

# **FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ**

Studijní program: : Specializace ve zdravotnictví B5345

**Alžběta Lachmanová, DiS.**

Studijní obor: radiologický asistent

***CT VYŠETŘENÍ SRDCE: POSTPROCESSING V RUKOU RADIOLOGICKÉHO  
ASISTENTA***

**Bakalářská práce**

Vedoucí práce: MUDr. Jan Baxa Ph.D.

PLZEŇ 2012

Prohlášení:

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracovala samostatně a všechny použité prameny jsem uvedla v seznamu použitých zdrojů.

V Plzni dne 27.3.2012

.....

vlastnoruční podpis

Děkuji MUDr. Janu Baxovi Ph.D. za odborné vedení práce, poskytování rad a materiálních podkladů. Děkuji přednostovi Kliniky zobrazovacích metod Doc. MUDr. Borisi Kreuzbergovi CSc. za souhlas se zpracováním souboru pacientů a za souhlas s poskytnutím obrazové dokumentace.

ÚVOD.....	9
Metodika práce .....	10
Cíl práce .....	11
1 ANATOMIE SRDCE .....	12
1.1 Srdeční vrstvy .....	12
1.2 Srdeční oddíly .....	12
1.2.1 Pravá předsíň.....	12
1.2.2 Pravá komora.....	13
1.2.3 Levá předsíň .....	13
1.2.4 Levá komora .....	13
1.3 Srdeční chlopně.....	14
1.4 Cévy srdce.....	14
1.4.1 Věnitivé tepny .....	14
1.4.2 Žíly srdce.....	16
1.4.3 Srdeční nervy .....	16
1.4.4 Velký krevní oběh.....	17
1.4.5 Malý krevní oběh (plicní krevní oběh).....	17
1.5 Převodní systém srdeční .....	18
1.6 Mechanická činnost srdce.....	19
1.6.1 Srdeční revoluce .....	19
1.6.2 Elektrokardiogram (EKG) .....	20
2 ONEMOCNĚNÍ SRDCE .....	21
2.1 Onemocnění myokardu.....	21
2.1.1 Ischemická choroba srdeční.....	21
2.2 Jiná onemocnění:.....	24
2.2.1 Onemocnění perikardu.....	24

2.2.2	Intrakardiální útvary:.....	25
2.2.3	Benigní tumory .....	25
2.2.4	Maligní nádory.....	25
2.2.5	Chlopenní vady .....	25
2.2.6	Vrozené srdeční vady.....	26
2.2.7	Významné stenózy koronárních tepen .....	26
3	VÝPOČETNÍ TOMOGRAFIE .....	27
3.1	Konstrukce výpočetního tomografu .....	27
3.2	Primární data .....	27
3.3	Sekundární data .....	28
3.4	Vyšetření srdce.....	28
3.4.1	Kalciové skóre koronárních tepen (CACs).....	28
3.4.2	Postprocessing u kalciového skóre .....	29
3.4.3	CT srdce, věnčitých tepen s EKG synchronizací.....	29
3.4.4	Aortokoronární bypassy .....	32
3.5	Postprocessingové techniky .....	32
3.5.1	2D postprocessingové techniky.....	32
3.5.2	3D postprocessingové techniky.....	33
3.6	Postprocessing u vyšetření srdce .....	35
3.6.1	Planární rekonstrukce .....	35
3.6.2	Aplikace CIRCULATION .....	36
3.6.3	VRT rekonstrukce.....	37
4	DISKUZE .....	38
4.1	Postprocessing .....	38
4.1.1	Axiální řezy.....	38
4.1.2	Cirkulace .....	38
4.1.3	VRT rekonstrukce.....	38

ZÁVĚR .....	40
LITERATURA A PRAMENY:.....	41
SEZNAM ZKRATEK.....	43
SEZNAM TABULEK.....	45
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	46
TABULKY.....	47
5 OBRAZOVÉ PŘÍLOHY .....	48

## Anotace

Příjmení a jméno: Lachmanová Alžběta

Katedra: Záchranářství a technických oborů

Název práce: CT vyšetření srdce: postprocessing v rukou radiologického asistenta

Vedoucí práce: MUDr. Jan Baxa Ph.D.

Počet stran: 53

Počet příloh: 2

Počet titulů použité literatury: 19

Klíčová slova: CT, srdce, EKG, pacient, radiologický asistent, kalciové skóre, postprocessing

### Souhrn:

CT vyšetření srdce je z důvodu nárůstu srdečních příhod v posledních letech čím dál více využíváno, především pro diagnostiku věnčitých tepen, u onemocnění myokardu, a zobrazení průchodnosti bypassů.

Tato práce popisuje anatomii srdce, onemocnění srdce, 2D a 3D postprocessingové techniky a zabývá se postprocessingem, který se používá u CT vyšetření srdce. V praktické části jsou vyhotoveny rekonstrukce pro hodnocení srdce a koronárních tepen.

## Annotation

Surname and name: Lachmanová Alžběta

Department: Department of Paramedical Rescue Work and Technical Studies

Title of thesis: Ct examination of heart: postprocessing provided by radiologic technologist

Consultant : MUDr. Jan Baxa Ph.D.

Number of pages: 53

Number of appendices: 2

Number of literature items used: 19

Key words: CT, heart, ECG, patient, radiologic technologist, Ca score, postprocessing

### Summary:

CT examination of the heart is increasingly used due to increase of cardiac events in recent years, especially for diagnosing coronary arteries, diseases of myocard, and imaging cardiac bypass.

This thesis describes the anatomy of the heart, heart diseases, 2D and 3D postprocessing techniques and deals with postprocessing, which is used in cardiac CT. Special reconstructions are performed to evaluate the heart and coronary arteries in practical part.



# ÚVOD

Vzhledem k nárůstu onemocnění srdce je nutné co nejlépe zvládnout včasnou diagnostiku srdečních onemocnění, aby bylo možné zahájit úspěšnou léčbu. CT (Computed tomography) vyšetření srdce je indikováno u onemocnění myokardu (primární prvozáchyt pomocí kalciového skóre), perikardu, intrakardiálních útvarů, u chlopenních vad, zkratových vad a pro zobrazení srdečních bypassů a věnčitých tepen (významné stenózy koronárních tepen), pro posouzení pooperačních stavů, detekci kardiomyopatií a u onemocnění aorty (disekce, aneurysma) a plicní tepny (akutní plicní embolie).

CT vyšetření srdce je neinvazivní metoda, při které jsou získávány obrazy jak statické, tak dynamické (zobrazují se pohybující-se struktury).

Kvalita vyšetření srdce je závislá na typu používaného přístroje a na srdeční frekvenci. Proto je v současnosti využívána synchronizace akvizice hrubých dat se záznamem EKG. Nejpokročilejším akvizičním systémem je tzv.: dvouzdrojová výpočetní tomografie (DSCT- Dual Source CT).

CT přístroj obsahuje softwarové vybavení, které umožňuje provedení řady postprocessingových operací, sloužících k upřesnění diagnostické informace. Postprocessing se provádí přímo na monitoru řídicí konzole nebo přenosem obrazových dat na pracovní konzoli (work station).

Základní technikou k vyhodnocení získaných dat jsou tzv.: multiplanární rekonstrukce ve standardních projekcích srdečních oddílů, odvozených z echokardiografie. Pro zobrazení pohyblivosti srdeční svaloviny a chlopní se využívá tzv.: kinetických zobrazení. Ta vyžadují rekonstrukci nejméně deseti různých fází srdečního cyklu. Pak je možné posoudit kinetiku myokardu a funkci chlopenního systému. Pokud jsou při kinetickém zobrazení využity 3D rekonstrukce, hovoří se o tzv.: 4D analýze vyšetření.

## **Metodika práce**

Vyšetření srdce byla prováděna na přístroji Siemens MDCT (multidetector computed tomography) Somatom Definition Siemens ve Fakultní nemocnici Lochotín v Plzni. Data byla shromažďována od roku 2010 do roku 2011, postprocessing byl dělán na vybraném vzorku pěti pacientů z Fakultní nemocnice Lochotín v Plzni.

## **Cíl práce**

V současné době jsou díky rozvoji výpočetní techniky, digitalizaci a stále modernějším diagnostickým přístrojům kladeny větší nároky na radiologické asistenty při zpracovávání vyhotovených dat.

Cílem této práce bylo naučit se pracovat s postprocessingovými technikami využívanými u vyšetření srdce, dále zjistit, do jaké míry se může radiologický asistent podílet na následném zpracování hrubých dat z CT vyšetření, a jaký je výsledný čas rekonstrukcí CT obrazů.

# 1 ANATOMIE SRDCE

Srdce je dutý svalový orgán, který smršťováním a ochabováním pohání krev do celého těla. Srdce je uloženo ve vaku zvaném perikard v mediastinu, za sternem, jednou třetinou vpravo za střední čárou, dvěma třetinami vlevo od střední čáry. Srdce má tvar nepravidelného kužele s bazí obrácenou dozadu vzhůru a s hrotem směřujícím dopředu dolů a doleva. Srdce dospělého člověka má hmotnost mezi 230 až 340 gramy (závisí na objemu srdeční svaloviny). Uvnitř srdce jsou mechanická zařízení zvaná srdeční chlopně, zajišťují vržení krve při systole (stah srdce) do tepen, a při diastole (ochabnutí stahu) zabraňují zpětnému proudění a krev ze žil je nasávána do srdce. <sup>3)</sup>

## 1.1 Srdeční vrstvy

Na stěně srdeční rozeznáváme tři vrstvy:

1. Endokard (endocardium) je hladká, lesklá membrána vystýlající srdeční dutiny. Je tvořena jednovrstevným epitelem, jehož duplikatury vytváří srdeční chlopně.
2. Myokard (myocardium) je tvořen buňkami srdeční svaloviny (kardiomyocyty), které jsou propojeny plazmatickými můstky, umožňující rychlejší převod vzruchu. Ve stěně levé komory je myokard nejsilnější, ve stěně předsíní je tenký.
3. Epikard (epicardium) je viscerálním listem osrdečníku (perikardium) a je tvořen jednovrstevným epitelem. Pevně srůstá s myokardem. Nachází se v něm množství cév, nervů a tuková tkáň.

## 1.2 Srdeční oddíly

### 1.2.1 Pravá předsíň

Pravá předsíň (atrium dextrum) má nepravidelný tvar, s hladkým vnitřním reliéfem, a zčásti členěnou svalovou hmotou, která přechází do husté svalové trámčiny pravého ouška. Pravé ouško je slepá výchlípka pravé předsíně. Do pravé srdeční předsíně ústí horní a dolní dutá žíla a tzv. žilní splav, přivádějící krev ze srdeční stěny. Ve stěně předsíňové přepážky se nachází měkká oválná

jáma. Ta odpovídá otvoru, kterým jsou v embryonálním období spojeny pravá a levá předsíň. Velkým otvorem s cípatou chlopní ústí pravá předsíň do pravé komory. <sup>4)</sup>

### **1.2.2 Pravá komora**

Stěna pravé komory (ventriculus dexter) je tvořena členitými svalovými hranami a trámci, které vytváří tzv. vtokovou část pravé komory, sahající od srdečního hrotu k ústí předsíně do komory. Hladká část pravé komory, nálevkovitě se zužující do začátku plicnicového kmene se nazývá část výtoková.

Mezi pravou předsíní a pravou komorou je trojcípá chlopeň (valva tricuspidalis). Cípy chlopně mají tvar trojúhelníků, jsou základnou připevněny k vazivovému prstenci ležícímu na obvodu chlopně. Cípy jsou přidržovány třemi bradavkovitými svaly (mm. papillares) a tenkými vazivovými šlašinkami (chondrae tendinae), které se upínají do okrajů chlopnových cípů. Napětí svalů a šlašinek brání zpětnému vyvrácení cípů do pravé předsíně při smrštění pravé komory.

V otvoru, odkud z pravé komory odstupuje plicnicový kmen, se nachází poloměsíčitá chlopeň plicnicového kmene (valva pulmonalis). Chlopeň se skládá ze tří poloměsíčitých řas. Brání zpětnému toku krve. <sup>4)</sup>

### **1.2.3 Levá předsíň**

Levá srdeční předsíň (atrium sinistrum) tvoří větší část srdeční báze, má hladký vnitřní povrch, pouze levé ouško je tvořeno nápadnými svalovými trámci. Do předsíně ústí čtyři plicní žíly (okrouhlá ústí žil jsou bez chlopní).

### **1.2.4 Levá komora**

Levá srdeční komora (ventriculus sinister) je kuželovitého tvaru s vrcholem vybíhajícím do srdečního hrotu. Tloušťka stěny se pohybuje v rozmezí 10-20 mm a na vnitřním povrchu tvoří četné svalové trámce. V otvoru mezi levou předsíní a komorou se nachází dvojcípá chlopeň (valva bicuspidalis mitralis). Cípy chlopně jsou přidržovány šlašinkami (chondrae tendinae), vystupujícími ze dvou bradavkovitých svalů. Z levé komory odstupuje srdečnice, v jejímž začátku

je srdečnicová chlopeň (valva aortae). Funkce této chlopně je obdobná jako funkce poloměsíčitých chlopní plicnicového kmene.<sup>4)</sup>

### **1.3 Srdeční chlopně**

Chlopně fungují jako ventily zajišťující jednostranný tok krve v srdci. Jsou bezcévné a bez inervace. Otvírání a zavírání chlopní se děje na základě tlakového gradientu. Jsou tvořeny kolagenními a elastickými vlákny, na povrchu se nachází endotel.

1. Aortální chlopeň (valva aortae) se nachází mezi aortou a levou komorou
2. Mitrální chlopeň (valva bicuspidalis mitralis) se nachází mezi levou komorou a levou síní
3. Trikuspidální chlopeň (valva tricuspidalis) se nalézá mezi pravou komorou a pravou síní
4. Pulmonální chlopeň (valva pulmonalis) se nalézá mezi pravou komorou a arterií pulmonalis

### **1.4 Cévy srdce**

Srdce zásobují dvě hlavní koronární tepny (arteria coronaria dextra et sinistra), které odstupují od sinus aortae, rozvětvují se v menší větve, a poté vytváří síť kapilár, která zásobuje myokard krví. Pro koronární řečiště je charakteristické vytváření spojek, tzv. anastomóz mezi větvemi jednotlivých koronárních tepen a mezi koronárními tepnami navzájem. Anastomózy umožňují přítok okysličené krve k myokardu i při zúžení nebo při uzavření některé z větví koronárního řečiště. Žilní návrat je obstarán žilami, které se slévají v kmen sinus coronarius a ústí především do pravé předsíně.<sup>13)</sup>

#### **1.4.1 Věňčité tepny**

Věňčité tepny (arteriae coronariae) jsou funkčně uzavřené, končící artérie, proto při náhlém uzavření dochází k nekróze srdeční svaloviny (tzv. infarkt myokardu). Zabezpečují výživu a okysličení srdečních stěn.

## **Pravá věnčitá tepna**

Pravá věnčitá tepna (arteria coronaria dextra) odstupuje ze sinus aortae dx. Její ústí (ostium) měří v průměru 3-4 mm a protéká jí 15% koronární krve. <sup>6)</sup>

Z pravé věnčité tepny odstupují tyto větve:

r. marginalis dx.

rr. atriales (pro pravou předsíň)

r. nodi sinuatrialis

r. coni arteriosi

rr. ventriculares dextri anteriores at posteriores (pro pravou komoru)

r. interventricularis posterior

## **Levá věnčitá tepna**

Levá věnčitá tepna (arteria coronaria sinistra) odstupuje ze sinus aortae sin., a její ostium měří 3-5mm. Kmen je dlouhý 1-2 cm a dělí se na 2 hlavní větve - ramus interventricularis ant. (RIA) a ramus circumflexus sin. (RC). Protéká jí 85% koronární krve. <sup>6)</sup>

Z levé věnčité tepny odstupují tyto větve:

Z RIA odstupují:

rr. interventriculares septales

rr. ventriculares sinistri anteriores

Z RC odstupují:

rr. atriales

rr. atrioventriculares

r. marginalis sinister

r. nodi atrioventricularis

r. posterior ventriculi sinistri

r. atrialis anastomoticus

V případě, že neodstupuje z pravé koronární tepny, odstupuje ještě:

r. nodi sinuatrialis

## **Srdečnice**

Srdečnice (aorta) se po výstupu z levé komory a krátkém vzestupném úseku (aorta ascendens, kde odstupují věnčité tepny) otáčí aortálním obloukem (arcus aortae) doleva dozadu k páteři, pokračuje podél hrudní páteře do břišní dutiny až do výše čtvrtého bederního obratle, kde se vidlicovitě dělí na dvě společné kyčelní tepny (aa. iliacaе communis). Sestupný úsek aorty (aorta descendens) je bránicí rozdělen na hrudní a břišní aortu.

Z oblouku aorty (arcus aortae) odstupují tři široké tepny:

1. Hlavopážní kmen (truncus brachiocephalicus)
2. Levá společná krkavice (a.carotis communis sin.)
3. Levá podklíčková tepna (a. subclavia sin.)

### **1.4.2 Žíly srdce**

Hlavním sběrným kmenem žilního odtoku ze srdečních stěn je široký žilní splav sinus coronarius, uložený v sulcus coronarius na zadní straně srdce, a ústí do pravé předsíně. Žíly se podle toho kam ústí dělí do tří skupin:

1. Žíly vlévající se do sinus coronarius (vena cordis magna, vena cordis media a vena cordis parva)
2. Žíly ústící do pravé předsíně (venae ventriculi dextri anteriores)
3. Malé žíly ústící do srdečních dutin (venae atriales, venae atrioventriculares, venae ventriculares)

### **1.4.3 Srdeční nervy**

U srdce rozlišujeme tři typy inervace:



1. myogenního původu- tzv. srdeční automacie, zajištěna převodním systémem srdečním

2. senzitivní vlákna- např. vlákna pro vedení bolesti (angina pectoris), baroreceptory či volumoreceptory

3. systém autonomních vláken (sympatikus a parasympatikus)

Sympatikus- obsahuje vlákna nervi cardiaci z kmene sympatiku (n. cardiacus cervicalis superior, medius et inferior, nn. cardiaci thoracici). Pregangliová vlákna přichází ze třetích krčních ganglií sympatického kmene (sloupce míšní šedé hmoty). Sympatikus dilatuje věnčité tepny a zrychluje srdeční akci.

Parasympatikus- obsahuje vlákna z nervus vagus (rami cardiaci cervicales superiores, inferiores et thoracici). Pregangliová vlákna pochází z buněk parasympatického jádra (uloženo v prodloužené míše). Parasympatikus kontrahuje věnčité tepny a zpomaluje srdeční akci.

Srdeční pleteň (plexus cardiacus et plexus coronarius)

Je smíšenou pletením sympatiku a parasympatiku a dělí se na plexus cardiacus superficialis a plexus cardiacus profundus. Plexus coronarius dexter et sinister obsahují nervová vlákna pro srdeční stěny a pro stěny koronárních cév. <sup>5)</sup>

#### **1.4.4 Velký krevní oběh**

Levá komora (ventriculus sinister) vypuzuje krev z levé předsíně (atrium sin.) do aorty, kde je krev následně rozváděna po celém těle větvemi aorty. Krev, která protekla tepnami, atriolami, kapilární sítí, venulami, žilami a dutými žilami, se vrací do pravé předsíně (atrium dextrum). Pravou komorou (ventriculus dexter) je krev opět přečerpávána do malého oběhu. <sup>5)</sup>

#### **1.4.5 Malý krevní oběh (plicní krevní oběh)**

Pravá předsíň (atrium dextrum) nasává žilní krev ze systému dutých žil (vena cava superior et inferior), vstřikuje ji do pravé komory (ventriculus dexter), kde je krev přečerpána přes plicní kmen (truncus pulmonalis) do plicního řečiště. Plicní kmen se dělí na pravou a levou plicní tepnu (a. pulmonalis dextra et sinistra). Z plic se okysličená krev vrací plicními žilami (venae pulmonalis) do

levé předsíně (atrium sinistrum) a odtud odtéká do levé komory (ventriculus sinister). Zpětnému návratu krve z plicního kmene brání poloměsíčitá chlopeň, která se uzavírá při zpětném nárazu krve.<sup>5)</sup>

## 1.5 Převodní systém srdeční

Převodní systém srdeční se skládá ze dvou uzlů, předsíňového svazku a sítě konečných vláken, umožňujících automatické kontrakce srdeční svaloviny. Lze se setkat i s označením excitomotorický aparát, neboť je schopen tvorby akčního potenciálu, převodu vzruchu, jeho šíření a koordinace svaloviny mezi pravou a levou komorou.<sup>4)</sup>

Sinuatríální uzel (nodus sinuatrialis), první uzel je asi 2 cm dlouhý a 2 mm široký. Je uložen ve stěně pravé předsíně při ústí horní duté žíly. Ze sinoatriálního uzlu se vějířovitě rozbíhají vlákna do svaloviny pravé předsíně. Je primárním centrem srdeční automacie.

Atrioventrikulární uzel (nodus atrioventricularis), druhý uzel je cca 5 mm dlouhý a 4 mm široký. Leží pod endokardem na spodině pravé síně, nad septálním cípem trikuspidální chlopně. Je druhotným centrem automacie srdeční, rytmická aktivita je 40-60 tepů za minutu. Odtud vychází Hisův svazek (truncus atrioventricularis), který se dělí na dvě Tawarova raménka (crus dextrum et sinistrum), pokračující jako Purkyňova vlákna (jsou terciárním generátorem srdečního rytmu) k srdeční svalovině a papilárním svalům. Purkyňova vlákna předávají vzruch buňkám myokardu komor, depolarizují je a svalovina komor se stahuje.<sup>4) 13)</sup>

Sinusový uzel vytváří primární rytmickou aktivitu (70-80-tepů za minutu). Elektrický impulz je s cca 0.06s zpožděním převeden na pravou komoru a odtud raménky převodního systému na Purkyňova vlákna komorového myokardu. Stavbou převodního systému je garantována určitá latence v rozvodu vzruchů svalovinou srdce, což způsobuje postupnou aktivaci svaloviny předsíní a komor (tzv. hemodynamický cyklus – sled systol a diastol srdečních předsíní a komor). Stavba převodního systému spolu s cévním zásobením sinusového uzlu je základním regulačním systémem, vyšší stupeň představuje autonomní systém srdeční inervace.<sup>4)</sup>

## 1.6 Mechanická činnost srdce

Vlastní čerpací funkce srdce je výsledkem pravidelného střídání kontrakce srdečního svalu (systola) a následného ochabování (diastola). Během diastoly se srdce plní krví, během systoly je krev pod velkým tlakem vypuzována do velkých cév- aortou do velkého oběhu, plicnicí do malého oběhu. Levá komora má mohutnější svalovinu než pravá komora, protože vypuzuje krev proti mnohem většímu odporu ve velkém řečišti. <sup>8)</sup>

### 1.6.1 Srdeční revoluce

Je sled neustále se opakujících tlakově objemových fází v srdci během jedné srdeční akce. Srdeční cyklus má dvě hlavní fáze:

1. Systola je koordinovaný stah srdeční svaloviny síní nebo komor a vypuzení krve

Rozlišujeme dvě fáze systoly:

- izovolumická napínací fáze - v komorách roste tlak, ale objem se nemění
- ejekční fáze - tlak v komorách je poměrně stálý a jejich objem se zmenšuje

2. Diastola je uvolnění (relaxace) srdečního svalu a plnění se krví

Rozlišujeme dvě fáze diastoly:

- izovolumická relaxace - tlak v komoře klesá a objem se nemění
- fáze plnění komor - objem komor roste, ale tlak se v nich nemění

Izovolumická napínací fáze nastává na počátku komorové systoly, kdy se zvýší tlak v předsíních a způsobí uzavření cípatých chlopní. Poloměsíčité chlopně jsou také ještě uzavřené, tlak v komorách se zvyšuje. Ejekční fáze nastává, jakmile tlak v komorách přesáhne diastolický tlak v tepnách. Poloměsíčité chlopně se otevrou a krev je vypuzována do aorty a plicnice. Tlak stoupá zhruba do poloviny fáze, pak až do konce systoly klesá. Když jeho hodnota klesne pod hodnotu tlaku ve velkých tepnách, zpětným tokem dojde k uzavření poloměsíčitých chlopní a systolická fáze končí. Obrátí se tlakový gradient

z tepen do srdce. Následuje diastolická fáze, nejdříve při izovolumické relaxaci, kdy jsou obě chlopně ústí zavřené, dochází v komorách k poklesu tlaku až k nulovým hodnotám. Je-li tlak v komorách nižší než v síních, vytvoří se tlakový gradient mezi síněmi a komorami ve směru do komor, cípaté chlopně se otevřou a dochází k fázi plnění komor, která končí systolou síní. Následuje systola komor a cyklus se opakuje. <sup>8)9)</sup>

### **1.6.2 Elektrocardiogram (EKG)**

Každé kontrakci vláken srdeční svaloviny předchází tzv. akční potenciál. Ze souhrnu všech akčních potenciálů (tzv. sumačního potenciálu) vzniká elektrocardiogram, což je křivka získaná pomocí svodů umístěných na povrchu těla a které snímají elektrickou aktivitu myokardu. Výkyvy od nulové (izoelektrické) linie jsou označovány písmeny P, Q, R, S, T. Impuls pro kontrakci myokardu vzniká v sinoatriálním uzlu. Poté se vzruch šíří svalovinou předsíní. První vlnu signálu, kterou na EKG lze vidět je vlna P. Vlna P je na EKG obrazem systoly předsíní. V úseku P-Q je svalovina předsíně ve fázi depolarizace. Diastola předsíní je překryta komorovým komplexem QRS. Po komorové systole ( na EKG komplex QRS včetně úseku ST) začíná vlna T. Vlna T je projevem komorové repolarizace. Pak následuje komorová diastola. <sup>5)</sup>

Velmi důležitým ukazatelem elektrické aktivity myokardu je délka trvání jednotlivých vln a úseků mezi nimi. Doba trvání P vlny je 80- 100 ms, úsek PQ 80- 100 ms a celý interval PQ (od začátku vlny P až po začátek kmitu Q) nesmí přesáhnout 200 ms. Komplex QRS trvá 80- 100 ms, interval QT odpovídá době elektrické aktivity komor (silně závisí na srdeční frekvenci). <sup>8)</sup>

## 2 ONEMOCNĚNÍ SRDCE

### 2.1 Onemocnění myokardu

#### 2.1.1 Ischemická choroba srdeční

Nazývá se tak řada chorobných stavů, pro které je společná ischemie- nepoměr mezi potřebou myokardu a dodávkou kyslíku věnčitými tepnami.

Příčin ischemie existuje několik:

1. snížený průtok krve koronárními arteriemi- v 90% případů ICHS se jedná právě o snížený průtok krve koronárními arteriemi, na podkladě koronární aterosklerózy
2. zvýšená potřeba kyslíku myokardem- například při větší tělesné námaze, při tachykardii
3. snížení obsahu kyslíku v krvi- například při hypotenzi, otravě CO<sub>2</sub> aj..

Nejsou známy všechny příčiny aterosklerózy a tudíž ani ICHS, a proto neexistuje účinná kauzální léčba a lze pouze odstraňovat symptomy a léčit komplikace. Existují ale rizikové faktory, které výrazně podporují vznik ICHS a rychlost jejího rozvoje. Tyto rizikové faktory jsou výsledkem genetické predispozice a životního stylu člověka. Dělí se na faktory neovlivnitelné- jako je věk, genetická zátěž a mužské pohlaví, a na faktory ovlivnitelné- jako je kouření, hypertenze, DM a hyperlipidémie.

ICHS dělíme na akutní a chronické formy.

Akutní formy jsou:

1. Akutní infarkt myokardu
2. Nestabilní angina pectoris
3. Náhlá srdeční smrt

1. Akutní infarkt myokardu (AIM) je ložisková nekróza srdeční svaloviny způsobená velkou nerovnováhou mezi přísunem živin, včetně O<sub>2</sub> a

metabolickými nároky srdeční svaloviny. Prakticky vždy je postižena levá komora srdeční. Více než 80% infarktů vzniká na podkladě akutního trombotického uzávěru koronární arterie, který obvykle nasedá na rupturu aterosklerotického plátu. Hlavní příčinou ruptury plátu je kolísání krevního tlaku (např. po velké námaze, rozčilení, stresu, ale u významné části nemocných není zjevná souvislost s žádným podmětem. Dalšími možnými příčinami jsou spazmy koronárních tepen, hyperkoagulačními stavy, akutní disekce odstupu pravé koronární arterie při disekujícím aneurysmatu aorty i intrakoronární embolie. Onemocnění se vyskytuje s převahou u mužů, s maximem výskytu mezi 50-75. rokem života. Hlavním příznakem AIM je bolest na hrudi. Obvykle bývá intenzivnější než při záchvatu anginy, často krutá až šokující. Trvá déle než 20 minut a nereaguje ani na opakované podání nitroglycerinu. Objevuje se též úzkost, dušnost, nauzea, a u starších pacientů i zmatenost. Je nutné co nejdříve zahájit léčbu, neboť množství zachranitelného myokardu se s každou hodinou prodlevy velmi rychle zmenšuje. Do 60 minut od uzávěru věnčité tepny lze její úspěšnou rekanalizací, ať již trombolýzou nebo přímou PCI (perkutánní koronární intervence) zachránit až 60 % ischemizovaného myokardu, po 3 hodinách je to již méně než 20 % a po 6 hodinách je transmurální ischemická nekróza dokonána.<sup>1)17)</sup>

Pro diagnostiku AIM nemá CTA význam, avšak s projevy infarktu se můžeme setkat u nemocných vyšetřovaných pro podezření na jiné onemocnění spojené s bolestí na hrudi, jako je podezření na aortální disekci nebo plicní embolizace. CTA je namístě jen v případě, je-li podezření, že infarkt je vyvolán uzávěrem bypassu.<sup>2)</sup>

## 2. Nestabilní angina pectoris

Nestabilní angina pectoris je nově vzniklá angina pectoris nebo jakkoliv zhoršená již existující angina v posledních 30 dnech. Patologicko-anatomickým podkladem je aterosklerotický plát, který má obvykle nestabilní charakter (destabilizace je obvykle způsobena rupturou plátu s následným vznikem nasedajícího intrakoronárního trombu, který náhle zvětší stupeň obstrukce věnčité tepny a tím zhorší ischemii). Projevy jsou obecně silnější a záchvaty delší než u námahové AP, a může se též objevit dušnost. Tato forma AP je

život ohrožující stav (může vést k akutnímu IM), proto musí být pacient hospitalizován.

### 3. Náhlá srdeční smrt

Z klinického hlediska se obvykle za náhlou smrt považuje úmrtí z přirozených příčin, které se vyskytne do 1 hodiny od vzniku symptomů. Smrt je považována za náhlou, pokud byl člověk v předchozích 24 hodinách bez potíží. Roční incidence je 3-4krát vyšší u mužů než u žen, s maximem výskytu mezi 9-11 hodinou ranní (druhé méně výrazné maximum výskytu je v pozdním odpoledni). Vyšší incidence NSS je v zimních měsících a také vzrůstá několik hodin po katastrofických událostech. Ve většině případů NSS je příčinou úmrtí závažná srdeční arytmie- fibrilace komor. Tyto arytmie lze včasnou léčbou (KPR a defibrilací) přerušit a pacienta zachránit. Pokud není zahájena co nejdříve kardiopulmonální resuscitace, dojde během 5-10 minut k odumření mozkových buněk. Zbýlé procento připadá na úmrtí v důsledku asystolie (zástava elektrické aktivity).<sup>18)</sup>

Chronické formy jsou:

1. Stabilní angina pectoris
2. Asymptomatická ISCH
3. Chronické srdeční selhání
4. Dysrytmická forma ICHS
5. Stav po infarktu myokardu

1. Angina pectoris (AP) je klinický syndrom charakterizovaný bolestmi na hrudi, které se objevují při fyzické námaze, emočním stresu nebo působením chladu. Pro tyto bolesti se používá termín stenokardie. Vznikají přechodnou ischemií myokardu, obvykle při omezení průtoku v koronární tepně aterosklerotickým plátem, který zužuje průsvit cévy o více než 70%. Nejmarkantnějším příznakem AP je bolest na hrudi, často vystřelující do levého ramene, paže, či krku. Nejčastěji je vyvolávána fyzickou zátěží, chladem a psychickou zátěží. Po přerušení fyzické námahy nebo po aplikaci nitroglycerinu do 5-ti minut mizí.<sup>17)</sup>

2. Díky vyšetřovacím metodám jako je CT srdce či kalciové skóre (nález kalcifikací v koronárních tepnách), ale i při ambulantním monitorování EKG (např. kvůli palpitacím) lze odkrýt preklinické formy aterosklerózy u asymptomatických jedinců. Riziko akutních kardiovaskulárních příhod je však u těchto osob nízké, a není důvod provádět zátěžové testy či invazivní vyšetření. Důležitá jsou preventivní opatření. <sup>17)</sup>

3. Ischemická choroba srdeční se může klinicky manifestovat také vznikem a postupnou progresí chronického srdečního selhání. V současnosti je přibližně 70 % případů chronického srdečního selhání na podkladě systolické dysfunkce levé komory způsobeno ICHS. Ve většině případů jde o nemocné po prodělaném IM, u kterých došlo po IM k remodelaci levé komory, poklesu ejekční frakce a rozvoji srdečního selhání. <sup>17)</sup>

4. Ischemická choroba se může klinicky manifestovat jakoukoliv dysrytmií - supraventrikulární, komorovou nebo poruchou převodu. Dysrytmie může být jediným projevem ICHS nebo se může kombinovat s jinými klinickými formami ICHS, ať již akutními nebo chronickými. <sup>17)</sup>

5. U pacientů, kteří prodělali IM hrozí riziko dalších kardiovaskulárních příhod. Dělí se na skupinu s nízkým nebo vysokým rizikem reinfarktu, chronického srdečního selhání nebo NSS. I nepříznivá prognóza se dá zlepšit sekundární prevencí- změnou životního stylu (hlavní faktor přestat kouřit!) a vhodnými farmaky (beta-blokátory, inhibitory ACE, antiagregační léčba).

## **2.2 Jiná onemocnění:**

### **2.2.1 Onemocnění perikardu**

Perikarditidy jsou zánětlivé procesy, postihující vnitřní nebo vnější list perikardiálního obalu srdce. Příčiny jsou virové, bakteriální, revmatické, aktinomykotické, u infarktu myokardu, traumatické, parazitární, uremická, u systémových onemocnění, neoplastická a postradiační. Rozlišujeme akutní a chronické perikarditidy, a s výpotkem či bez výpotku.

Srdeční tamponáda vzniká při rychlém hromadění výpotku, který díky tlaku omezuje v perikardu přítok krve do srdce. Krev před srdcem městná, plíce se



málo prokrvují a játra jsou zvětšena. Pacient je dušný, tachykardický, hypotenzní až s rozvojem šoku a náhlé smrti. Příčinou jsou traumata, nádory, infekce a akutní infarkt myokardu. <sup>1)</sup>

### **2.2.2 Intrakardiální útvary:**

Primární tumory jsou vzácné. Sekundární tumory se vyskytují častěji, bývají menší a většinou zůstávají dlouho klinicky němé.

### **2.2.3 Benigní tumory**

Z benigních nádorů převažuje myxom, který vyrůstá z interatriálního septa do levé síně. Dále lipom a fibrom, vzácnější tumory jsou např. paraganglion, mezoteliom a papilární fibroelastom.

### **2.2.4 Maligní nádory**

Nejčastějším primárním tumorem je sarkom, a dále mezoteliom. Tumory metastazující do srdce jsou bronchogenní karcinomy, karcinomy prsu, maligní lymfomy, melanomy, teratomy a karcinomy štítné žlázy. Klinicky se manifestují až v inoperabilní fázi, při místní nádorové infiltraci či vzdálené metastázy. Obvykle se projevují všeobecné symptomy nádorového onemocnění, dále pak srdeční šelest, levostranné nebo pravostranné srdeční selhání, plicní či systémová embolizace, perikarditida, arytmie apod. Diagnosticky nejvýznamnější je v tomto případě echokardiografie, doplněna dle potřeby RTG hrudníku, EKG, CT, či MR a laboratorní vyšetření. <sup>1)</sup>

### **2.2.5 Chlopenní vady**

Výskyt chlopenních vad se snižuje. V posledních letech došlo k rozvoji diagnostických metod, především echokardiografie, rozvíjí se terapeutické operační i katetrizační metody. Hlavním prostředkem pro detekci vady je fyziologický nález na srdci doplněný anamnézou a základními vyšetřeními. CTA srdce se zaměřením na chlopenní vady je indikováno jedině před chirurgickým řešením ke stereometrii chlopní. <sup>1)2)</sup>

### **2.2.6 Vrozené srdeční vady**

U vrozených srdečních vad v případě dětí převažuje echokardiografické vyšetření, či magnetická rezonance, CTA je indikováno velmi omezeně. U dospělých jedinců se vyšetření provádí hlavně u zkratových vad s defektem septa síní při rozvoji plicní hypertenze, u pacientů po operaci srdeční vady a CTA je velmi přínosné také pro zobrazení aortální koarktace a pro prokázání otevřené tepenné dučeje. Využívá se především planárních rekonstrukcí, u koarktace, otevřené dučeje a anomálního vústění žil i VRT (volume rendering technique- volumované renderování) rekonstrukce. <sup>2)</sup>

### **2.2.7 Významné stenózy koronárních tepen**

Hodnocení koronárních tepen je na CT možné provést pouze s EKG synchronizací (věnčité tepny mají příliš malý průsvit a vytváří výrazné pulsační artefakty). Stupně stenózy se do 50% hodnotí jako nevýznamné, od 50-75% jako významné, a nad 75% hemodynamicky velmi významné. Posuzuje se i složení aterosklerotického plátu, kdy nejvýznamnější jsou pláty s nasedajícím trombem (denzita okolo 40 HU). Tyto pláty bývají příčinou nestabilní anginy pectoris a možného akutního uzávěru. Fibrózní léze (denzita 70-100 HU) většinou neobsahují kalcifikace, ale mohou způsobovat významné stenózy. Využívá se také stínované VRT rekonstrukce), a dle oblasti zájmu zobrazujeme námi požadovaná konkrétní místa v koronárním řečišti. <sup>2)</sup>

## 3 VÝPOČETNÍ TOMOGRAFIE

### 3.1 Konstrukce výpočetního tomografu

Základní konstrukční prvky CT jsou:

1. Zdroj vysokého napětí
2. Zobrazovací soustava složená ze zdroje rentgenového záření a detekčního systému uložená v gantry
3. Výpočetní systém
4. Vyšetřovací stůl

Principy výpočetní tomografie:

Vyšetření pomocí CT je založeno na měření absorpce svazku rentgenového záření v tenké vrstvě vyšetřované oblasti těla a následným zpracováním získaných dat s použitím matematických rekonstrukčních algoritmů. K určení rozsahu denzity (míry absorpce a rozptylu záření) v dané oblasti se používají Hounsfieldovy jednotky (HU). Hodnota denzity vyjadřuje stupeň absorpce RTG záření v příslušných tkáních, vztaženou k absorpci ve vodě. Jelikož je lidské oko schopné rozlišit pouze 20 odstínů šedi, neppracujeme s celým rozsahem Hounsfieldovy stupnice (její rozsah je 4000, viz .tabulka č.1), a nastavujeme si tzv. okénko (Window), jeho střed (Window Center) a jeho šíři (Window Width). Vymezíme si tím určitou oblast v příslušných odstínech šedi, kdy se struktury s denzitou nad hranicí okna zobrazí bíle a struktury pod dolní hranicí se zobrazí černě. Střed okna volíme odpovídající absorpční hodnotě vyšetřované oblasti a jeho šíři dle předpokládaného rozsahu denzit tkání ve vyšetřované oblasti. Zúžením okna získáme kontrastnější obraz, a zobrazení jemných rozdílů v denzitě tkání, ale obraz bude zrnitější. <sup>2)</sup>

### 3.2 Primární data

Přímo v ovládacím počítači CT přístroje jsou shromážděná data zpracována do tzv. primárních rekonstrukcí. Pro hodnocení koronárních tepen jsou vytvořeny axiální obrazy velmi tenké šíře v závislosti na možnostech přístroje (0,5-0,75

mm). Dále jsou vytvořeny obrazy ve více fázích srdečního cyklu pro hodnocení funkce a kinetiky. Tyto primární rekonstrukce jsou použity pro hodnocení srdce a jeho struktur na dedikovaných pracovních stanicích, které dovolují plynulou práci s velkými objemy dat.

### **3.3 Sekundární data**

V průběhu hodnocení lékař obvykle pracuje s více typy sekundárních rekonstrukcí, z nichž některé může uložit jako dokumentační snímky - kupř. cílené na stenózu koronární tepny či rozměry patologické expanze.

Základní používané typy rekonstrukcí pro hodnocení srdce a jeho oddílů a chlopní jsou multiplanární rekonstrukce (MPR), maximum intensity projection (MIP) a zobrazení pomocí volume rendering techniky (VRT).

### **3.4 Vyšetření srdce**

#### **3.4.1 Kalciové skóre koronárních tepen (CACs)**

Jedná se o vyšetření srdce bez podání kontrastní látky, provedené pomocí synchronizace s EKG (častěji se užívá EKG triggering než EKG gating), kolimace je od 1,5 – 2,5 mm, šíře vrstvy je 3mm. Pro hodnocení kalciového skóre se používají axiální obrazy v diastolické fázi srdečního cyklu. Stanovuje se množství vápníku ve stěně koronárních tepen a z toho plynoucí kardiovaskulární riziko. Udává se Agatstonovým skóre- přítomnost a množství vápníku relativně odpovídá stupni aterosklerózy a lze určit statistickou pravděpodobnost výskytu významného postižení koronárních tepen.<sup>2)11)</sup>

Pokud je hodnota 0, kalcifikované pláty nejsou detekované a pravděpodobnost postižení koronárních tepen je velmi nízká (<5 %). Kardiovaskulární riziko je velmi nízké.

Při hodnotách 1-10 je kardiovaskulární riziko nízké, lze detekovat velmi málo kalcifikovaných plátů a pravděpodobnost významného postižení koronárních tepen je <10%.

Rozmezí od 11 do 100 vypovídá o lehkém postižení kalcifikovanými pláty, s nízkou pravděpodobností významné stenózy a středním kardiovaskulárním rizikem.

U hodnot 101- 400 již mluvíme o středním postižení kalcifikacemi plátů, a střední pravděpodobností významné stenózy.

Kalciové skóre vyšší než 400 je ukazatelem rozsáhlého postižení kalcifikovanými pláty, vysokou pravděpodobností nejméně jedné významné stenózy a velké kardiovaskulární riziko. <sup>11)</sup>

Kalciové skóre má vysokou senzitivitu (kolem 90%), ale poměrně nízkou specificitu (50%), která je pro stanovení rozsahu onemocnění koronárních tepen nedostatečná. Je tedy nutné toto vyšetření využívat pro posuzování vývoje onemocnění věnčitých tepen a hodnotit ho jako nezávislý rizikový faktor.

#### **3.4.2 Postprocessing u kalciového skóre**

Pro hodnocení kalcifikací je zapotřebí speciálního postprocessingového programu, ve kterém se kalcifikace automaticky vyhledají a označí stanovením prahových hodnot. Základní práh stanovený Agatstonem je 130 HU. Na axiálních obrazech program vyhledá pixely s vyšší hodnotou než je prahová hodnota, označí se jednotlivé léze a rozdělí se na léze na ramus intervenricularis anterior, na ramus circumflexus, na levé koronární tepně a na pravé koronární tepně. Jakékoliv jiné kalcifikace (na perikardu, chlopních aj.) musí být vyloučeny, stejně tak jako implantované stenty. Program pak stanoví počet jednotlivých lézí, vypočte objem kalcifikací a pomocí kalibrace určí obsah hydroxyapatitu v jednotlivých lézích. Agatstonovo skóre je součet plochy kalcifikací (na axiálních obrazech) vynásobené kofaktorem (u hodnoty 130-199 HU je hodnota kofaktoru 1, u 200- 299 HU hodnota 2, pro rozmezí 300- 399 HU je hodnota kofaktoru 3 a nad 400 HU hodnota 4). <sup>2)</sup>

#### **3.4.3 CT srdce, věnčitých tepen s EKG synchronizací**

CTA věnčitých tepen a srdce je neinvazivní zobrazovací metoda koronárního řečiště. Podmínkou kvalitního vyšetření je izotropní zobrazení a použití synchronizace akvizice dat s elektrokardiogramem. Věnčité tepny bez

synchronizace se nevyšetřují vůbec, u srdce lze použít zobrazení bez synchronizace pouze jako orientační vyšetření. Zobrazení koronární cirkulace v diagnostice využíváme k zobrazení průchodnosti cévních rekonstrukcí tepenných i žilních bypassů. <sup>2)</sup>

## **Příprava pacienta**

### **Premedikace**

V současné době již není nutné podávat betablokátory, které zpomalovaly tepovou frekvenci (podávaly se u pomalejších typů přístrojů). Je možné (hlavně díky DSCT, kde se snižuje časové rozlišení až na 83 ms) vyšetřovat pacienty i s vyššími tepovými frekvencemi (nad 110/min.). Pacient by z důvodů možné nežádoucí reakce na kontrastní látku měl lačnit 4 hodiny před vyšetřením.

### **Vlastní vyšetření**

Pacient se s řádně vyplněnou žádankou od lékaře dostaví na příslušné CT pracoviště, kde obdrží tzv.: souhlas s vyšetřením, který je nutné přečíst a podepsat. Pacient si v převlékací kabině odloží oděv. Při vyšetření srdce musí být pacient svlečen od pasu nahoru. Ve vyšetřovně je radiologickým asistentem dotázán na možnou alergii na jód, či jiné alergie. Pokud je alergie v minulosti prokázána, radiologický asistent tuto skutečnost konzultuje s lékařem, který je přítomen na CT pracovišti. V případě, že lékař rozhodne o podání kontrastní látky, je pacient premedikován Dithiadenem.

Poté pacientovi sestra zavede kanylu do žíly nejlépe na horní končetině, pacient je napojen na přetlakový injektor, kterým je podávána kontrastní látka. Radiologický asistent pacienta instruuje, aby se položil na záda na vyšetřovací stůl, a připojí pacienta na elektrody. Radiologický asistent sleduje tepovou frekvenci na displeji na gantry, dokud se tepová křivka neustálí, zaveze pacienta do gantry a nacentruje pomocí laserových ukazatelů vyšetřovanou oblast. Dále je vyšetření prováděno radiologickým asistentem z ovládací místnosti. Komunikace s pacientem je zprostředkována pomocí mikrofonu.

Radiologický asistent zadá rodné číslo pacienta a číslo žádanky do počítače, zvolí příslušný program a provede topogram. Topogram je základní sada skenů,

na kterých je plánován rozsah vyšetření. Používáme kaudokraniální směr skenování a nastartování akvizice vzestupem denzity o 50 HU v proximální abdominální aortě. Při sběru dat (cca od 10 do 20-ti sekund) by pacient neměl dýchat. Pokud je vyšetření cílené na zobrazení jen koronárních tepen, je obvykle kraniokaudální rozsah vyšetření omezen jen na oblast srdce a horní část hrudní není skenována.

Pro rekonstrukci axiálních zdrojových obrazů se používají následující rekonstrukční parametry: rekonstruovaná šíře vrstvy 0,6 mm, rekonstrukční increment 0,4 mm, rekonstrukční algoritmus pro měkké tkáně (kernel B25++) nebo při hrubých kalcifikacích nebo implantovaných stentech (kernel B35).<sup>19)</sup>

### **Synchronizace s EKG**

Jelikož pohyb srdce nelze zastavit, využívá se synchronizace s EKG. Existují dva základní principy synchronizace s EKG, hradlování (gating) a spouštění (triggering).

V případě triggeringu se jedná o prospektivní synchronizaci a sběr CT dat je spouštěn jen v určité předem zvolené fázi EKG, obvykle vyjádřené procentem vzdálenosti mezi dvěma vlnami R, například ve střední diastole vyjádřené jako 65 % R-R intervalu. Čas spuštění je ovládacím programem automaticky určen na základě několika předchozích EKG intervalů. Obvykle je využívána metoda sekvenčního skenování, kdy v průběhu skenování stůl s pacientem stojí na místě a pohybuje se v intervalu, kdy přístroj neskenuje. Výhodou triggeringu je nižší radiační zátěž. Nevýhodou je citlivost na nepravidelnosti v srdečním rytmu, kdy při extrasystole může dojít ke skenování v jiné než původně zvolené fázi srdečního cyklu. Další nevýhodou je nemožnost zrekonstruovat srdce ve více fázích srdečního cyklu pro hodnocení funkce a kinetiky.<sup>10)</sup>

Při gatingu se jedná o retrospektivní synchronizaci. CT data jsou sbírána v průběhu celého srdečního cyklu a následně je vybrána fáze pro rekonstrukci. Výhodou gatingu je možnost zpětně zvolit nejlepší fázi pro rekonstrukci a dále možnost vytvořit rekonstrukci ve více fázích (obvykle 10, ale i více) a hodnotit tak kinetiku myokardu a objemy srdečních dutin v průběhu srdečních cyklů. Nejvýraznější nevýhodou je vyšší radiační zátěž.<sup>10)</sup>

Kombinací uvedených metod je EKG pulsing, při kterém je předem zvolena určitá část R-R intervalu, kdy CT přístroj používá plný výkon a ve zbylém čase je výkon rentgenky snížen na nižší dávku (například 20 %). To umožňuje snížit dávku při částečném zachování výhod gatingu - volba části R-R intervalu pro rekonstrukci a hodnocení funkce a kinetiky. U gatingu i pulsingu je nutné skenovat metodou spirální, kdy se stůl s pacientem kontinuálně pohybuje skrze gantry přístroje (Příloha č.1 ). <sup>10)</sup>

#### **3.4.4 Aortokoronární bypassy**

Metoda synchronizace EKG s CTA je ideální pro zobrazení aortokoronárních bypassů. Provedení vyšetření je stejné jako u CT vyšetření koronárních tepen a srdce, s tím, že rozsah vyšetření a následné rekonstrukce zahrnují i odstup fixovaného arteriálního štěpu. Štěpy se dělí na venózní, fixované tepenné a volné tepenné. Uzavření bypassu stenózou se manifestuje nenaplněním lumenu, přičemž je třeba vyloučit pohybové artefakty či špatné podání kontrastní látky. <sup>2)</sup>

### **3.5 Postprocessingové techniky**

#### **3.5.1 2D postprocessingové techniky**

##### **Postprocessing axiálních obrazů**

Úpravy v axiální rovině se provádí jen minimální, především jde o adjustaci okénka pro nastavení správného kontrastu a jasu náplně v cévě. Ve většině případů nelze s jediným nastavením okénka vystačit pro hodnocení všech axiálních obrazů z celého vyšetření. Optimální nastavení okénka je takové, kdy je možno od sebe jasně diferencovat kalcifikace, stěnu cévy a náplň. <sup>2)</sup>

##### **Multiplanární rekonstrukce (Multiplanar reconstruction – MPR)**

Planární neboli plošné rekonstrukce slouží k rekonstruování plošných obrazů. Jejich hlavním úkolem je získat zobrazení v rovině vhodné pro správné měření rozměrů a posouzení patologií. Planární rekonstrukce zahrnují prosté planární rekonstrukce (MPR), paralelní sady MPR a rekonstrukce zakřivených ploch. <sup>2)</sup>



## **Zakřivená planární rekonstrukce (Curved planar reconstruction- CPR)**

Rekonstrukce zakřivených ploch se používá k zobrazení řezu cévou v ploše, která sleduje její proudnici. Zjednodušeně jde o jakési vyrovnání průběhu cévy. Měření stenóz se provádějí v rovině kolmé na tuto křivku, což odpovídá skutečnosti. Máme-li k dispozici speciální software pro komplexní cévní analýzu, je vhodnější ho použít. V ostatních případech umožňuje program pro zhotovení multiplanárních rekonstrukcí ručně zakreslit na některé multiplanární nebo prostorové rekonstrukce křivku sledující tvar cévy, podle které se rekonstrukce vytvoří. Je nežádoucí provádět měření rozměrů a vzdáleností na trojrozměrných rekonstrukcích.

### **Cine zobrazení**

Slouží k automatickému prohlížení rozsáhlejších sérií řezů, bez nutnosti ručního posunu. Software umožňuje nastavit rychlost prohlížení v počtu snímků za sekundu a směr prohlížení.

#### **3.5.2 3D postprocessingové techniky**

### **Maximum intensity projection (Zobrazení maximální denzity- MIP)**

Způsob zobrazení pomocí MIP vychází z podoby virtuálního rentgenového snímku. Výsledný obraz vzniká projekcí virtuálního paprsku procházejícího tkáně na virtuálním stínítku. Zobrazuje se vždy pouze pixel s nejvyšší denzitou v daném směru. Pro kvalitní MIP rekonstrukci je zapotřebí aplikace kontrastní látky, aby byla denzita náplně cévy vyšší než 200- 250 HU ( Hounsfield unit). Zároveň je nutné získat axiální obrazy s nízkou úrovní šumu. Kvalita zobrazení je nejvíce ovlivněna prostorovým rozlišením, pro efektivní šíři axiálních obrazů nad 3 mm jsou zobrazení značně hrubá a slouží pro zobrazení největších cév, jako je aorta, dutá žíla a hlavní větve portální žíly. Nejlepší zobrazení se vytvářejí v případě izotropního zobrazení prostoru. Podstatný vliv na kvalitu MIP rekonstrukcí má i šum základního obrazu. Pro rekonstrukci MIP zobrazení se používají axiální obrazy s co možná nejvyšším potlačením denzních rozhraní. Protože virtuální obraz vzniká prosvícením tkáně virtuálním paprskem, na kontrast zobrazení má vliv i šíře vrstvy prosvěcované tkáně. V široké vrstvě se negativní vliv šumu násobí. Vrstvu zobrazované tkáně je možné zúžit pomocí

definování objemu zájmu nebo použitím vrstevných zobrazení vytvořených pomocí MIP. Hlavními nevýhodami MIP rekonstrukcí jsou: <sup>2)</sup>

1. Superprojekce kalcifikací ze stěny cévní do náplně cévy (kalcifikace nabývají vlivem blooming artefaktu na objemu a arteficiálně zužují cévní lumen, což znepřesňuje měření stenóz. Problém částečně řeší použití duální energie záření.
2. Superpozice skeletu (lze odstranit subtrakcí)
3. Superprojekce jednotlivých cévních struktur (řešením je vhodné natočení projekce nebo vrstevné zobrazení)

### **Zobrazení minimální denzity (Minimum intensity projection-MinIP)**

Princip je stejný jako u MIP. S tím rozdílem, že se zobrazí pouze pixel s nejnižší denzitou v daném směru, a je jedno, v jaké vzdálenosti od virtuálního stínítka leží. Tento typ rekonstrukce se používá pro zobrazení dýchacích cest, a jiných dutých útvarů vyplněných plynem.

### **Vessel tracking**

Segmentace cév pomocí vessel trackingu je poloautomatický nebo plně automatický softwarový algoritmus, který významně zkracuje čas potřebný pro postprocessing. Odlišení cév je založeno na vyhledávání voxelů s podobnou denzitou v oblasti zájmu, která je automaticky nebo ručně vyhledána. V praxi se provádí vessel tracking následovně: prvním krokem je sledování průběhu cévy. Označí se dva body- jeden na začátku a druhý na konci cévy, díky nimž může software označit průběh cévy. V případě potřeby je možno použít více bodů. Poté software automaticky vytvoří CPR podél proudnice cévy. Tento podélný pohled může být otáčen kolem dlouhé osy, lze vyhodnotit polohu větví cév, a umístění a podélný rozsah aterosklerotických plátů.

Pokud máme tuto metodu k dispozici, je vhodné jí preferovat před vytvářením CPR ručně, což vede k větším nepřesnostem. <sup>2)14)15)16)</sup>

## **Shaded surface display - SSD**

SSD rekonstrukce zobrazuje povrch trojrozměrných objektů. Pomocí zdroje virtuálního světla se osvětlí povrch modelu. Dopadající světlo se od modelu odráží, a v závislosti na úhlu dopadu vytváří stínování. Míra stínování může být ovlivněna i vlastnostmi zdroje virtuálního osvětlení. Pokud jde o jeden bod, ostré světlo zdůrazňuje povrchové nerovnosti rekonstruovaného modelu, a proto je toto zobrazení vhodné například pro zobrazení linií fraktury na skeletu. Pro zobrazení cév je vhodný širší nebo vícenásobný zdroj osvětlení, kdy jsou stíny měkčí. Tato rekonstrukce se v současné době využívá minimálně. Při zobrazení cév i skeletu byla překonána metodou objemového renderování (VRT). Stále se však používá při virtuální endoskopii. <sup>2)</sup>

## **Technika objemového renderování (Volume rendering technique - VRT)**

Zobrazení volume rendering technique pracuje s celým objemem dat, kdy vytváří prostorový model reálného objektu pomocí intervalů denzitních hodnot. Pomocí nich jsou definovány voxely, které mají být zobrazeny. Každému intervalu může být přiřazena jiná barva. Interval je buď vymezen bodem, pak se zobrazí denzity vyšší nebo nižší než stanovená hodnota a nazývá se rampou. Pokud je interval vymezený dvěma body, nazývá se trapezoidem. Na výsledném vzhledu rekonstrukcí se kromě barev jednotlivých intervalů podílí také míra průhlednosti (tzv. opacita) a virtuální osvětlení. Pokud je průhlednost nulová, je vzhled obrazu podobný SSD rekonstrukci, pokud je průhlednost větší, přibližují se obrazy svým vzhledem MIP rekonstrukcím nebo rentgenovým snímkům. <sup>2)</sup>

## **3.6 Postprocessing u vyšetření srdce**

### **3.6.1 Planární rekonstrukce**

Základem hodnocení srdce, jeho oddílů a chlopní jsou planární rekonstrukce (MIP) axiálních obrazů v transverzální orientaci a dále se používají i rekonstrukce kolmé k rovině proložené interventrikulárním septem, známé jako čtyřdutinové projekce, dále rekonstrukce příčné v krátké ose srdce (angl. short axis) a dvoudutinové rekonstrukce paralelní s interventrikulárním septem v dlouhé ose (angl. long axis). Roviny se orientovaly podle komorového septa,

vhodný obraz byl vybrán ze sady základních skenů. Pro co nejpřesnější hodnocení byl zvolen typ MIP thin , nastavení řezů po 5-ti mm. Byly provedeny řezy:

1. Paralelně s interventrikulárním septem – tato rovina dobře zobrazuje vzájemné poměry mezi síní a komorou a atrioventrikulární ústí (obr. č.)
2. Kolmo na interventrikulární septum - zobrazení v krátké srdeční ose protíná oddíly v rovině kolmé na rovinu interventrikulárního septa a zobrazuje dobře poměr tvarů levé a pravé komory (obr. č.)
3. Axiální řezy v transverzální orientaci - zobrazují mitrální a trikuspidální ústí, septum a poměry mezi velikostí levé a pravé komory a síně (Obr. č.)

Zhotovení rekonstrukcí v axiálních řezech trvalo 2 až 3 minuty.

### **3.6.2 Aplikace CIRCULATION**

Aplikace Circulation je aplikace určena pro automatické nebo poloautomatické hodnocení srdce a koronárních tepen. Umožňuje segmentaci srdce a koronárního řečiště, a zobrazení srdce ve standardních rovinách. V aplikaci Circulation po přetažení dat byla použita funkce Quantitative Coronary Analysis. Aplikace Circulation nejprve provede automatickou segmentaci srdce a koronárních tepen, poté se ručně označí aorta nad úroveň koronárních tepen. Ty jsou pak segmentovány. Ostatní struktury se automaticky odstraní, což umožňuje lepší orientaci. Obrazy je možno libovolně natáčet.

Prvním krokem při analýze bylo označení pravé koronární tepny (začátek a konec), poté se potvrdila funkce Evaluation, pomocí volby Finish se úloha dokončila a na rekonstrukcích se hodnotila tepna ze dvou různých, co nejméně zkreslených, úhlů pohledu. Dále se stejným postupem hledala a ukládala levá koronární tepna a r.circumflexus.

Zobrazujeme :

1. Pravou koronární tepnu (RCA- right coronary artery)- příloha č.
2. Levou koronární tepnu (LCA- left coronary artery)-příloha č.

### 3. CX (circumflexus) - příloha č.

Tyto rekonstrukce trvaly přibližně 5 až 7 minut.

#### 3.6.3 VRT rekonstrukce

Věňčité tepny a srdce jako celek se zobrazuje pomocí stínovaných VRT rekonstrukcí, které je možno vytvořit v aplikaci Circulation nebo In Space.

Aplikace In Space umožňuje provádět VRT rekonstrukce v lepší kvalitě. Nastavení algoritmu VRT musí odlišovat kalcifikace od kontrastní náplně cév. Pro hodnocení byl zvolen algoritmus Cardiac Smooth. Překážkou pro hodnocení srdce je skelet hrudníku. Pro zobrazení srdce je tedy nutné použít funkce Rotate Clip/Rotate clip plain pro odříznutí sternu a části žeber.

Věňčité tepny se zobrazují natočením objektu tak, aby byl zachycen jejich průběh z co nejlepšího úhlu pohledu. Pohled na průběh tepen byl ukládán v tomto pořadí:

1. průběh pravé koronární tepny po srdeční stěně (viz. příloha č.
2. průběh levé koronární tepny po srdeční stěně (viz. příloha č.
3. pohled zespodu srdce, kdy byl zachycen průběh pravé koronární tepny a v ideálním případě i část průběhu levé koronární tepny po srdeční stěně (viz. příloha č.

Všechny vyhotovené obrazy se ukládají pomocí volby SAVE. Celková doba Vrt rekonstrukcí byla cca 15- 20 minut.

## **4 DISKUZE**

### **4.1 Postprocessing**

Pro správné provedení postprocessingu u srdce bylo zapotřebí seznámit se s programy, ve kterých byly rekonstrukce dělány. Zpočátku zhotovení všech rekonstrukcí u jednoho pacienta trvalo poměrně dlouho dobu, což bylo dáno nedostatečnou praxí a orientací v programech. Po několika zkušebních rekonstrukcích byl tento nedostatek odstraněn a čas pro vytvoření daných rekonstrukcí se snížil. Postprocessing prováděný u vybraných pacientů se dělil na tři oddíly, při kterých byly zhotovovány rekonstrukce určené pro hodnocení srdce a koronárních tepen.

#### **4.1.1 Axiální řezy**

První část zahrnovala zhotovení axiálních řezů ve třech rovinách, kde jako výchozí bod sloužilo komorové septum. Provádění těchto rekonstrukcí je nenáročné a lze ho provést ve velmi krátkém čase.

#### **4.1.2 Cirkulace**

Tato aplikace umožňuje segmentaci srdce a koronárního řečiště, a zobrazení srdce ve standardních rovinách. V aplikaci Circulation po přetažení dat byla použita funkce Quantitative Coronary Analysis. Aplikace Circulation provede automatickou segmentaci srdce a koronárních tepen, označí se aorta nad úrovní koronárních tepen, vyselektují se požadované struktury, a pomocí funkce Evaluation se hodnotí tepny. Práce s tímto programem není až tak složitá, neboť zde fungují automatické segmentace.

#### **4.1.3 VRT rekonstrukce**

Tento oddíl byl časově nejnáročnější, neboť je nutná editace řeznými plochami, aby se odkryl pohled na srdce za sternem a žebry. Oříznutý objekt bylo možné natáčet z různých úhlů a nacházet tak co nejlepší pohled na průběh věnčitých tepen. Používají se stínované VRT rekonstrukce, a nastavení algoritmu VRT musí odlišovat kalcifikace od kontrastní náplně cév a umožňovat zobrazení celé, kontrastní látkou naplněné věnčité tepny.

VRT rekonstrukce lze provádět i v aplikaci Circulation, kde se provedou automaticky, což může být i nevýhoda v případě horší kvality dat či složitějších anatomických poměrů, a proto je v těchto případech lepší využít aplikaci In Space.

## ZÁVĚR

CT vyšetření srdce má bezesporu rostoucí význam pro klinickou praxi, a přináší užitečné informace o srdečních oddílech a věnčitých tepnách. Následné vyhodnocování dat je jako u jiných CT vyšetření spojeno s postprocessingem. Pro rekonstrukce srdce se používá speciální program a je nutné volit správný postprocessingový algoritmus. Přínos pro praxi vidím v nových možnostech spolupráce radiologického asistenta a lékaře, konkrétně možnost provádět rekonstrukce srdce místo lékaře, a tím mu poskytnout větší prostor pro samotné hodnocení vyšetření.



## LITERATURA A PRAMENY:

- 1 DÍTĚ, P. Vnitřní lékařství. 2. vydání, Galén, 2007, 584 stran, ISBN 9788072624966
- 2 FERDA, J. CT angiografie. 1. vydání, Galén, 2004, 408 stran, ISBN 8072622811
- 3 ČIHÁK, R. Anatomie 3. 2. Vydání, Grada Publishing, 2004, 692 stran, ISBN 978-80-247-1132-4
- 4 DYLEVSKÝ, I. Funkční anatomie .1. vydání, Grada Publishing, 2009, 544 stran, ISBN 978-80-247-3240-4
- 5 PŘIDALOVÁ, M., RIEGEROVÁ, J. Funkční anatomie 2. Hanex, 2009, 174 stran, ISBN 978-80-7409-025-7
- 6 ŠTEJFA, M. et al. Kardiologie. 3. vydání, Grada, 2006, 776 stran, ISBN 978-80-247-1385-4
- 7 FERDA, J., NOVÁK, M., KREUZBERG, B. Výpočetní tomografie. Galén, 2002, 663 stran, ISBN 80-7262-172-6
- 8 MOUREK, J. Fyziologie. Grada, 2005, 204 stran, ISBN 978-80-247-1190-4
- 9 LANGMEIER, M. a kol. Základy lékařské fyziologie, Grada, 2009, 320 stran, ISBN 978-80-247-2526-0
- 10 Výpočetní tomografie v kardiologii: současné možnosti a využití [online], [cit. 2012-22-03] Dostupné z: < <http://www.zdn.cz/clanek/postgradualni-medicina/vypocetni-tomografie-v-kardiologii-soucasne-moznosti-a-vyuziti-447995>>
- 11 Hodnocení kalciového skóre u hemodialyzovaných pacientů [online], [cit. 2012-22-03], .  
Dostupné z : < [http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad0704\\_380.pdf](http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad0704_380.pdf)>

12 Radiography Continuing Education for Radiologic X ray Technologist [online], [cit. 2012-22-03],

Dostupné z : <<http://www.ceessentials.net/article33.html>>

13 MERKUNOVÁ,A.,OREL,M. Anatomie a fyziologie člověka pro humanitní obory. Grada, 2008, 304 stran, ISBN 978-80-247-1521-6

14 DEWEY,M. Cardiac CT. Springer, 2011, 346 stran, ISBN 978-3642140211

15 FEYTER,P.,KRESTIN,G. Computed tomography of the coronary arteries. Informa Healthcare, 2004, 256 stran, ISBN 978-1841844398

16 Introduction to the Language of Three-dimensional Imaging with Multidetector CT [online], [cit. 2012-22-03], Dostupné z :<<http://radiographics.rsna.com/content/25/5/1409.full>>

17 HRADEC,J. ,BÝMA,S. Ischemická choroba srdeční. Společnost všeobecného lékařství ČLS JEP, 2007,14 stran, ISBN: 80-86998-14-2

18 Náhlá srdeční smrt [online], [cit. 2012-22-03] Dostupné z :<<http://www.ikem-kardiologie.cz/cs/pro-pacienty/co-u-nas-lecime/nahla-srdecni-smrt/>>

19 Multidetektorová CT angiografie věnčitých tepen [online], [cit. 2012-22-03], Dostupné z :< <http://www.zdn.cz/clanek/postgradualni-medicina/multidetektorova-ct-angiografie-vencitych-tepen-170738> >

## **SEZNAM ZKRATEK**

CT – computed tomography

CTA – computed tomography angiography

DSCT – dual source computed tomography

MDCT – multidetector computed tomography

HU – hounsfield unit

RIA – ramus interventricularis anterior

RC – ramus circumflexus

r. – ramus

rr. – rami

dx. – dexter, dextra, dextrum

sin. – sinister, sinistra, sinistrum

a. – arteria

aa. – arteriae

CACS – coronary artery calcium score

MR – magnetic resonance

EKG – elektrokardiogram

ICHS – ischemická choroba srdeční

AP – angina pectoris

IM – infarkt myokardu

AIM – akutní infarkt myokardu

ACE – acetylcholinesterase

PCI – percutaneous coronary intervention

MPR – multiplanar reconstruction

MIP – maximum intensity projection

MinIP – minimum intensity projection

VRT – volume rendered technique

CPR – curved planar reformation

SSD – shaded surface display

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1 Hodnoty denzity různých tkání

Tabulka 2 Hodnoty denzity tkání v srdci

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obr. 1 Typy EKG synchronizace s ohledem na skenování a následné rekonstrukce ze získaných dat.10)

Obr. 2 Řez paralelně s interventrikulárním septem – tato rovina dobře zobrazuje vzájemné poměry mezi síní a komorou a atrioventrikulární ústí

Obr. 3 Řez kolmo na interventrikulární septum - zobrazení v krátké srdeční ose protíná oddíly v rovině kolmé na rovinu interventrikulárního septa a zobrazuje dobře poměr tvarů levé a pravé komory

Obr. 4 Axiální řezy v transverzální orientaci – zobrazují mitrální a trikuspidální ústí, septum a poměry mezi velikostí levé a pravé komory a síně

Obr. 5 Cirkulace - Nabarvená aorta s definovanými koronárními tepnami

Obr. 6 Zakřivené MIP

Obr. 7 Kalcifikace v koronární tepně

Obr. 8 VRT - průběh větví levé koronární tepny po srdeční stěně

Obr. 9 VRT - průběh RIA levé koronární tepny a pravé koronární tepny po srdeční stěně

Obr. 10 VRT - pohled zespodu na průběh pravé a zčásti i levé koronární tepny

## TABULKY

Tabulka 1 Hodnoty denzity různých tkání

tkáň	HU
kost	+1000
játra	40-60
krev	40
sval	10 až 40
mozkomíšní mok	15
voda	0
bílá hmota	-20 až -30
šedá hmota	-37 až -45
tuk	-50 až -100
vzduch	-1000

Zdroj: <sup>12)</sup>

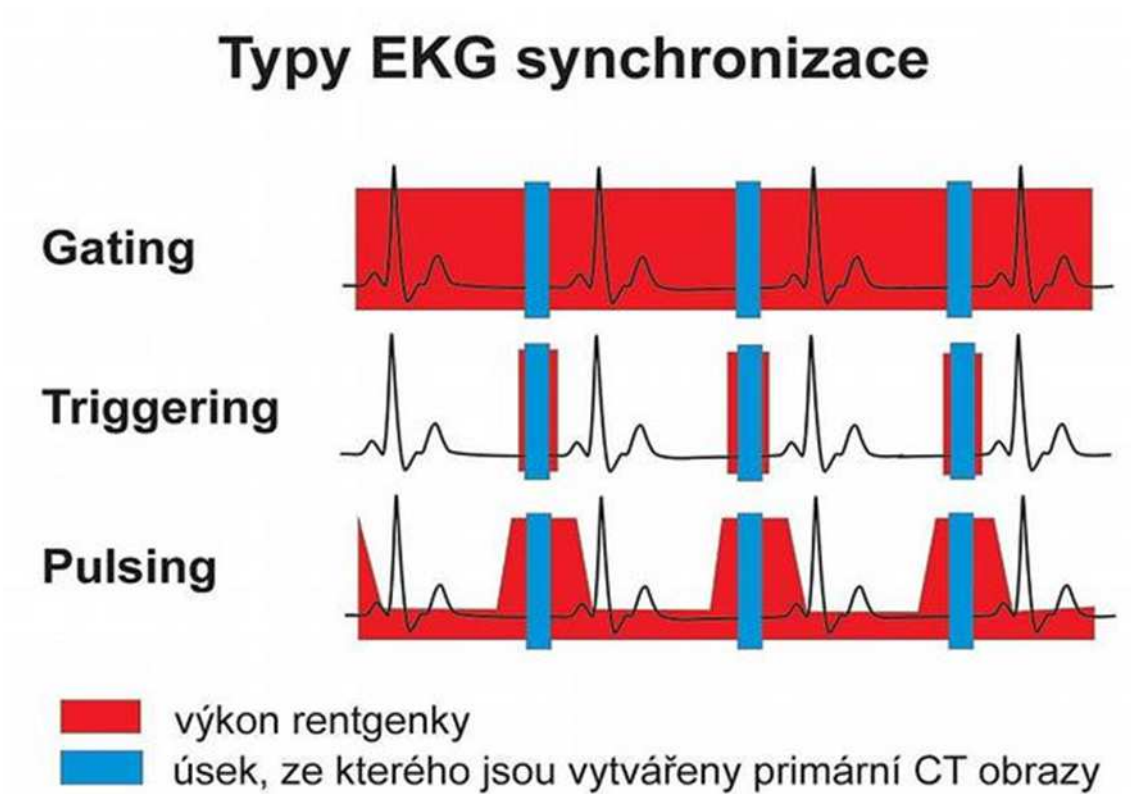
Tabulka 2 Hodnoty denzity tkání v srdci

struktura	HU
stent	700 až 1000
kalcium	200 až 1200
kořen aorty	300 až 500
lumen věnčité tepny	200 až 400
žíla	150 až 200
myokard	100 až 200
tuk	0 až 200

Zdroj: Br. J. Cardiol, 2007 Sherbourne, Gibbs, Ltd.

## OBRAZOVÉ PŘÍLOHY

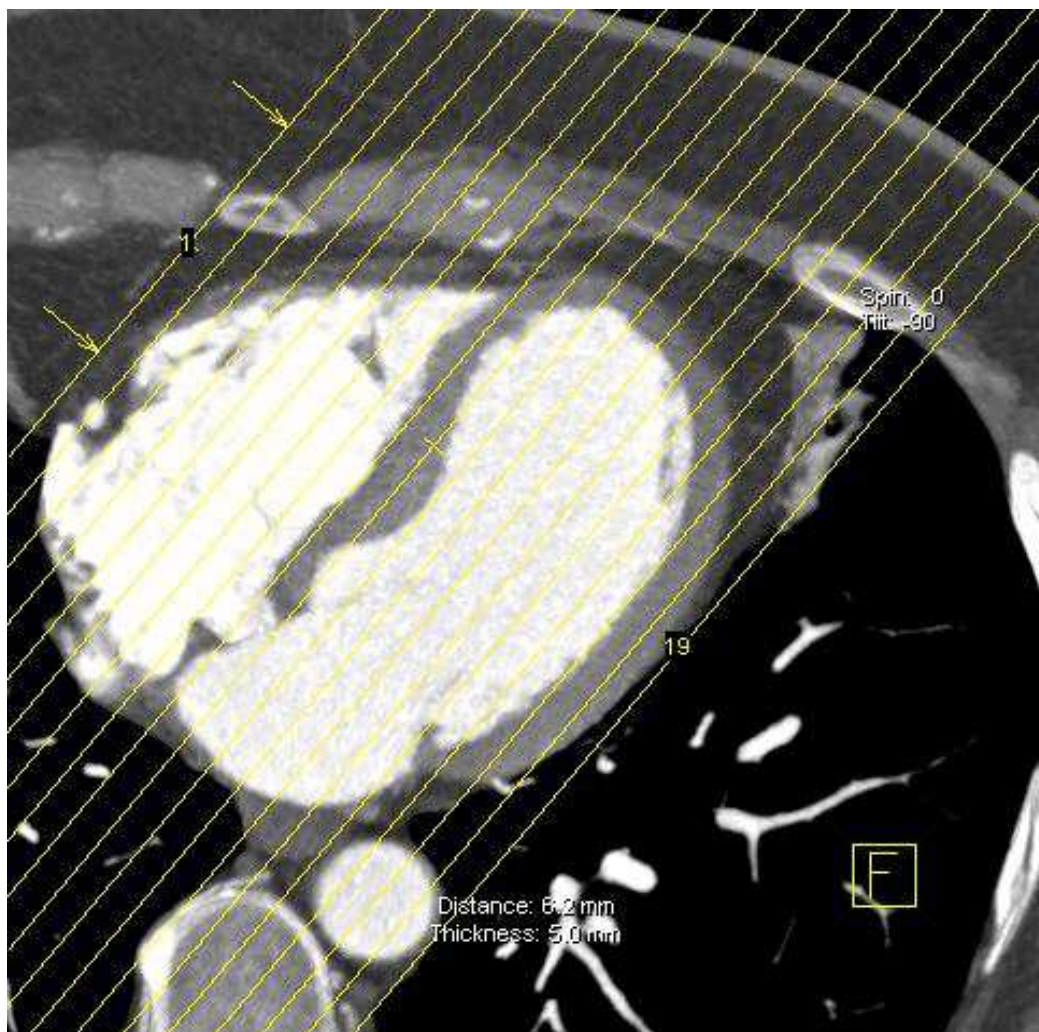
Obr. 1 Typy EKG synchronizace s ohledem na skenování a následné rekonstrukce ze získaných dat.10)



Zdroj: < <http://www.zdn.cz/clanek/postgradualni-medicina/vypocetni-tomografie-v-kardiologii-soucasne-moznosti-a-vyuziti-447995>>,[cit. 2012-22-03]

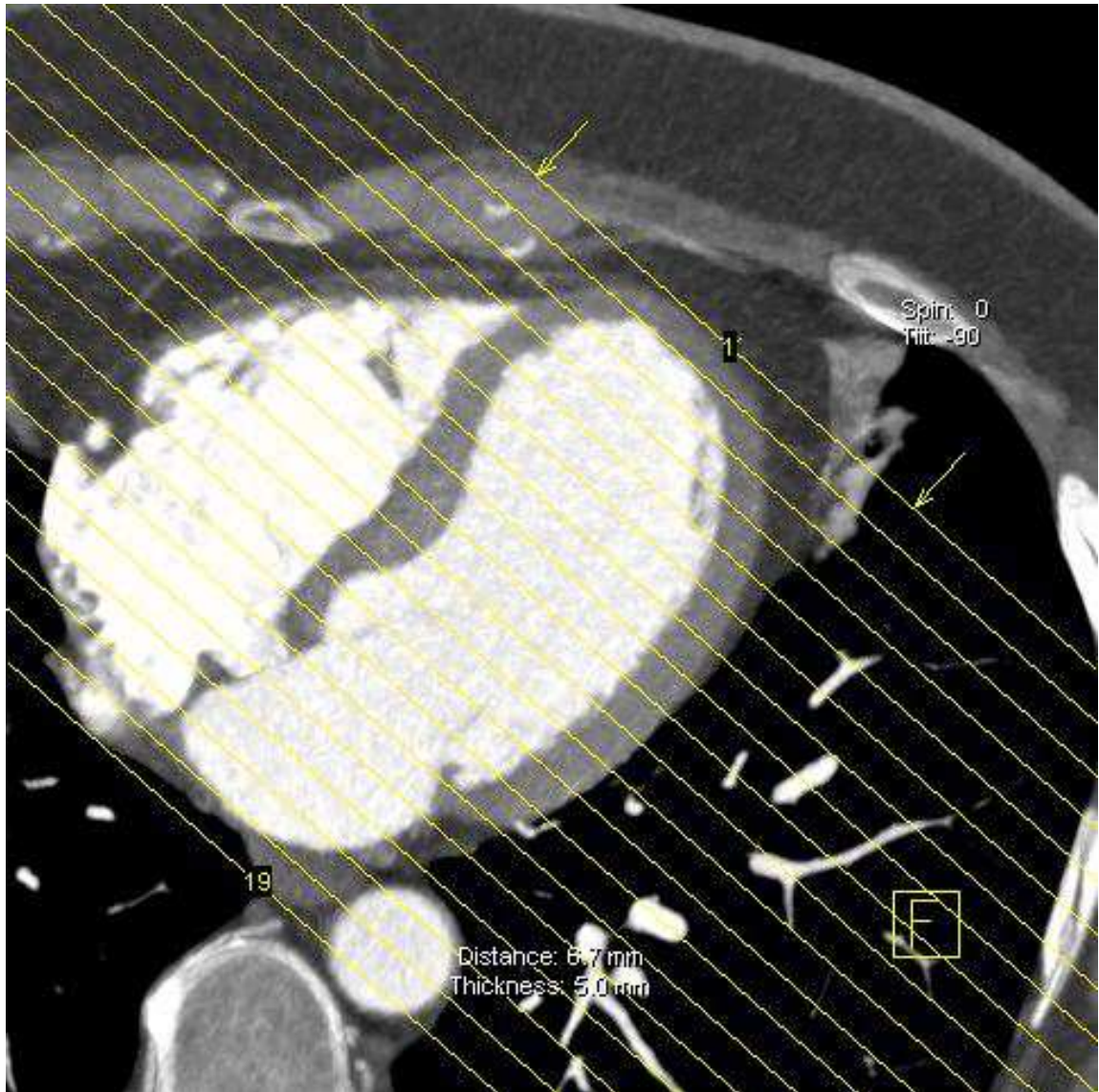


Obr. 2 Řez paralelně s interventrikulárním septem – tato rovina dobře zobrazuje vzájemné poměry mezi síní a komorou a atrioventrikulární ústí



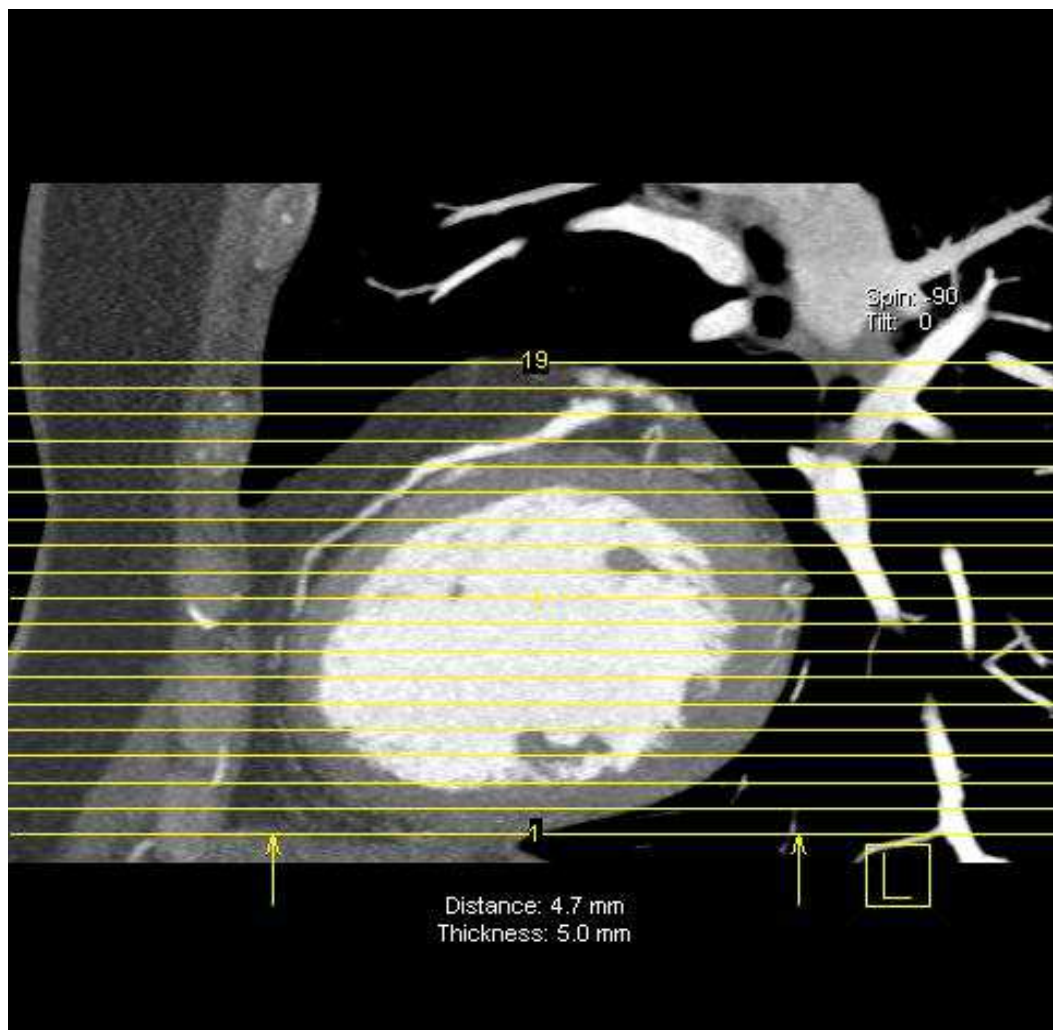
Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Lohtín, Plzeň

Obr. 3 Řez kolmo na interventrikulární septum - zobrazení v krátké srdeční ose protíná oddíly v rovině kolmé na rovinu interventrikulárního septa a zobrazuje dobře poměr tvarů levé a pravé komory



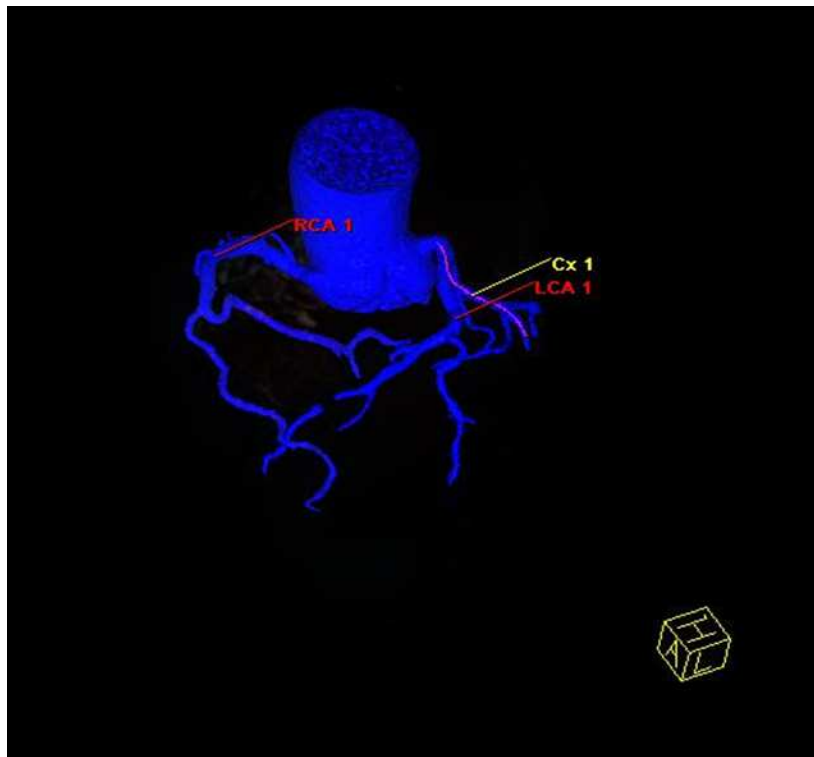
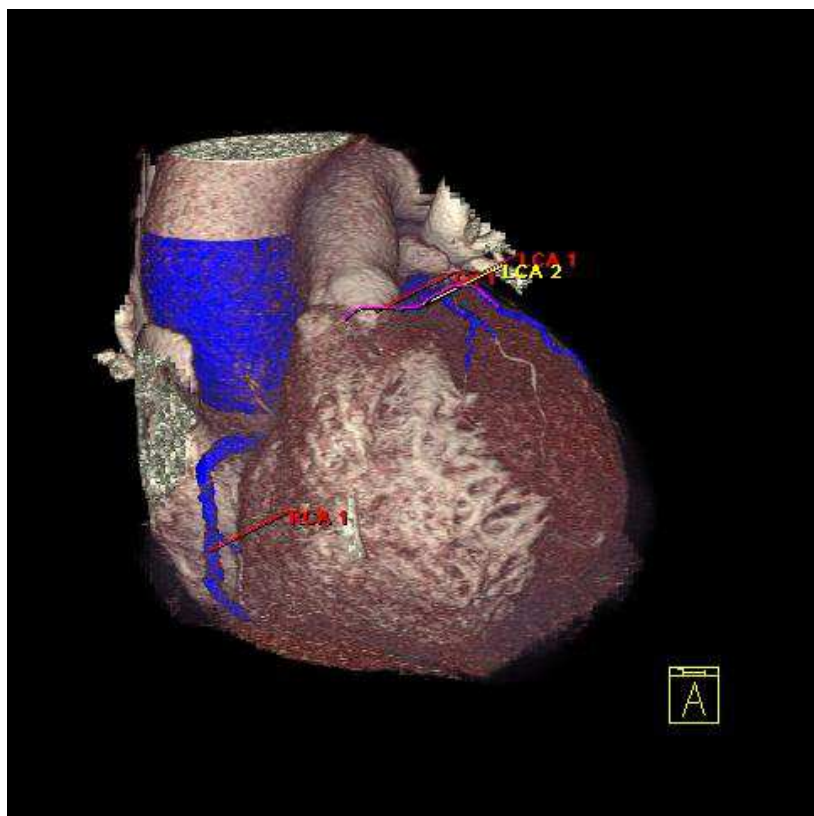
Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Lochotín, Plzeň

Obr. 4 Axiální řezy v transverzální orientaci – zobrazují mitrální a trikuspidální ústí, septum a poměry mezi velikostí levé a pravé komory a síně



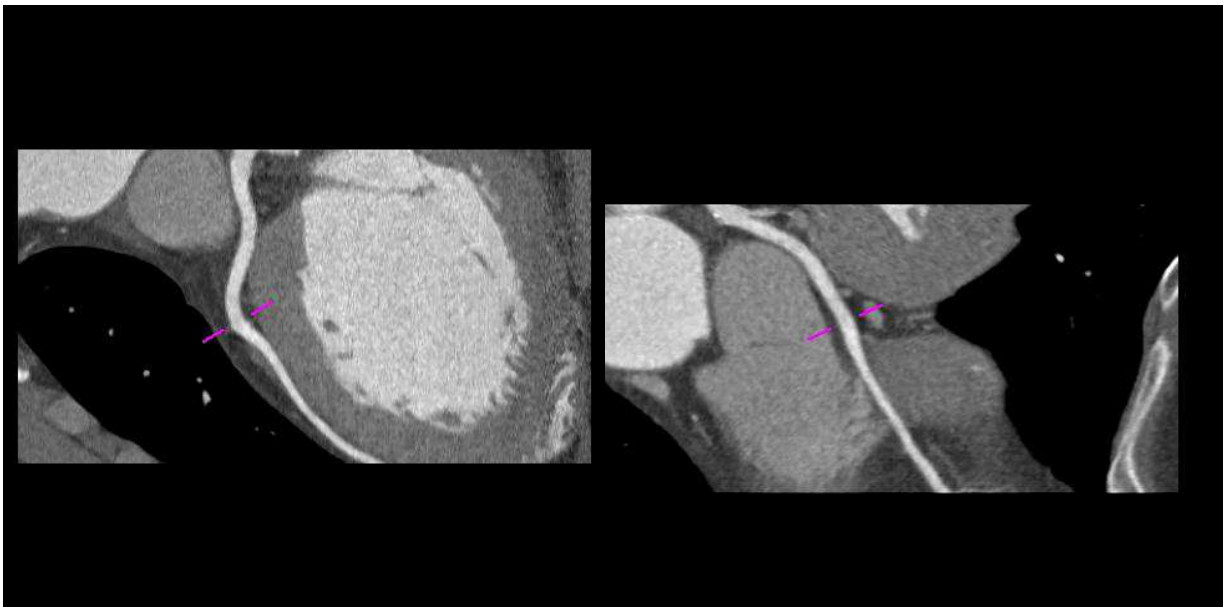
Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Lochotín, Plzeň

Obr. 5 Cirkulace - Nabarvená aorta s definovanými koronárnými tepnami



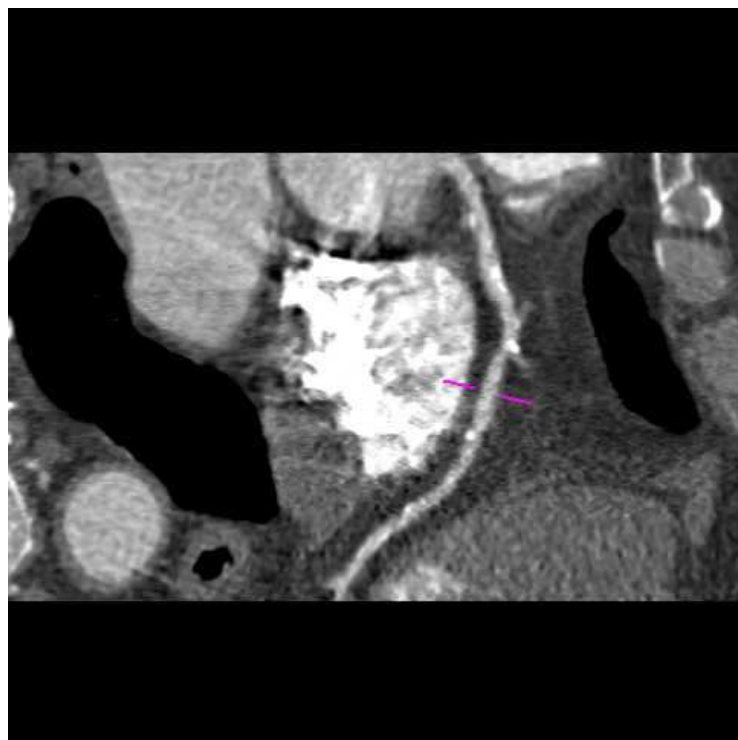
Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Lochoťín, Plzeň

Obr. 6 Zakřivené MIP



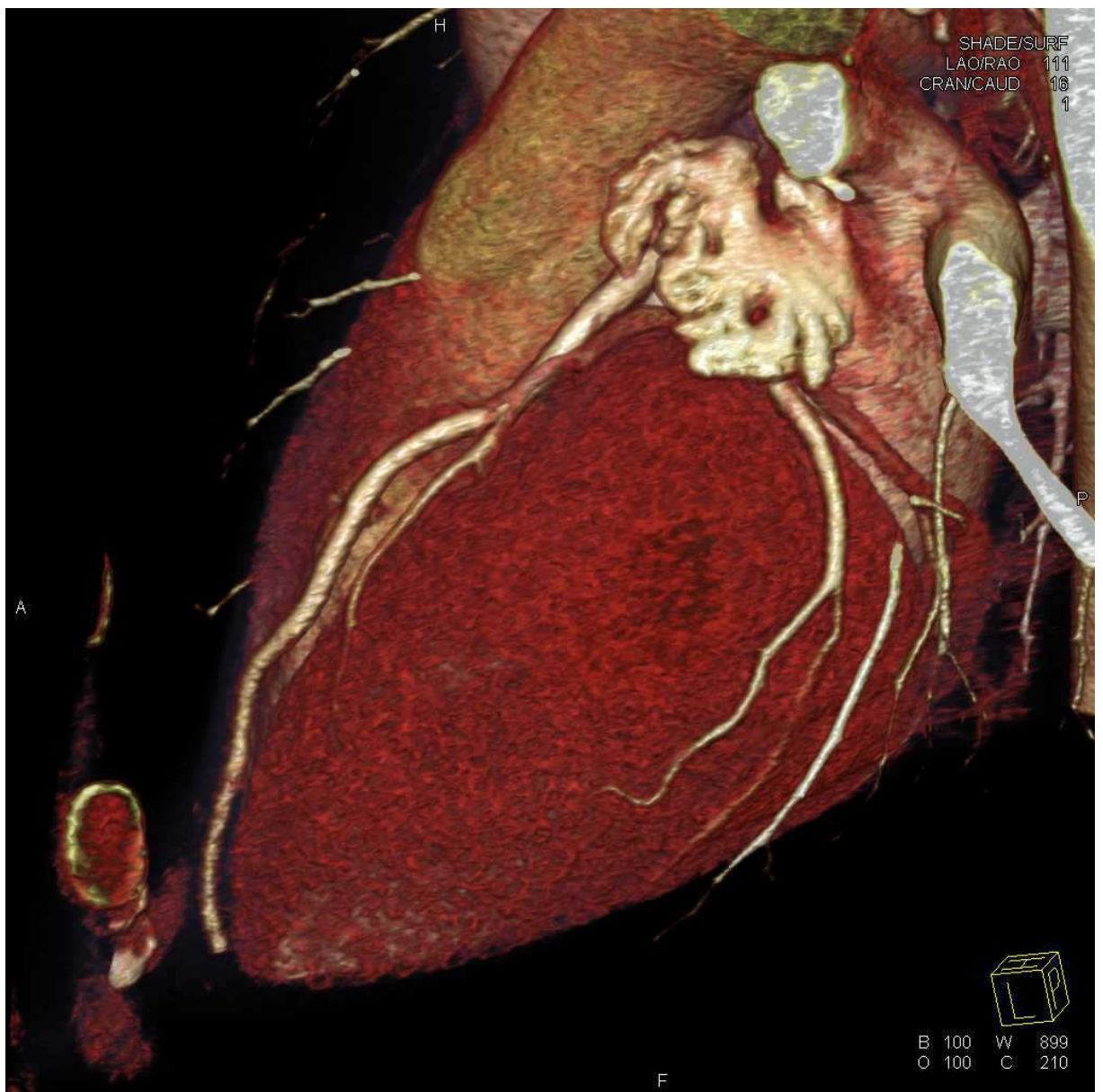
Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Lochotín, Plzeň

Obr. 7 Kalcifikace v koronární tepně



Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Lochotín, Plzeň

Obr. 8 VRT - průběh větví levé koronární tepny po srdeční stěně



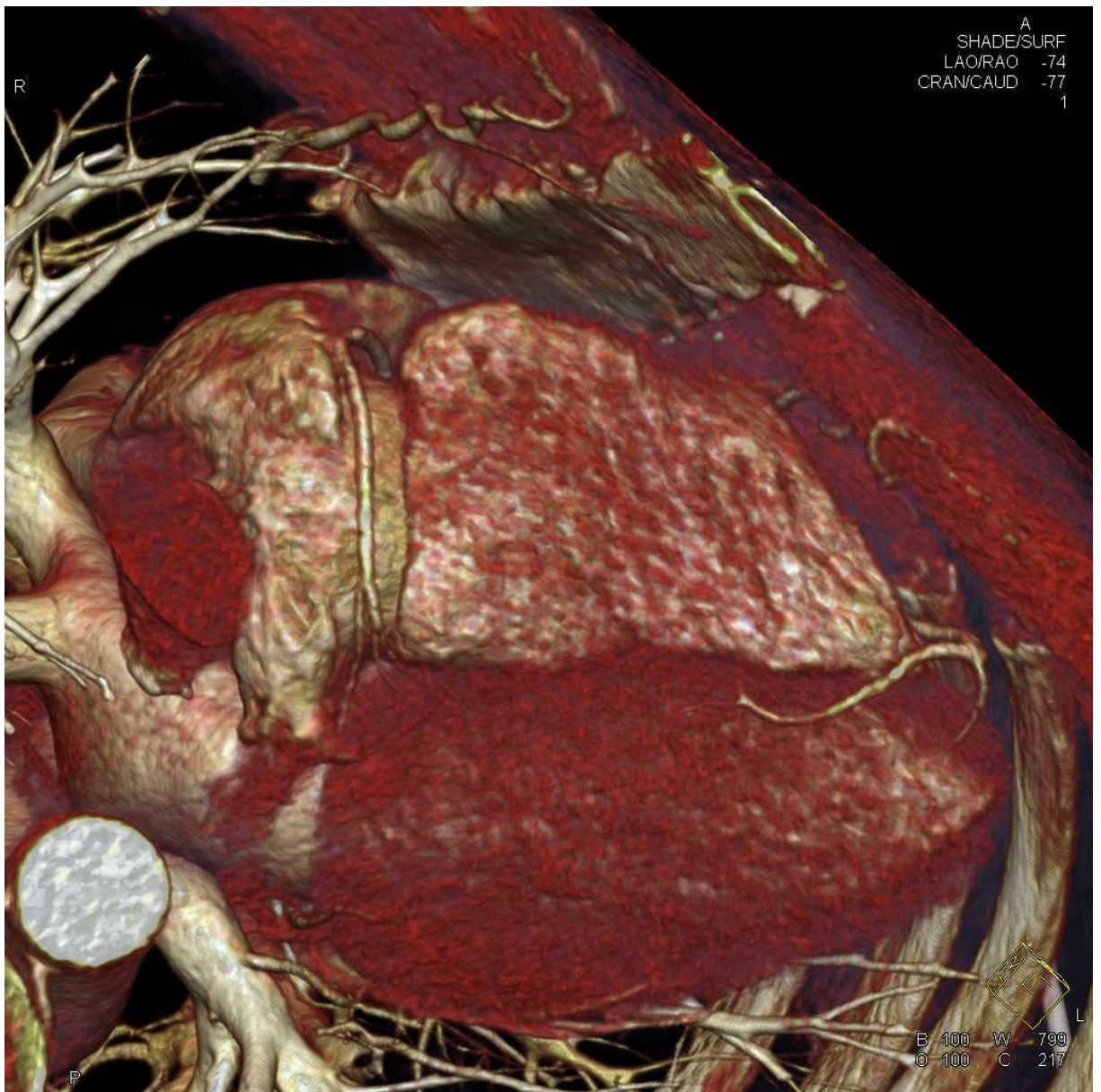
Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Lochotín, Plzeň

Obr. 9 VRT - průběh RIA levé koronární tepny a pravé koronární tepny po srdeční stěně



Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Lochoťín, Plzeň

Obr. 10 VRT - pohled zespodu na průběh pravé a zčásti i levé koronární tepny



Zdroj: Klinika zobrazovacích metod, FN Lochotín, Plzeň