterial stiffness in patients with acute ischemic stroke using longitudinal elasticity modulus measurements obtained with shear wave elastography. *Medical Ultrasonography* [online]. **18**(2), 182-189 [cit. 2021-04-14]. ISSN 2066-8643. DOI: 10.11152/mu.2013.2066.182.wav. Dostupné také z: <https://medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/view/77>

MAHMOOD, Badar et al. 2016. Ultrasound Vascular Elastography as a Tool for Assessing Atherosclerotic Plaques - A Systematic Literature Review. *Ultrasound international open* [online]. **2**(4), E106-E112 [cit. 2021-04-14]. ISSN 2199-7152. DOI: 10.1055/s-0042-115564. Dostupné také z: <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/html/10.1055/s-0042-115564>

MAZUR, Rafał et al. 2018. Clinical applications of spleen ultrasound elastography - a review. *Journal of ultrasonography* [online]. **18**(72), 37-41 [cit. 2021-04-12]. ISSN 2451-070X. DOI: 10.15557/JoU.2018.0006. Dostupné také z: <http://www.jultrason.pl/index.php/issues/volume-18-no-72/clinical-applications-of-spleen-ultrasound-elastography-a-review>

MITTAL, Saurabh et al. 2019. Endobronchial ultrasound elastography in mediastinal lymphadenopathy: Report of two cases and systematic review of literature. *Lung India* [online]. **36**(2), 149-153 [cit. 2021-04-10]. ISSN 0974-598X. DOI: 10.4103/lungindia.lungindia\_349\_17. Dostupné také z: <https://www.lungindia.com/article.asp?issn=0970-2113;year=2019;volume=36;issue=2;spage=149;epage=153;aulast=Mittal>

MULLER, Marie et al. 2015. Assessment of the Cervix in Pregnant Women Using Shear Wave Elastography: A Feasibility Study. *Ultrasound in Medicine and Biology* [online]. **41**(11), 2789-2797 [cit. 2021-04-14]. ISSN 1879-291X. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2015.06.020. Dostupné také z: [https://www.umbjournal.org/article/S0301-5629\(15\)00418-4/fulltext](https://www.umbjournal.org/article/S0301-5629(15)00418-4/fulltext)

OLCHOWY, Anna et al. 2020. Great potential of ultrasound elastography for the assessment of the masseter muscle in patients with temporomandibular disorders. A systematic review. *Dentomaxillofacial Radiology* [online]. **49**(8), 20200024, 1-9 [cit. 2021-04-15]. ISSN 1476-542X. DOI: 10.1259/dmfr.20200024. Dostupné také z: <https://www.birpublications.org/doi/10.1259/dmfr.20200024>



OZER, Nazmi a Feride Fatma GORGULU. 2020. Evaluation of the Mechanical Properties of Anorectal Tissues and Muscles by Shear Wave Elastography in Anal Fissure Disease. *Journal of the College of Physicians and Surgeons Pakistan* [online]. **30**(11), 1133-1137 [cit. 2021-04-14]. ISSN 1681-7168. DOI: 10.29271/jcpsp.2020.11.1133. Dostupné také z: <https://jcpsp.pk/article-detail/evaluation-of-the-mechanical-properties-of-anorectal-tissues-and-muscles-by-shear-wave-elastography-in-anal-fissure-disease>

PAWLUŚ, Aleksander et al. 2015. Ultrasound Elastography - Review of Techniques and Its Clinical Applications in Pediatrics - Part 1. *Advances in clinical and experimental medicine* [online]. **24**(3), 537-543 [cit. 2021-04-15]. ISSN 2451-2680. DOI: 10.17219/acem/34580. Dostupné také z: <https://www.advances.umed.wroc.pl/en/article/2015/24/3/537/>

PERIDE, Ileana et al. 2016. Value of ultrasound elastography in the diagnosis of native kidney fibrosis. *Medical Ultrasonography* [online]. **18**(3), 362-369 [cit. 2021-04-14]. ISSN 2066-8643. DOI: 10.11152/mu.2013.2066.183.per. Dostupné také z: <https://medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/view/56>

PESCATORI, Lorenzo Carlo et al. 2018. Bowel Sonoelastography in Patients with Crohn's Disease: A Systematic Review. *Ultrasound in Medicine and Biology* [online]. **44**(2), 297-302 [cit. 2021-04-14]. ISSN 1879-291X. DOI: 10.1016/j.ultrasmedbio.2017.10.004. Dostupné také z: [https://www.umbjournal.org/article/S0301-5629\(17\)32401-8/fulltext](https://www.umbjournal.org/article/S0301-5629(17)32401-8/fulltext)

POLAT, Ahmet Veysel et al. 2017. The diagnostic value of shear wave elastography for parathyroid lesions and comparison with cervical lymph nodes. *Medical Ultrasonography* [online]. **19**(4), 386-391 [cit. 2021-04-11]. ISSN 2066-8643. DOI: 10.11152/mu-1089. Dostupné také z: <https://medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/view/1089>

RANJKESH, Mahnaz et al. 2020. Diagnostic value of elastography, strain ratio, and elasticity to B-mode ratio and color doppler ultrasonography in breast lesions. *International Journal of General Medicine* [online]. **13**, 215-224 [cit. 2021-04-12]. ISSN 1178-7074. DOI: 10.2147/IJGM.S247980. Dostupné také z: <https://www.dovepress.com/diagnostic-value-of-elastography-strain-ratio-and-elasticity-to-b-mode-peer-reviewed-fulltext-article-IJGM>

RYU, JeongAh a Woo Kyoung JEONG. 2017. Current status of musculoskeletal application of shear wave elastography. *Ultrasonography* [online]. **36**(3), 185-197 [cit. 2021-04-15]. ISSN 2288-5943. DOI: 10.14366/usg.16053. Dostupné také z: <https://www.e-ultrasonography.org/journal/view.php?doi=10.14366/usg.16053>

SĂFTOIU, Adrian et al. 2019. The EFSUMB Guidelines and Recommendations for the Clinical Practice of Elastography in Non-Hepatic Applications: Update 2018. *Ultraschall in der Medizin* [online]. **40**(4), 425-453 [cit. 2021-04-10]. ISSN 1438-8782. DOI: 10.1055/a-0838-9937. Dostupné také z: <https://www.thieme-connect.de/products/ejournals/html/10.1055/a-0838-9937>

SEDLÁČKOVÁ, Zuzana et al. 2019. Ultrazvukové hodnocení uzlů štítné žlázy včetně shear wave elastografie. *Czech Radiology / Ceska Radiologie* [online]. **73**(2), 107-112 [cit. 2021-04-11]. ISSN 2570-978X. Dostupné z: <http://www.cesradiol.cz/detail.php?stat=677>

SIGRIST, Rosa M.S. et al. 2017. Ultrasound elastography: Review of techniques and clinical applications. *Theranostics* [online]. **7**(5), 1303-1329 [cit. 2021-04-10]. ISSN 1838-7640. DOI: 10.7150/thno.18650. Dostupné také z: <https://www.thno.org/v07p1303.htm>

SUH, Chong Hyun et al. 2017. The diagnostic performance of shear wave elastography for malignant cervical lymph nodes: A systematic review and meta-analysis. *European radiology* [online]. **27**(1), 222-230 [cit. 2021-04-10]. ISSN 1432-1084. DOI: 10.1007/s00330-016-4378-3. Dostupné také z: <https://link.springer.com/article/10.1007/s00330-016-4378-3>

SYED, Binafsha Manzoor, Jawaid Naeem QUERESHI a Bikha Ram DEVRAJANI. 2020. Shearwave Elastography in Differentiating Benign and Malignant Breast Lesions. In: LUPSOR-PLATON, Monica. *Ultrasound Elastography* [online]. Rijeka: IntechOpen, kapitola 8, 1-15 [cit. 2021-04-12]. ISBN 978-1-83880-015-4. DOI: 10.5772/intechopen.87244. Dostupné také z: <https://www.intechopen.com/books/ultrasound-elastography/shearwave-elastography-in-differentiating-benign-and-malignant-breast-lesions>

ŠKOLOUDÍK, David et al. 2021. Shear wave elastography enables to identify unstable carotid plaque. *Ultrasound in Medicine and Biology* [článek v tisku]. ISSN 0301-5629.

WANG, Richard Y. et al. 2020. Role of sonoelastography in assessment of axillary lymph nodes in breast cancer: a systematic review and meta-analysis. *Clinical radiology* [online]. **75**(4), 320.e1-320.e7 [cit. 2021-04-10]. ISSN 1365-229X. DOI: 10.1016/j.crad.2019.11.016. Dostupné také z: [https://www.clinicalradiologyonline.net/article/S0009-9260\(19\)30674-9/fulltext](https://www.clinicalradiologyonline.net/article/S0009-9260(19)30674-9/fulltext)

XUE, Ensheng et al. 2020. Application value of real-time shear wave elastography in differential diagnosis of testicular torsion. *Medical Ultrasonography* [online]. **22**(1), 43-48 [cit. 2021-04-14]. ISSN 2066-8643. DOI: 10.11152/mu-2200. Dostupné také z: <https://www.medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/view/2200>

YAMASHITA, Yasunobu et al. 2020. Utility of elastography with endoscopic ultrasonography shear-wave measurement for diagnosing chronic pancreatitis. *Gut and Liver* [online]. **14**(5), 659-664 [cit. 2021-04-12]. ISSN 2005-1212. DOI: 10.5009/GNL19170. Dostupné také z: <http://www.gutnliver.org/journal/view.html?doi=10.5009/gnl19170>

YAVUZ, Alpaslan et al. 2018. Reliability of testicular stiffness quantification using shear wave elastography in predicting male fertility: A preliminary prospective study. *Medical Ultrasonography* [online]. **20**(2), 141-147 [cit. 2021-04-14]. ISSN 2066-8643. DOI: 10.11152/mu-1278. Dostupné také z: <https://www.medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/view/1278>

YOUK, Ji Hyun et al. 2017. Shear-wave elastography in breast ultrasonography: The state of the art. *Ultrasonography* [online]. **36**(4), 300-309 [cit. 2021-04-12]. ISSN 2288-5943. DOI: 10.14366/usg.17024. Dostupné také z: <https://www.e-ultrasonography.org/journal/view.php?doi=10.14366/usg.17024>

ZAKRZEWSKI, Jakub et al. 2019. Ultrasound elastography in the evaluation of peripheral neuropathies: a systematic review of the literature. *Polish Journal of Radiology* [online]. **84**, e581-e591 [cit. 2021-04-15]. ISSN 1899-0967. DOI: 10.5114/pjr.2019.91439. Dostupné také z: <http://www.polradiol.com/Ultrasound-elastography-in-the-evaluation-of-peripheral-neuropathies-a-systematic-review-of-the-literature,126,39508,0,1.html>

ZALESKA-DOROBISZ, Urszula et al. 2015. Ultrasound Elastography - Review of Techniques and Its Clinical Applications in Pediatrics - Part 2. *Advances in clinical and experimental medicine* [online]. **24**(4), 725-730 [cit. 2021-04-15]. ISSN 2451-2680. DOI: 10.17219/acem/34581. Dostupné také z: <https://www.advances.umed.wroc.pl/en/article/2015/24/4/725/>

ZARO, Razvan et al. 2018. Evaluation of the pancreatic tumors by transabdominal Shear Wave Elastography: Preliminary results of a pilot study. *Medical Ultrasonography* [online]. **20**(3), 285-291 [cit. 2021-04-12]. ISSN 2066-8643. DOI: doi:10.11152/mu-1492. Dostupné také z: <https://medultrason.ro/medultrason/index.php/medultrason/article/view/1492>

ZEMANOVÁ, Markéta. 2019. Využití shear waves elastografie k diagnostice změn okohybných svalů u pacientů s endokrinní orbitopatií. *Česká a slovenská oftalmologie* [online]. **75**(1), 14-24 [cit. 2021-04-08]. ISSN 1805-4447. DOI: 10.31348/2019/1/2. Dostupné také z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-oftalmologie/2019-1-29/vyuziti-shear-waves-elastografie-k-diagnostice-zmen-okohybnych-svalu-u-pacientu-s-endokrinni-orbitopatii-112981>

ZEMANOVÁ, Markéta. 2016. Nová diagnostická zobrazovací metoda – shear waves elastografie. *Česká a slovenská oftalmologie* [online]. **72**(4), 103-110 [cit. 2021-04-15]. ISSN 1805-4447. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-oftalmologie/2016-4/nova-diagnosticka-zobrazovaci-metoda-shear-waves-elastografie-59505>

ZHANG, Yun-Fei et al. 2019. Sonoelastography for differential diagnosis between malignant and benign parotid lesions: a meta-analysis. *European Radiology* [online]. **29**(2), 725-735 [cit. 2021-04-09]. ISSN 1432-1084. DOI: 10.1007/s00330-018-5609-6. Dostupné také z: <https://link.springer.com/article/10.1007%2Fs00330-018-5609-6>

ZHOU, Boran et al. 2020. Ultrasound Elastography for Lung Disease Assessment. *IEEE Transactions on Ultrasonics, Ferroelectrics, and Frequency Control* [online]. **67**(11), 2249-2257 [cit. 2021-04-12]. ISSN 1525-8955. DOI: 10.1109/TUFFC.2020.3026536. Dostupné také z: <https://ieeexplore.ieee.org/document/9205585>

ZHU, Yi et al. 2020. Accuracy of transvaginal sonoelastography for differential diagnosis between malignant and benign cervical lesions: A systematic review and meta-analysis. *Cancer Medicine* [online]. **9**(21), 7943-7953 [cit. 2021-04-14]. ISSN 2045-7634. DOI: 10.1002/cam4.3424. Dostupné také z: <https://onlinelibrary.wiley.com/doi/10.1002/cam4.3424>

## Seznam zkratek

1D-TE	Jednodimenzionální tranzientní elastografie
2D-SWE	Dvoudimenzionální shear wave elastografie
3D	Trojrozměrný
ALD	Alkoholové onemocnění jater
ARDS	Syndrom akutní dechové tísně
ARFI	Acoustic Radiation Forced Impulse Elastography
AUC	Area under curve
AUROC	Area under the receiver operating characteristic
BGR	Blue Green Red
BIRADS	Breast Imaging-Reporting and Data System
BMI	Body Mass Index
CD	Crohnova choroba
CE-EUS	Endoskopická kontrastní ultrasonografie, endoskopický CEUS
CEUS	Contrast-enhanced ultrasonography, kontrastní ultrazvuk
CKD	Chronické onemocnění ledvin
CSV	Koeficient variability tuhosti
CT	Výpočetní tomografie
DNN	Deep neural network
DOR	Diagnostic odds ratio, diagnostický poměr šancí
DRE	Digitální vyšetření per rectum
EBUS	Endobronchiální ultrazvuk
ECI	Kontrastní index tuhosti
eGFR	Odhadovaná glomerulární filtrace
EI/B	Poměr velikosti na elastogramu a v B-módu
ERUS	Endoskopická rektální ultrasonografie
ESRD	End-stage renal disease, terminální stádium onemocnění ledvin

EUS	Endoskopická ultrasonografie
EUS-FNA	Aspirace tenkou jehlou provedená pod endosonografickou kontrolou
EUS-SE	Endoskopická strain elastografie
FOV	Zorné pole
FNAB	Aspirační biopsie tenkou jehlou
HBV	Virová hepatitida typu B
HCV	Virová hepatitida typu C
HER2	Humánní epidermální receptor 2
HIV	Human Immunodeficiency Virus
HRCT	High Resolution Computed Tomography, CT s vysokým rozlišením
HVPG	Jaterní žilní tlakový gradient
HŽT	Hluboká žilní trombóza
CHOPN	Chronická obstrukční plicní nemoc
ILD	Intersticiální plicní onemocnění
kPa	Kilopascal
LDL	Nízkodenzitní lipoproteiny
LUSWE	Plicní ultrazvuková povrchová vlnová elastografie
MELD	Model for End-Stage Liver Disease
METAVIR	Meta-analysis of Histological Data in Viral Hepatitis
MHz	Megahertz
mmHg	Milimetr rtuťového sloupce
MPE	Maligní pleurální výpotek
MR, MRI	Zobrazování magnetickou rezonancí
NAFLD	Nealkoholové tukové choroby jater
PFT	Testování plicních funkcí
PPLs	Periferní plicní léze
pSWE	Bodová shear wave elastografie

PSA	Prostatický specifický antigen
PWV	Rychlost šíření pulzové vlny
QUADAS	Quality Assessment of Diagnostic Accuracy Studies
ROI	Malá pevná oblast zájmu
SE	Strain elastografie
SH	Strain histogram
SR	Strain ratio
SRU	Society of Radiologists in Ultrasound Consensus Conference Statement
SSI	SuperSonic Imagine
SWE	Shear wave elastografie
SWR	Poměr rychlosti střížných vln
SWV	Rychlost střížných vln
TIPS	Transjugulární intrahepatální portosystémové spojky
TIRADS	Thyroid Imaging Reporting and Data System
TNF	Protinádorový nekrotický faktor
TRUS	Transrektální ultrasonografie
TVSE	Transvaginální sonoelastografie
USE	Ultrazvuková elastografie
VTI, VTTI	Virtual Touch Tissue Imaging
VTQ	Virtual Touch Quantification
VTIQ	Virtual Touch Imaging Quantification
WFUMB	World Federation for Ultrasound in Medicine and Biology
YM	Youngův modul pružnosti