

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2016

Michal Nový

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví B 5345

Michal Nový

Studijní obor: Radiologický asistent 5345R010

POSOUZENÍ VIABILITY MYOKARDU ZA POMOCÍ 18FDG

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MUDr. Alexander Malán

PLZEŇ 2016

Prohlášení

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

V Plzni dne 13. 3. 2016.

.....

vlastnoruční podpis

Poděkování

Děkuji vedoucímu práce MUDr. Alexanderovi Malánovi za vedení práce a poskytnutí odborných rad. Dále chci poděkovat pracovníkům oddělení Nukleární medicíny FN Plzeň a v neposlední řadě rodině za podporu.

Anotace

Příjmení a jméno: Nový Michal

Katedra: Katedra záchranářství a technických oborů

Název práce: Posouzení viability myokardu za pomoci 18 FDG

Vedoucí práce: MUDr. Alexander Malán

Počet stran – číslované: 45

Počet stran – nečíslované: 19

Počet příloh: 8

Počet titulů použité literatury: 27

Klíčová slova: ischemická choroba srdeční, radiofarmaka, nukleární kardiologie, viabilita

Souhrn:

Bakalářská práce na téma posouzení viability myokardu za pomoci 18 FDG se dělí na dvě hlavní části. Součástí teoretické části je anatomie, ischemická choroba srdeční, radiofarmaka, přístrojová technika a hlavně vyšetření popisující viabilitu myokardu. V praktické části jsou vybrané kazuistiky, pomocí kterých si odpovídám na zvolené cíle práce. Prostudoval jsem odbornou literaturu, popsal jsem způsob provedení vyšetření a zhodnotil závěry vyšetření.

Annotation

Surname and name: Novy Michal

Department: Department of paramedic rescue work and technical studies

Title of thesis: The assessment of myocardial viability by using 18 FDG

Consultant: MUDr. Alexander Malan

Number of pages – numbered: 45

Number of pages – unnumbered: 19

Number of appendices: 8

Number of literature items used: 27

Keywords: ischemic heart disease, radiopharmacology, nuclear cardiology, viability

Summary:

Topic of this bachelor thesis the assessment of myocardial viability by using 18 FDG is divided into two main parts. First theoretical part involves anatomy, ischemic heart disease, radiopharmacology, device technology and mainly description of examination the myocardial viability. Second practical part of my thesis shows case reports which give the answers to the main questions of my thesis. I read through the professional literature, described the way of providing the examination and I summarized the final conclusions.

OBSAH

ÚVOD	10
TEORETICKÁ ČÁST	12
1 ZÁKLADNÍ ANATOMIE	12
1.1 Anatomie a fyziologie srdečního svalu	12
1.1.1 Anatomie koronárních tepen	13
2 ISCHEMICKÁ CHOROBA SRDEČNÍ.....	15
2.1 Popis onemocnění	15
2.2 Epidemiologie srdečního selhání.....	16
3 RADIOFARMAKA	17
3.1 Radiofarmaka používaná pro vyšetření myokardu	18
3.1.1 ^{99m} Tc-MIBI.....	18
3.1.2 Thallium	19
3.1.3 Fluorodeoxyglukóza 18F-FDG	20
3.1.4 Ostatní radiofarmaka používaná na PET	20
4 PŘÍSTROJE NA ODDĚLENÍ NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY.....	21
4.1 Scintilační kamera a její součásti.....	21
4.1.1 SPECT Kamera	22
4.1.2 PET kamera	22
5 VYUŽITÍ HYBRIDNÍHO ZOBRAZENÍ V KARDIOLOGII.....	23
5.1 SPECT/CT.....	23
5.2 PET/CT	23
5.3 PET/MR	24
6 VIABILITA MYOKARDU.....	26
6.1 Metabolismus myokardu.....	26
6.1.1 Hibernovaný myokard	26
6.1.2 Omráčený myokard (stunning).....	26
6.2 Vyšetřovací protokoly viability myokardu	27
6.2.1 Klidová a zátěžová perfuzní scintigrafie myokardu	27
6.2.2 Způsoby prováděné zátěže	28
6.2.3 Kvantifikace poruch perfuze	28
6.2.4 Sumační skóre	28
6.2.5 Kvantifikace poruch funkce	29
6.3 PET	29
6.3.1 Příprava před vyšetřením	29
PRAKTICKÁ ČÁST.....	31

7	CÍLE PRÁCE A VÝZKUMNÉ OTÁZKY	31
7.1	Cíle práce.....	31
7.2	Výzkumné otázky	31
7.3	Metodika	31
8	KAZUISTIKY	32
8.1	Kazuistika č. 1	32
8.2	Kazuistika č. 2	35
8.3	Kazuistika č. 3	38
8.4	Kazuistika č. 4	41
8.5	Kazuistika č. 5	43
8.6	Kazuistika č. 6	46
	DISKUZE.....	49
	ZÁVĚR	52
	LITERATURA A PRAMENY.....	55
	SEZNAM ZKRATEK.....	58
	SEZNAM TABULEK.....	61
	SEZNAM OBRÁZKŮ.....	62
	SEZNAM PŘÍLOH.....	63
	PŘÍLOHY.....	64

ÚVOD

Téma mé bakalářské práce zní Posouzení viability myokardu za pomoci 18 FDG. Toto téma jsem si zvolil hned z několika důvodů. Prvním důvodem, proč jsem si zapsal právě toto téma, je, že se chci v budoucnu věnovat nukleární medicíně. Druhý důvod je ten, že se téma týká nukleární kardiologie, která mi přijde nejvíce zajímavá. Třetím důvodem je skutečnost, že onemocnění srdce postihuje značnou část populace a já chci porozumět vyšetření, které přibývá na četnosti a má rozhodující vliv na následující léčbu.

Ischemická choroba srdeční postihuje věnčité tepny, které jsou postiženy aterosklerózou. Vlivem aterosklerózy se tvoří sklerotické pláty, které postupně uzavírají průřez tepny. Pokud dojde k uzavření věnčité tepny a tedy k přerušení přísunu kyslíku, dochází k závažným problémům, které mohou končit i smrtí. Vlivem aterosklerózy dochází nejčastěji k smrti v České republice, a tak je důležité vyvarovat se rizikovým faktorům včas a správně diagnostikovat formy ICHS a hlavně úspěšně léčit nemocné.

Vyšetření viability myokardu má významnou roli ve stanovení dalších postupů léčby. Pokud je zachovaná viabilita, existuje šance, že po revaskularizaci se zlepší funkce levé komory srdeční, naopak, pokud je srdeční sval neviabilní, nemá smysl provádět revaskularizaci, neboť není předpokládáno zlepšení funkce a nemocný bude léčen konzervativním farmakologickým postupem. Vyšetření na viabilitu myokardu je ve většině případů posledním vyšetřením, které definitivně rozhodne o tom, co bude následovat.

Bakalářská práce se bude skládat z teoretické a praktické části. V teoretické části budu psát stručně o anatomii a fyziologii srdečního svalu, dále o onemocněních srdce, které se týkají zkoumaného vyšetření. V další kapitole se budu věnovat radiofarmakům, která se používají při stanovení viability a také těm, která slouží pro hodnocení perfuze myokardu. Bude následovat část o přístrojové technice a také o nejnovějších hybridních metodách. Dále podrobně popíši celý proces od přípravy pacienta po závěry vyšetření. V praktické části se pomocí kazuistik zaměřím na muže, kteří podstoupí společně s vyšetřením na viabilitu pomocí 18FDG také klidové a zátěžové scintigrafické vyšetření. Do praktické části zařadím také pacienty, kteří podstoupí vyšetření na viabilitu pomocí nejmodernějšího přístroje PET/MR na oddělení Nukleární medicíny FN Plzeň.

V této práci budu zkoumat závěry vyšetření a také to, jak ovlivní léčebný proces u konkrétních případů. Zajímat se budu také o mortalitu u pacientů, kteří podstoupili

revaskularizaci oproti těm, kteří se léčili konzervativně. Popíši závěry vyšetření a zhodnotím, které závěry mají nejlepší a nejhorší prognózu.

TEORETICKÁ ČÁST

1 ZÁKLADNÍ ANATOMIE

1.1 Anatomie a fyziologie srdečního svalu

Srdce se skládá ze čtyř hlavních oddílů. Z pravé a levé síně (atrium) a pravé a levé komory (ventriculus). Srdce se nachází v mezihrudí (mediastinum) a je vloženo do osrdečníku, který se dělí na zevní (pericardium) a vnitřní (epicardium). Mezi pericardem a epicardem se nachází dutina, která je vyplněna tekutinou a snižuje tření vznikající při srdečním stahu. Velikost se přirovnává k pěsti svého nositele. Hmotnost se pohybuje kolem 300 – 320g. Srdeční stěny se skládají z příčně pruhované svaloviny. Svalová vlákna tvoří síť (syncytium), která je rozdělena interkalárními disky na úseky buněk (kardiocyty). V diskách se nachází útvary zvané nexy, které obsahují submikroskopická spojení. Díky těmto spojení umožňují přímou komunikaci cytoplasmy sousedních kardiocytů. Spojení tohoto typu umožňuje nejen přestup iontů, ale také šíření elektrického potenciálu. V srdečních dutinách je vrstva plochých buněk (endokard). Svalovina síní není tak silná jako svalovina komor, ale pokud srovnáme svalovinu levé a pravé komory, pak levá je třikrát větší. Svalovina komor a síní není na sobě závislá a upíná se na vazivový skelet srdce. Jediné místo, které spojuje vodivým způsobem svalovinu komor a síní, je Hisův svazek, který se podílí na převodní soustavě srdeční. Pro jednotlivý srdeční stah (systolu) jsou rozváděny vzruchy právě převodním systémem srdečním. Tento systém tvoří shluk buněk srdeční svaloviny, z nichž je nejdůležitější primární centrum srdeční automacie – sinoatriální uzel. Nachází se před vstupem horní duté žíly do pravé síně. Podnět na základě elektrického potenciálu se převádí na atrioventrikulární uzel, z kterého odstupuje právě Hisův svazek. Základní funkcí tohoto svazku je zajistit koordinaci mezi systolou síní a systolou komor. Pokud se tento uzel přeruší, dochází k poruše synchronizace. Síně a komory se smršťují nezávisle na sobě. Hisův svazek a jeho svalová vlákna vstupují v oblasti mezikomorové přepážky (septum interventriculare) do komor, kde se rozdělí na dvě Tawarova raménka. Dále se tato raménka dělí na síť Purkyňových vláken. Srdeční přepážka rozděluje od sebe síně a komory. Jak mezi levou komorou a síní, tak také mezi pravou komorou a síní jsou srdeční chlopně. Dvojcípá chlopeň (valvula mitralis) vlevo a trojcípá (valvula tricuspidalis) vpravo. (1) (viz. Příloha 1)

Během ochabnutí (diastola) dochází k plnění komor krví. Cípy chlopní jsou orientovány do komor. Poloměsíčitě chlopně (valvulae semilunares) brání k návratu krve z velkých cév (srdečnice, plicnice). Najdeme je v odstupu těchto cév z pravé a levé komory. Cípaté chlopně se uzavírají při systole a poloměsíčitě při diastole. Tento jev umožňuje průtok krve srdcem. Během uzávěrů chlopní dochází k zvukovým fenoménům, kterým se říká srdeční ozvy. Na tom jak srdce funguje, závisí krevní oběh. Během diastoly dochází k přítoku krve do pravé síně skrze horní a dolní dutou žílu (vena cava superior, vena cava inferior). Zároveň okysličená krev přitéká z plic plicními žilami do levé síně. Během stahu (systoly) síní se naplní obě komory, které jsou ochablé (diastola komor). Po jejich naplnění dojde ke stahu komorové svaloviny (systola komor), krev směřuje do velkých cév. Z levé komory krev putuje do srdečnice (aorta) do velkého oběhu. Naopak z pravé komory krev putuje do plicnice (arteria pulmonalis), která se dělí na pravou a levou plicní tepnu (arteria pulmonalis dextra et sinistra). Před tokem krve do těchto cév se cípaté chlopně uzavřou a poloměsíčitě otevřou. Střídání systoly s diastolou se říká srdeční revoluce. Jak srdce funguje, ovlivňuje srdeční svalovina a kontrolu ovlivňuje autonomní nervový systém, tedy sympatikus a parasympatikus, přesněji látky uvolněné z jejich nervových zakončení (noradrenalin a acetylcholin). Drážděním sympatiku dochází k zrychlování a také k zvyšování síly srdečního stahu. Pokud dochází k dráždění parasympatiku (n.vagus), dochází k přesnému opaku. Frekvenci stahů také ovlivňuje tělesná teplota. (1) (viz. Příloha 2)

1.1.1 Anatomie koronárních tepen

Tepny jsou tvořeny třemi vrstvami. Lamina interna (intima) je nevnitřnější částí. Intima je kryta endotelovými buňkami. Střední vrstvou je lamina media, která se liší podle velikosti cév. U srdečnice a plicnice se skládá z elastických vazivových částí. U středně velkých a malých tepen se tato část skládá z buněk hladké svaloviny. Další částí je adventicie (lamina externa), která je nejzevnější. (1)

Nejdůležitější hlavní tepnou velkého oběhu je srdečnice (aorta) vycházející z levé srdeční komory. Vzestupná část (aorta ascendens) tvoří arcus aorte a sestupná část (aorta descendens) směřuje kaudálně podél páteře. Hrudní aorta se ihned na počátku dělí na dvě větve, kterým se říká tepny věnčité (arteria coronaria cordis dextra a sinistra). (2)

Způsobem větvení se říká, že jsou konečné – nenavazují na další významné spojky s větvemi. Pokud dojde k uzávěru těchto tepen, dochází k přerušení zásobení kyslíkem.

Arteria coronaria dextra vychází z aorty nad valvula semilunares dextra. Následuje kmen, který odstupuje doprava za truncus pulmonalis. Zahne dozadu na zadní část srdce a zakončí se jako ramus interventricularis posterior. Dále z ní vystupují rami atriales, které okysličují pravou síň, rami ventriculares dextri anteriores et posteriores, které se nachází v přední i zadní části pravé komory. Dále vystupují ramus nodi sinuatrialis, ramus coni arteriosi a rami interventriculares septales. Arteria coronaria sinistra vychází nad valvula semilunaris sinistra aortální chlopně ze sinus aortae sinister. Kmen v této oblasti míří doleva a dále se dělí na dvě nejdůležitější větve. Ramus interventricularis anterior klesající v oblasti septa až na srdeční hrot, přes který přesahuje až na diafragmatickou plochu, odkud vysílá větve k pravé i levé komoře. Dále ramus circumflexus, který přechází na zadní stranu srdce po levé straně. Z levé věnčité tepny z kmene, který mají společný, vychází ramus nodi sinuatrialis, pokud nevycházela z arteria coronaria dextra. Z ramus interventricularis anterior vychází rami ventriculares anteriores sinistri, které najdeme na levé komoře a rami interventriculares septales. Z ramus circumflexus odstupují rami atrioventriculares, ramus marginalis sinister, rami atriales a ramus posteriori ventriculi sinistri. Pravá věnčitá tepna má na starost zásobení pravé komory, jen malou část vpředu zásobují větve levé tepny. Stará se i o část levé komory, zadní třetinu komorového septa, pravou síň a menší oblast levé síně. Levá věnčitá tepna zásobuje většinu stěn z levé komory, menší část stěny pravé komory a část z předního komorového septa a velkou část stěny na levé síni kromě částí blíže k pravé síni. (3)

2 ISCHEMICKÁ CHOROBA SRDEČNÍ

2.1 Popis onemocnění

Ischemická choroba srdeční (ICHS) je označení pro řadu onemocnění, která mají jedno společné, a to je postižení věnčitých tepen. Nejčastěji ICHS způsobuje koronární ateroskleróza. Ateroskleróza je velmi rozšířená degenerativní nemoc, která postihuje tepny. Během aterosklerózy se tvoří sklerotické pláty v intimě. Právě ateroskleróza zapříčiňuje nejčastěji smrt u nás v České republice. Původce onemocnění není zcela znám. Známe pouze rizikové faktory, které slouží k prevenci. Mezi hlavní rizikové faktory patří: vysoký krevní tlak (hypertenze), zvýšené množství LDL (cholesterolu v krvi) a kouření. Mezi vedlejší rizikové faktory patří diabetes mellitus, nadváha, vyšší věk, genetické dispozice, mužské pohlaví je postiženo častěji než ženské, užívání ústních kontraceptiv, nedostatečný pohyb, stravování, stres, zvýšené množství plasmatického homocysteinu (nad 100 $\mu\text{mol/L}$) a další., *Stručně patogeneze: neznámý etiologický faktor poškodí endotelie – v místě poškození LDL-cholesterol (LDL-Ch) začne rychleji vnikat do intimy – do intimy vnikají i monocyty, které se mění na makrofágy a fagocytují LDL-Ch. Množí se buňky hladké svaloviny medie, které začnou vytvářet kryt plátu. Lipofágy v intimě zanikají a uvolňují lipidy, které vytvoří ateromovou kaši. Původně fibrózní plát se mění na ateromový, ten expanduje navenek, vlivem enzymů uvolněných z makrofágů může embolizovat do periferie.*” (4 str. 51)

Během postižení myokardu aterosklerózou rozlišujeme reverzibilní, nebo ireverzibilní ischemii. Ischemickou chorobu srdeční dělíme na akutní a chronickou. Akutní koronární syndrom (ACS) je označení pro akutní ICHS, do které patří akutní infarkt myokardu a nestabilní angina pectoris. Označení (ACS) se užívá proto, že společným znakem jak pro akutní infarkt myokardu, tak pro nestabilní anginu pectoris je ruptura nestabilního aterosklerotického plátu ve věnčité tepně. (viz. Příloha č.3) Trombus zapříčiní akutní rozvoj dříve přítomné stenózy, nebo dojde k uzávěru věnčité tepny. Hlavním rozdílem mezi (AIM) a nestabilní anginou pectoris je v tom, že pro (AIM) je typická nekróza. Ta se projeví vyplavením molekul z postiženého myokardu – myoglobinu, kreatinfosfokinázy a troponinu. V krvi je snadno rozpoznáme. Tyto molekuly se vyplavují do krve. Pacient s ACS je v ohrožení, a proto je nesmírně důležité stanovit rychle diagnózu. K tomu slouží EKG. (5)

Tabulka 1 – Klinické formy ischemické choroby srdeční

Akutní formy	Chronické formy
Nestabilní angina pectoris	Stabilní angina pectoris
Akutní infarkt myokardu	Stav po infarktu myokardu
Náhla srdeční smrt	Dysrytmická forma ICHS
	Chronické srdeční selhání

Zdroj: (6)

2.2 Epidemiologie srdečního selhání

V České republice byl během uplynulých 20 až 30 let zaznamenán pokles mortality na ICHS. Naopak hodnoty týkající se prevalence se zvyšují. Mohou za to lepší diagnostické a léčebné metody a také stárnutí populace. Incidence v České republice na srdeční selhání se odhaduje na 0,4 % ročně. To znamená, že každým rokem se objeví 40 000 nemocných. (7)

3 RADIOFARMAKA

Z názvu vyplývá, že se jedná o přípravek, který obsahuje radioaktivní zářič. Radiofarmaka se používají pro diagnostiku i pro terapii. Liší se fyzikálními i chemickými vlastnostmi – farmakokinetikou, poločasem rozpadu, emitující energií a dalšími. Hlavní požadavek na jejich funkci je takový, aby se akumulovaly jen v místě vyšetřovaného orgánu nebo léčeného orgánu a s energií takovou, kterou dokážou přístroje na oddělení nukleární medicíny nejsnáze detekovat. Ke stavům, kdy by selektivita dosahovala 100%, bohužel nedochází. Ihned na začátek je důležité poznamenat, že rozlišujeme pozitivní a negativní akumulaci. Při pozitivní scintigrafii dochází k vyšší akumulaci radiofarmaka v místě, kde došlo k nějaké změně metabolismu. Naopak při nižší akumulaci v místě se změnou metabolismu dochází k negativní scintigrafii. (8)

Radionuklid obsažený v radiofarmaku má schopnost vyzařovat energii ionizujícího záření. Tato vlastnost nám dává možnost sledovat biologické děje. Důležitá je znalost jak fyziologické, tak i patologické farmakokinetiky, aby došlo k pochopení výsledných obrazů. Radionuklidy se dělí na přírodní a uměle vyrobené. Umělé radionuklidy jsou vyráběny v jaderném reaktoru, cyklotronu nebo v generátorech. Právě radionuklidy vytvořené v generátoru mají velký význam v nukleární kardiologii. Nejčastěji používaným a velmi důležitým generátorem je molybden-techneciový, který produkuje ^{99m}Tc . Radionuklidem se značí farmakum. Farmakum obsahuje tzv. kit, který slouží k tomu, aby se radionuklid mohl dostat do vyšetřovaného místa a aby následně došlo k záření energie. Detekční přístroje zaznamenají a převedou výsledek do podoby, kdy ho vidíme a popisujeme na monitoru. Radiofarmaka se dělí také podle použití, a sice při detekci pomocí gamakamery a na ta, která detekují přístroje PET. Radiofarmaka, která se používají pro PET, se liší mimo jiné výrobou probíhající ve většině případů v cyklotronu. (9) (viz. Příloha 4)

Energie záření se značí eV (elektronvolt). Případně keV a MeV. Základní jednotkou pro energii je Joule. Nejvhodnější rozmezí emitující energie je od 100 do 200 keV pro scintigrafii. U záření s nízkou energií dochází k velké absorpci a obráceně u vysoké energie dochází ke snadnému průniku. Poločas přeměny je taková doba, za kterou dojde k rozpadu poloviny jader. Poločas přeměny značíme $T_{1/2}$. Poločas značíme exponenciální křivkou. Pro ^{99m}Tc platí $T_{1/2} = 6$ hodin, ^{18}F FDG = 110 minut a $^{201}\text{Tl} = 72$ hodin. (8)

Radiofarmaka musí splňovat přísná kritéria. Důraz je kladen na sterilitu a apyrogenitu, na radionuklidovou a radiochemickou čistotu. Důležitá je také vhodná aktivita. Jednotkou aktivity je Becquerel – 1Bq se rovná přeměně jádra za 1 sekundu. V Nukleární medicíně se setkáváme s aplikovanou aktivitou v řádech stovek MBq. Při aplikacích nám k dodržování správných aktivit pomáhají diagnostické referenční úrovně uvedené v Národních radiologických standardech pro nukleární medicínu. Radiofarmaka lze aplikovat parenterálně, per orálně, inhalačně a existují i topické přípravky. Existují přísné předpisy pro manipulaci s nimi, mohou být vydávána pouze na lékařský recept. Tyto velice specifické látky se skladují v uzavřených nádobách, bez možnosti přístupu světla. Nádoby musí být schopny pohltit primární i sekundární záření. Nádoba či obal se značí znakem radioaktivity, názvem radiofarmaka, aktivitou k určitému datu, svým konkrétním číslem, výrobcem, použitelností a způsobem podání. (8)

3.1 Radiofarmaka používaná pro vyšetření myokardu

3.1.1 ^{99m}Tc-MIBI

Použití - pro perfuzi myokardu. Využití - při technice SPECT. Zdrojem je generátor. Energie 140 keV. T_{1/2} = 6 hodin. ^{99m}Tc-MIBI (methoxyisobutylisonitril) nebo jiné označení dané výrobcem – sestamibi, Cardiolite, Cardiospect a ^{99m}Tc-Myoview (tetrafosmin). Tc-MIBI a Tc-Myoview se liší tím, že MIBI je komplex s izonitrilovou skupinou a Myoview je komplex s difosfinovou skupinou. Obecně se liší ve srovnání s thalliem tím, že jejich extrakční frakce se pohybuje v rozmezí 25% - 45%. V dalším srovnání s thalliem mají tato radiofarmaka vyšší energii. To se projeví na celkovém zobrazení a zejména na kvalitě, protože rozptyl není tak velký. Tato radiofarmaka lze připravit přímo na pracovišti. Jev pasivní difúze se uplatňuje při podání ^{99m}Tc-MIBI intravenózní cestou. Zdravý myokard akumuluje úměrně rychlosti krevního průtoku. Naopak nekrotický myokard neakumuluje v takové míře. U omráčeného myokardu nenajdeme rozdíl v akumulaci, pokud je injikováno v reperfuzi. Další stav myokardu, který nás zajímá, je hibernující myokard, kdy je akumulace úměrná průtoku krve. Přesněji řečeno reziduálnímu průtoku. Mezi další výhody patří možnost odložení vyšetření i v řádech hodin po aplikování. Zůstává nadále vysoká senzitivita. Nevýhoda této aplikace spočívá v nutnosti podat radiofarmakum dvakrát. Poprvé při vrcholu zátěže, podruhé v klidu. Játra vylučují ^{99m}Tc-MIBI dále do žlučových cest.

Samotný záznam obrazů se musí odložit u zátěžového vyšetření na 30 až 60 minut z důvodu blízkosti jater a myokardu. Čeká se, až klesne radioaktivita v játrech. U klidového vyšetření se čeká ještě o něco déle, a to přibližně 60 až 90 minut. U ^{99m}Tc -tetrofosmin dochází k rychlejšímu přechodu z jater do žlučových cest. To skrývá výhodu v tom, že můžeme dříve po podání zahájit záznam. Použití je stejné. (9)

3.1.2 Thallium

Použití - při perfuzi myokardu. Využití - při technice SPECT. Zdrojem je cyklotron. Energie 135-167 keV. $T_{1/2} = 72$ hodin. Jedná se o metabolický analog draslíku. Jeho vstup do buněk je založen na aktivním transportu v závislosti na adenosintrifosfatáze. Během klidové perfuze dosahuje až k hodnotám 85% extrakční frakce. Vlivem nízké energie záření dochází k rozptylu, který se následně může projevit na kvalitě obrazu. Má další nevýhodné fyzikální vlastnosti, mezi které patří dlouhý poločas rozpadu a výroba v cyklotronu, čímž se zvyšují pořizovací náklady. Doba vyšetření se prodlužuje ve srovnání s ^{99m}Tc -radiofarmaky. Na některých odděleních už použití tohoto radiofarmaka zrušili. Někde se dále používá ke stanovení viability myokardu. Během použití je důležité znát jeho redistribuci. První částí je extrakce. Následuje výměna skrze buněčnou membránu. Tato část trvá přibližně hodinu. Následně dochází k systémovému vylučování, které trvá nejdéle, více než deset hodin. Koncentrace v krvi velmi klesá, vlivem akumulace myokardem a dalšími orgány. Extrakce na začátku se skoro rovná rychlosti průtoku krve během injekce. Zároveň pozdní akumulace nám dává informaci o tom, že buněčné membrány nejsou porušeny a tím pádem to poukazuje na viabilní myokard. „*Nezávislost pozdní akumulace ^{201}Tl na velikosti krevního průtoku znamená, že je-li myokard chronicky málo prokrvený (hibernující), dochází k redistribuci, i když je ^{201}Tl aplikováno v klidu.*“ (9 str. 15)

V myokardu, který je nekrotický, nedochází k akumulaci vzhledem k porušení membránového potenciálu. Existuje metoda, která spočívá v takzvané reinjekci. Konkrétně to znamená, že se aplikuje ^{201}Tl za 2-3 hodiny po zátěži další injekce. Aplikací dalšího thallia dojde k lepší orientaci a popisu. Nezanedbatelné je také monitorovat ^{201}Tl v plicích, které nepřesahuje 50% radioaktivity ve fyziologickém myokardu. Pokud je ho tam více, zřejmě došlo k poruše vzestupu end-diastolického tlaku v důsledku ischemie. (10) (11)

3.1.3 Fluorodeoxyglukóza 18F-FDG

Využití, při technice PET. Zdrojem je cyklotron. Energie 633 KeV (0,6335MeV) $T_{1/2} = 110$ minut. Využívá se k posouzení viability myokardu. Senzitivita překračuje 90%. 18F-FDG je analogem glukózy. Po aplikaci dochází v kardiomyocytech k přetvoření na FDG-6-Fosfát. To, jak se akumuluje FDG, záleží na glukózovém transportu a také na fosforylaci. FDG-6-Fosfát se hromadí uvnitř buněk a dále se nemění. Ideální je provést vyšetření hodinu po aplikaci. Po delší době po aplikaci dochází vlivem poločasu rozpadu ke snížení toku fotonů. To má za následek zhoršení kvality výsledku. Co se týče distribuce tohoto radiofarmaka, není úplně homogenní. Při fyziologickém – zdravém myokardu dochází k tomu, že boční stěna pohlcuje více glukózy než septum. Během této metody může dojít ke komplikaci v tom smyslu, že buňky i přesto, že jsou viabilní, neakumulují FDG vlivem toho, že zdrojem energie je jiný substrát. Tím pádem je vhodné mít přehled o krevní glukóze vyšetřovaného. Příprava k vyšetření, pokud se nejedná o špatně kompenzovaného diabetika, je snadná. Podává se perorálně 50-100 g glukózy zpravidla hodinu před aplikací samotného 18F-FDG. Je vhodné, aby se pacient najedl a zejména dostal do těla sacharidy, tím se sníží riziko vzniku hypoglykémie. (9) (12)

3.1.4 Ostatní radiofarmaka používaná na PET

Pomocí PET v kardiologii dále využíváme ^{82}Rb , $^{13}\text{N-NH}_3$, $^{15}\text{O-H}_2\text{O}$ k zobrazení perfuze a také $^{11}\text{C-acetát}$ k posouzení metabolismu. Pro zhodnocení perfuze pomocí PET se používá často v zahraničních odděleních Nukleární medicíny právě ^{82}Rb , které je produktem stronciového generátoru. U $^{13}\text{N-NH}_3$ a $^{15}\text{O-H}_2\text{O}$ je potřeba cyklotronu. ^{82}Rb se svým krátkým poločasem přeměny 76 sekund přináší výhodu v tom, že je možné provádět vyšetření opakovaně. $^{13}\text{N-NH}_3$ má poločas přeměny přibližně 10 minut. Poločas přeměny $^{15}\text{O-H}_2\text{O}$ je 2 minuty. (13) (14)

4 PŘÍSTROJE NA ODDĚLENÍ NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY

4.1 Scintilační kamera a její součásti

Princip spočívá v detekci ionizujícího záření. Celý systém, který detekuje ionizační záření se skládá z kolimátoru, detektoru a elektroniky. Primární funkcí kolimátoru je, aby usměrnil fotony. Následuje detektor, který se skládá ze scintilační látky (scintilátoru) a fotonásobiče. V detektoru dojde k pohlcení fotonů a elektronika analyzuje světelný záblesk, který vzniká právě vlivem pohlcení. Samotná detekce a její princip spočívá v tom, že fotony, které se dostanou na scintilační oblast, vyvolají excitaci molekul a vlivem toho dojde k luminiscenci. Vzniklý světelný záblesk se násobí ve fotonásobiči. Pro detekci záření gama se používají pevné krystalické scintilátory. Označení NaI(Tl) je zkratkou pro jodid sodný aktivovaný thalliem. Thallium přispívá k lepší luminiscenci NaI. Krystal je uložen v hliníkovém obalu, protože je velmi citlivý na vlhkost. Hliníkový obal krystalu je z jedné strany ze skla, jakési okénko, ke kterému přiléhá fotokatoda, která je součástí fotonásobiče. Během pohlcení záření gama dochází ke vzniku luminiscenčních fotonů, které zachytí fotonásobič. Ze světelných fotonů dochází k uvolnění fotoelektronů. Elektronů putují z dynody na dynodu a tím dochází k zesílení jejich toku. Směřují směrem k anodě, kde dojde k elektrickému impulsu. Elektronika následně zpracovává vzniklý impuls. (9)

Existují různé druhy kolimátorů, jejich použití se liší vyšetřovanou oblastí. Prvním typem je paralelní kolimátor. Tento kolimátor propustí jen fotony, které směřují kolmo na krystal. Obraz, který vznikne, je shodný s velikostí orgánu ve skutečnosti. Pokud jsou mezery v kolimátoru užší a septa delší, dochází ke zvýšení prostorového rozlišení. Když se zvýší prostorové rozlišení, klesá citlivost kamery. Paralelní kolimátory se dále dělí na ty s vysokým rozlišením, vysokou citlivostí a střední rozlišení se střední citlivostí. Dalším typem je konvergentní kolimátor, který má mezery orientovány do ohniska. Ohnisko je místo jednoho bodu. Vzniklý obraz je následně větší než orgán ve skutečnosti. Své využití má při zobrazení menších orgánů. Existují i speciální kolimátory zvané slant hole a fan-beam. Slant hole a jeho mezery jsou uspořádány paralelně, ale nesměřují kolmo na detektor. Použití mají při vyšetření srdce. Použitím tohoto typu se docílí lepšího zobrazení srdečního septa a komor. Fan-beam typ kombinuje mezery jak konvergentní, tak paralelní a používá se při tomografických projekcích. (9)

4.1.1 SPECT Kamera

SPECT kamera je vylepšená od klasické scintilační kamery tím, že dokáže zobrazit vyšetřovaný orgán ve třech základních rovinách. To je docíleno tím, že detektor SPECT kamery rotuje kolem pacienta. (viz. Příloha 5) Jedná se o tomografické, statické zobrazení. Neznamená to však, že SPECT kamera nedokáže fungovat i v planárním režimu. Další výhodou je také lepší kontrast. Zlepšení kontrastu značně pomáhá při diagnostice, protože odstraňuje vliv sumace. Naopak nevýhodou je horší prostorové rozlišení způsobené tím, že detektor je dále od pacienta (při tomografickém zobrazení). K další nevýhodě patří vyšší šum. SPECT kamera se vyrábí s jedním až třemi detektory. Dokážou snímat 64,128 případně i více obrazů. Pohybují se v úhlu 180° nebo 360°. Při vyšetření srdce je ideální dvoudetektorová kamera s rozložením detektorů v úhlu 90°. Během vyšetření srdce se používá rotace 180° z pravého předního šikmého pohledu do levého zadního šikmého pohledu se záznamem 30 až 60 obrazů. Pomocí filtrované zpětné projekce (FBP, filtered back projection) nebo pomocí iterativních metod se rekonstruuji obrazy. (9)

4.1.2 PET kamera

Metoda, při níž se využívá beta+ rozpadu. Uvolněný pozitron anihiluje ve tkáni a tím vznikají dva fotony o energii 511 keV. Oba fotony jeden od druhého letí v opačném směru a jsou následně zaznamenány kamerou. PET kamera se skládá z jednoho až tří prstenců. Každý prstenec má až stovky scintilačních krystalů umístěných v osmi vrstvách. Jako scintilační krystal se používal BGO (germaniová sůl bismutu). BGO má vhodné vlastnosti pro detekci energie o velikosti 511 keV. Dnes se však používají spíše LSO krystaly (lutetio orthosilicate) nebo také GSO krystaly. Tyto krystaly zaznamenají pouze fotony, které dopadnou ve stejnou dobu na protilehlou stranu detektorů prstenců ze stejné vrstvy. Během vyšetření na PET kameře není zapotřebí rotace. Prstenec s detektory zaznamená najednou všechny projekce. Vlivem toho lze zobrazovat i dynamicky. Stejně jako u SPECT kamery lze provést rekonstrukci pomocí filtrované zpětné projekce nebo iterativními metodami. U PET kamery se nepoužívají stejné kolimátory jako u SPECT kamery, ale používají se elektronické kolimátory. Přibližně 6mm je rozlišovací schopnost u PET kamery. (9)

5 VYUŽITÍ HYBRIDNÍHO ZOBRAZENÍ V KARDIOLOGII

5.1 SPECT/CT

Již od počátku nukleární medicíny zde byla myšlenka na spojení metody jak emisní, tak transmisní. Hasegawa a spol. z University of California ze San Franciska sestrojil první prototyp SPECT/CT na počátku 90. let. Za několik let později, konkrétně roku 1999, byla společnost GE Healthcare první firma, která uvedla do praxe SPECT/CT. Pojmenovala ji Infinia Hawkeyea jednalo se o rutinní SPECT kameru s low-dose CT. Vývoj šel dopředu a roku 2004 se začaly objevovat přístroje SPECT/CT s multidetektorovým spirálním CT. (viz. Příloha 6) Hlavním využitím CT u těchto hybridů je anatomická orientace a korekce atenuace. (15)

Čím je vyšetřovaná oblast umístěna hlouběji a je použito radiofarmakum s nižší energií, tím je atenuace výraznější. Vlivem atenuace dochází k artefaktům. Zobrazení artefaktů můžeme předejít dvěma metodami. První metodou je geometrická, Changova, metoda a jako druhá existuje transmisní metoda. V minulosti se používalo ^{153}Gd , dnes se dává přednost CT skeneru SPECT/CT. (15)

Využití SPECT/CT v kardiologii nespočívá pouze ve výše uvedené korekci atenuace a anatomickém zobrazení, ale u symptomatických jedinců se využívá i schopnost SPECT/CT určit kalciové skóre, které napomáhá k další rizikové stratifikaci zejména u rizikových pacientů a pacientů s diabetem. (16) (17)

5.2 PET/CT

Jde o hybridní metodu, ve které se využívá výhod obou rozdílných přístrojů. Postup vyšetření začíná topogramem. Tento topogram tvoří rentgenka, která nerotuje, ale je statická v předem zvoleném bodě. Během topogramu se pohybuje pouze stůl s pacientem. Díky topogramu vznikne oblast zájmu – místo vyšetření. Jako první v gantry je umístěno CT a následně PET. Po vyznačení oblasti zájmu je na řadě vlastní CT vyšetření. Poté zajede stůl s pacientem hlouběji do gantry a následuje v předem zvolené oblasti nasbírání dat pomocí PETu. Sbíráni dat u PET neprobíhá kontinuálně. Nastaví se tzv. postele (beds), které sbírají data po 15 až 20 cm přibližně 3 minuty. Po nasbírání dat z jedné postele následuje pohyb stolu dále do gantry. Důležité je nastavit postele (beds) tak, aby se mírně překrývaly z důvodu zhoršení citlivosti na okrajích PET skeneru. Fúzi

obrazů zajišťuje hardware. PET data jsou snímána do menší matice než u CT, během fúze se provádí zvětšení PET matice a překrytí přes CT data. Výstupem je následná možnost prohlížet na monitoru jak obrazy z CT tak z PET, tak již zmíněné zfúzované obrazy ve třech hlavních rovinách. (viz. Příloha 7) (18)

Vzhledem k možnosti fúzování funkčního zobrazení s anatomickou lokalizací lézí poptávka o toto hybridní zobrazování roste. Mimo jiné je zde CT schopné rychlé atenuace záření gama, které je využito při kvantifikaci perfuze myokardu. Při vhodném použití CT komponent a při správné modifikaci vyšetřovacích protokolů lze zobrazit spolu s funkčním zobrazením pomocí PET i koronární anatomii srdce a získat tak vyšší diagnostické informace pro klinickou praxi. (16) (19) (20)

5.3 PET/MR

Nejmodernější hybridní přístroj v oblasti nukleární medicíny. Po zavedení do praxe přístroje PET/CT následovala otázka, zda by bylo možné zkonstruovat i hybridní systém kombinující PET a MR. Vývoj trval přibližně 10 let, než se objevil v praxi. Hlavním motivem proč zkonstruovat PET/MR bylo snížení radiační dávky zejména u pacientů, kteří během léčby opakovaně podstupovali vyšetření na PET/CT. Dalším důvodem bylo využití MR z důvodu lepšího zobrazení zejména CNS, onkologických onemocnění v oblasti hlavy a krku a také pánve a trupu. U PET/MR se využívá ortosilikátový krystal (LSO). Rozdílem oproti PET/CT je nemožnost využití fotonásobičů. Využívá se lavinových fotodiod (avalanche photodiodes), které převádí světlo vzniklé na krystalu na elektrický potenciál. K zesílení signálu dojde při napětí na krystalu a důležitá je také teplota krystalu. Ve srovnání s fotonásobičem je využití fotodiod v popředí také díky své velikosti. Tato výhoda umožňuje umístit detekční bloky do magnetické rezonance. Field of view u PET/MR je 258 mm. Využívá se matrice (8x8). Z bloku, který tvoří 64 bodů, sbírá impulzy devět fotodiod. (viz. Příloha 8) (21)

PET a MR jsou založeny na rozdílných fyzikálních a biologických principech, nicméně se vzájemně doplňují ve schopnosti detekce zátěžově podmíněné ischemie myokardu a hodnocení viability. Zpožděné sycení gadolinia na MR umožňuje přesnou morfologickou identifikaci zjizvené tkáně, ale postrádá schopnost kvantifikovat množství metabolické aktivity viabilního myokardu. Zvýšená akumulace 18F-FDG v ischemií postiženém myokardu podává prognostické informace nezávisle na velikosti infarktu, proto

kombinace PET a MR v diagnostice viability myokardu poskytuje lepší diagnostickou přesnost. (22)

Lze očekávat, že hybridní přístroj kombinující PET a MR nabídne objektivnější hodnocení kardiovaskulárního onemocnění. Jeho využití se může také rozšířit nad rámec ICHS v dalších oblastech, jako jsou např. mechanismy angiogeneze, hodnocení cévních plaků, nervové inervace či terapie kmenovými buňkami. (23)

6 VIABILITA MYOKARDU

6.1 Metabolismus myokardu

Srdeční sval potřebuje ke své funkci velké množství energie. energii získává pomocí beta – oxidací mastných kyselin a také aerobní glykolýzou. Při beta – oxidaci mastných kyselin je zapotřebí větší množství kyslíku než u aerobní glykolýzy. Pokud je menší příjem kyslíku, získává se více energie z glukózy než z mastných kyselin. Tím dochází k nižšímu příjmu energie. Když srdeční sval nemá tolik energie, kolik by potřeboval, dochází v ischemizované části k poruchám kontrakce. Důležité je, aby byl zachován alespoň minimální krevní průtok. Pokud tomu tak je, myokardiální buňka využije zbývající energii k tomu, aby zůstala viabilní. (10)

6.1.1 Hibernovaný myokard

Když se řekne hibernovaný myokard, znamená to, že myokardiální buňky neplní svoji funkci kontrakce, avšak jsou životaschopné. Pokud dojde ještě k dalšímu snížení průtoku kyslíku v místě ischemie, pak se myokardiálním buňkám nedostává potřebná energie k přežití a začnou umírat. Hibernovaný stav myokardu je reverzibilní a při obnově průtoku krve se dá předpokládat zlepšení funkce. Pokud nedojde k obnově, dochází k fibrotickým změnám, které jsou nevratné. (10)

6.1.2 Omráčený myokard (stunning)

Omráčený myokard je označení pro takový myokard, u kterého byla obnovena perfuze, ale stále ještě jednotlivé buňky neplní svoji funkci naplno. Jinak řečeno, i přes obnovu průtoku krve myokardem, buňkám trvá, než se začnou opět kontrahovat, proto označení omráčený. Často dochází k tomu, že se omráčený myokard vyskytuje společně s hibernovaným. Oba stavy spolu souvisí. Vlivem tranzitorní ischemie vede stav omráčeného srdečního svalu ke stavu hibernovanému. Dá se také předpokládat, že stav omráčeného myokardu se vyvine v marginální oblasti obklopující hibernovaný myokard. (10)

S vyšetřením na viabilitu myokardu pomocí 18 FDG se nejčastěji setkáme u pacientů po infarktu myokardu. Jde o zásadní vyšetření, které ukáže, jak myokard akumuluje podanou glukózu. Pokud akumuluje, znamená to, že je viabilní. Pokud nedojde k akumulaci, jedná se o neviabilní myokard. Závěrem tohoto vyšetření je, zda se provede

revaskularizace ischemické oblasti, nebo nikoliv. FDG (match) je označení pro chybějící akumulaci a FDG (mismatch) pro zachovalou akumulaci. Viabilita pomocí 18 FDG se označuje jako přímá a citlivější metoda než metody nepřímé za použití ^{201}Tl -thallia, $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tetrofosminu. K posouzení viability se nejčastěji a na prvním místě používá klidové perfuzní scintigrafické vyšetření myokardu, které poskytne informace o rozsahu a stupni postižení LKS a následuje PET myokardu, kdy se výsledné snímky porovnávají. (24)

6.2 Vyšetřovací protokoly viability myokardu

6.2.1 Klidová a zátěžová perfuzní scintigrafie myokardu

Velmi využívané neinvazivní metody, které poskytují důležité informace o prokrvení myokardu LKS. Klidová perfuzní scintigrafie slouží k odhalení případné ischemie bez vyvolání zátěže, naopak zátěžová perfuzní scintigrafie se navozuje pomocí bicyklové ergometrie nebo s využitím farmakologie. Radiofarmakum se aplikuje i.v. (intravenózně). Pokud myokardiální buňka akumuluje podané radiofarmakum, svědčí to o lokálně zachované perfuzi. Naopak, pokud kardiomyocyt neakumuluje, nebo jen málo, je omezen průtok krve srdcem. Z toho vyplývá, že čím vyšší je průtok krve, tím více jednotlivé buňky pohlcují radiofarmakum. Během klidového vyšetření se nemusí prokázat i výrazná stenóza vlivem vazodilatace v poststenotické oblasti. Při zátěžovém vyšetření myokard požaduje více kyslíku, tím pádem protéká více krve myokardem. Zúžené místo tepny ale nedokáže zajistit optimální průtok a tím se radiofarmakum nevyčtyá v takové míře. Obě metody spolu souvisí, nejčastěji se porovnává perfuze na vrcholu zátěže a v klidu. Pro zhodnocení perfuze myokardu na přístroji SPECT se nejčastěji používají $^{99\text{m}}\text{Tc}$ značené preparáty, ^{201}Tl -thallium anebo společně ^{201}Tl a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ značený preparát. Postup při použití $^{99\text{m}}\text{Tc}$ se liší, pokud se jedná o jednodenní, nebo dvoudenní protokol. Při jednodenním protokolu se aplikují dvě injekce, jedna pro zátěž a druhá pro klid, s časovým odstupem 3 až 4 hodiny. Lze začít s klidovým, nebo zátěžovým vyšetřením. Důležitá je časová návaznost, scintigramy se tvoří po aplikaci v klidu za 45 až 60 minut. Po zátěži vlivem vyššího průtoku už po 15 až 30 minutách po aplikaci. Dvoudenní protokol a aplikace také dvou injekcí v časovém odstupu 24 hodin. Při dvoudenním protokolu vznikají vlivem podané vyšší aktivity kvalitnější scintigramy, nevýhodou však je delší celkový čas. Za použití ^{201}Tl -thallia se uplatňuje jednodenní protokol a jediná aplikace. Injekce se aplikuje při zátěži a do 10 minut probíhá samotné snímání. Po 3 až 4 hodinách

se provede klidové vyšetření. Třetí možností je provést vyšetření v kombinaci ^{201}Tl a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI/tetrofosmin. Jedná se o jednodenní protokol, kdy se aplikuje thallium v klidu a následně $^{99\text{m}}\text{Tc}$ v zátěži. Nevýhoda tohoto postupu je v aplikaci dvou rozdílných radiofarmak, které tvoří různě kvalitní scintigramy. (24)

6.2.2 Způsoby prováděné zátěže

Zátěž, pokud to umožní zdravotní stav pacienta, se navodí pomocí bicyklového ergometru. Pokud není možné provést dostatečnou fyzickou zátěž, provádí se farmakologická zátěž. Pacient přichází na lačno, den před vyšetřením neužívá kofeinové nápoje, čaj, čokoládu, kakao a banány. Pokud to zdravotní stav dovolí, doporučuje se vynechat užívané léky, zejména betablokátory, blokátory vápníkového kanálu, nitráty a léky ovlivňující vazodilataci na 48 hodin. Pokud se přistoupí k farmakologické zátěži, používají se léky, které ovlivňují vazodilataci, zejména adenosin a dipyridamol. Podstatou je zvýšit hladinu adenosinu a tím zvýšit průtok krve až 5x oproti klidovému stavu. Adenosin působí na buňky hladké svaloviny a tím dochází k dilataci. Čokoláda, banány a další podobné potraviny se neužívají před vyšetřením z důvodu blokování adenosinových receptorů. Nemožnost podat adenosin nebo dipyridamol je například akutní astma bronchiale a hypotenze. Další možností je podat sympatikomimetika – dobutamin, případně arbutamin, tedy léky, které zvyšují koronární průtok. Existuje však celá řada nežádoucích účinků, jako arytmie, tachykardie, hypertenze a další. Poslední možností jak vyvolat zátěž je takzvaná kombinovaná zátěž, která obsahuje jak fyzickou, tak farmakologickou část. Výhodou je omezení nežádoucích účinků vlivem farmakologie a také kvalita scintigramů. Tento typ zátěže je vhodný pro všechny pacienty, kteří snesou alespoň nějakou fyzickou zátěž. Nehodí se ale pro pacienty, u kterých je přítomen blok levého Tawarova raménka. Tawarova raménka vedou vzruch na svalovinu komor a vlivem jejich bloku může dojít k řadě falešně pozitivním nálezům. (24)

6.2.3 Kvantifikace poruch perfuze

Kvantifikací rozlišujeme rozsah poruchy perfuze (defect extent) v % a stupeň vážnosti postižení (defect severity) odvíjející se od normálního stavu myokardu. (24)

6.2.4 Sumační skóre

Pomocí jednoho čísla – sumačního skóre rozlišujeme stupeň a rozsah postižení. Čím menší je číslo, tím méně závažné je postižení a naopak. Levá komora srdeční se dělí na 17 segmentů. Jednotlivý segment se hodnotí od 0 do 4. Pokud sečteme všechny stupně

postižení, získáme sumační skóre. Maximální možné číslo, stupeň postižení, je 68. Sumační skóre se dělí na SSS (summed stress score) pro zátěž. SRS (summed rest score) pro klid. SDS (summed difference score) vznikne, když se odečtou jednotlivé segmenty od sebe v klidu a v zátěži a sečte se rozdíl. (24)

6.2.5 Kvantifikace poruch funkce

Kvantifikace poruch funkce levé komory se provede jen tehdy, pokud se perfuze prováděla s EKG-gated. Patří sem informace o enddiastolickém a endsystolickém objemu, ejekční frakci levé komory, systolickém ztluštění myokardu a pohyblivosti srdeční stěny. Perfuzní scintigrafie myokardu se provádí z diagnostického záměru nejčastěji u lidí s akutním koronárním syndromem, při chronické ischemické chorobě srdeční, ale také z prognostického záměru u lidí po koronarografii, po akutním koronárním syndromu atd. Výsledek perfuzní scintigrafie myokardu nám odpoví na zásadní otázky v následující léčbě u nemocného zejména, pokud se rozhoduje, zda pacient se stabilní anginou pectoris potřebuje koronarografii a zda je nutná revaskularizace při stenóze koronární tepny. (24)

6.3 PET

6.3.1 Příprava před vyšetřením

Před aplikováním 18F-FDG je rozhodující zvýšit využitelnost glukózy srdečním svalem. To nám zajistí hyperinzulinemický euglykemický clamp, kdy se aplikuje i.v. cestou inzulin a 20% glukóza. Množství cukru v krvi tzv. glykemie se udržuje mezi 3,9 – 5,6 mmol/l pomocí glukózy. Inzulin a jeho rychlost podání se celkem nemění. Po dosažení této rovnováhy, která zabere přibližně 60 až 90 minut, následuje aplikace 18FDG. Aplikuje se dávka v řádech stovek MBq, přesněji od 350 do 400 MBq. Po této aplikaci ještě nekončí podávání inzulinu ani glukózy, za přibližně 20 min od aplikace 18FDG se přeruší přívod inzulinu. S podáváním glukózy se pokračuje až do konce vyšetření, tím se předchází případnému vzniku hypoglykémie. V praxi existují i další metody přípravy pacienta před vyšetřením na viabilitu. Metoda p.o. podání 50 – 100 g glukózy hodinu před samotnou aplikací 18FDG je rozhodně jednodušší. U lidí s diabetem mellitus druhého typu se upravuje hladina glykemie aplikací inzulinu. Podané množství záleží na aktuální hladině. *“Existuje také možnost zablokovat utilizaci MK v myokardu Acipimoxem (derivát kys. nikotinové, který snižuje plasmatickou koncentraci VMK a zvyšuje utilizaci glukózy myokardem)”* (8 str. 85). Aplikuje se 250 mg dvě hodiny před aplikací FDG. Tato metoda

se u nás nepoužívá. Samotné vyšetření na přístroji PET se provádí za hodinu po aplikaci ^{18}F -FDG. (8)

Nejčastější závěry vyšetření :

- I. Vzájemná porucha jak perfuze, tak akumulace a funkce. (stav po infarktu myokardu – kdy tento stav není indikací k revaskularizaci)
- II. Porucha perfuze a funkce, ale akumulace je zachována. (hibernovaný myokard)
- III. Perfuze zachována, ale je snižená jak akumulace, tak funkce. (omráčený myokard) (8)

Čím větší část je viabilní, tím je vyšší pravděpodobnost zlepšení systolické funkce po revaskularizaci. Minimálně 17 až 20% z celkové hmoty musí být viabilní, aby následné zlepšení LKS bylo detekovatelné. (25)

PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍLE PRÁCE A VÝZKUMNÉ OTÁZKY

7.1 Cíle práce

1. Prostudovat odbornou literaturu na zvolené téma.
2. Zhodnotit závěry vyšetření na viabilitu myokardu za pomoci 18 FDG.
3. Popsat provedení vyšetření na viabilitu myokardu za pomoci 18 FDG.

7.2 Výzkumné otázky

1. Vyskytuje se v českém jazyce dostatečné množství odborné literatury popisující viabilitu myokardu?
2. Jak vyšetření na viabilitu myokardu ovlivňuje další léčebný postup?

7.3 Metodika

Pro zpracování praktické části jsme použili kvalitativní výzkum založený na vybraných kazuistikách. Při výběru pacientů jsme se zaměřili na muže ve věku od 50 do 75let, kteří podstoupili zkoumané vyšetření.

8 KAZUISTIKY

8.1 Kazuistika č. 1

Anamnéza

Muž, 58 let

OS: diabetik 2. typu, kuřák, byl přijat překladem z MN Privamed, kde byl hospitalizován pro subakutní IM (2 dny před přijetím bolesti na hrudi), dle ECHO porucha kinetiky inferoposteriorně, EF LKS 40-50%, k provedení koronarografie.

RA: otec zemřel na ictus, matka žije - 80 let, má artrosu, sestra zemřela na CA střev

FA: Godasal, Zyllt, Nolpaza, Egilok, Atoris, Prenessa, Insuman R, Insuman B

Alergie: PNC

Operace a úrazy: 0

Abusus: kuřák od mládí, 25 (nyní jen 15) cigaret denně

PA+SA: svářeč, rozvedený, ale žije s exmanželkou

NO: Dva dny před přijetím do Privamedu po příchodu z práce bolest za středním sternem, pak byl slabý, za 2 dny šel k PL, která ho na základě EKG poslala do MN Privamed. Zde již bez obtíží, EKG bez jasných známek ischemie, troponin I více než 50 s již nízkým myoglobinem. Jinak bez AP, dušnosti, synkop, pádů, vertiga či otoků DK. V Privamedu převeden z PAD (pro dekompenzaci DM) na IIR.

Diagnózy: Subakutní non Q IM susp. inferoposteriorně asi 17.6.2013, širokokomplexová tachykardie při přijetí 30.6.2013, Diabetes mellitus 2. typu, Nikotinismus

Klidová perfuzní scintigrafie myokardu s gated SPECT

Dne 21. 2. 2014 se 59letý pacient s DM 2. typu dostavil na KZM – oddělení NM k provedení klidové perfuzní scintigrafie myokardu. Po podepsání informovaného souhlasu a poučení byl pacient připraven k vyšetření. Pacientovi bylo aplikováno radiofarmakum ^{99m}Tc – MIBI o aktivitě 1150 Mbq. Následně byl proveden scintigrafický záznam, který vyjádřil sumační skóre na hodnotu 17 (25% LK). Ejekční frakce LK činila 50%. Porucha motility během vyšetření poukázala na známky hypokinézy septálně. Na tomografických

řezech je patrný výpadek aktivity inferolaterálně v rozsahu bazálních a středních řezů myokardu LK. Ostatní segmenty v normě. Gated záznamy: STS 25, SMS 12, Myokardiální hmota LK 168g.

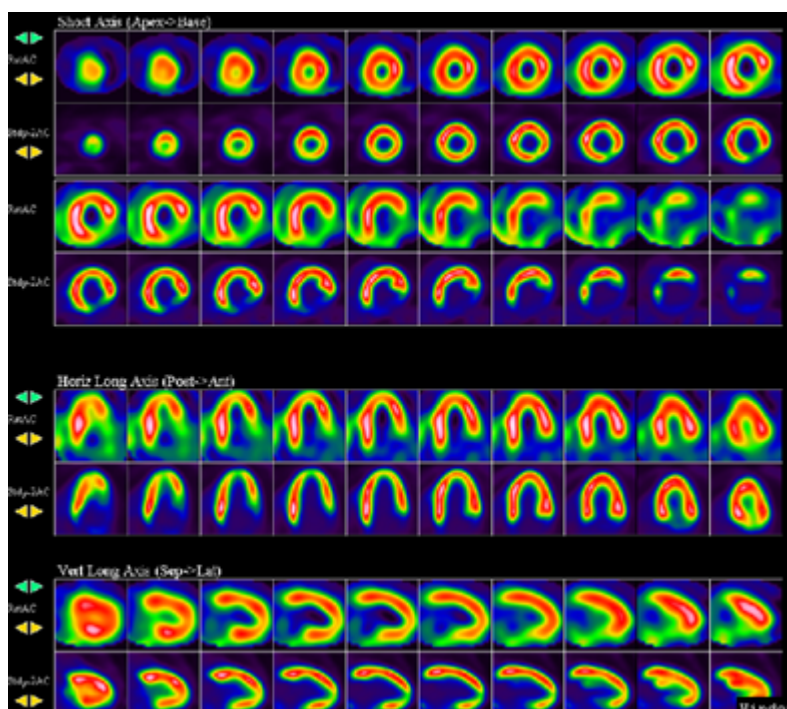
Závěr: Scintigrafické vyšetření za klidových podmínek prokázalo ložiskový defekt perfuze inferolaterálně, který svědčí pro prodělanou myokardiální laesi (jizvu) LK. Postihuje přibližně 25% svalů myokardu LK. Mírně snížená globální systolická funkce LK v klidu. Zvýrazněná globální hypokinéza septálně.

Viabilita myokardu za pomoci 18 FDG PET/CT

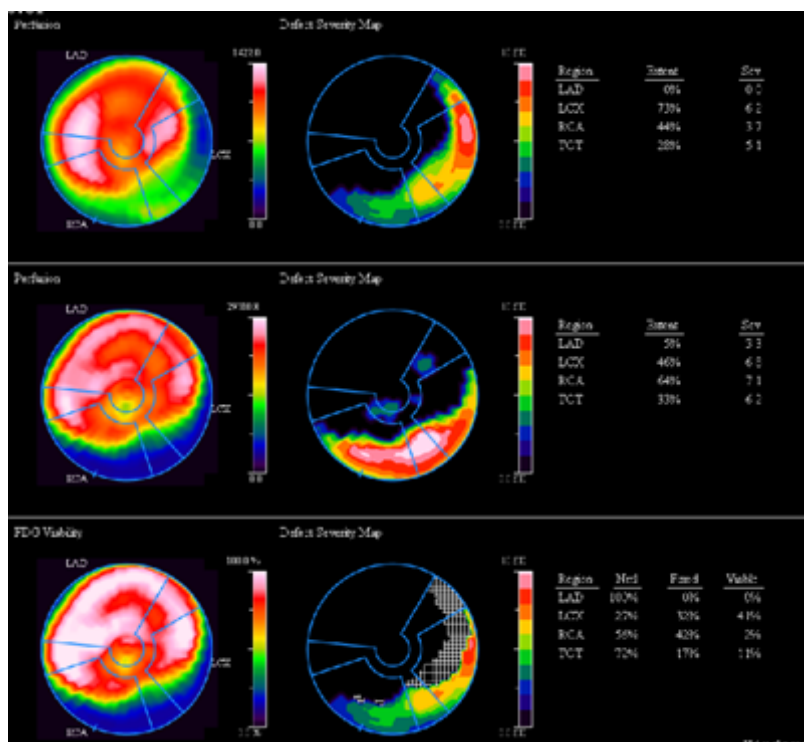
Dne 24. 2. 2014 se pacient po třech dnech od provedení klidové perfuzní scintigrafie myokardu opět dostavil na KZM. Důvodem bylo provedení vyšetření na viabilitu myokardu za pomoci 18 FDG. Po podepsání informovaného souhlasu bylo pacientovi aplikováno radiofarmakum 18 FDG o aktivitě 322 Mbq po stabilizaci glykémie pomocí insulin/20% glukózy na 5,1 mmol/l. Za 90 minut po aplikaci FDG byl proveden záznam s korekcí na atenuaci low dose CT. Při srovnání metabolismu glukózy a klidové perfuze v myokardu dilatované je patrný konkordantní nález v oblasti poruchy perfuze inferolaterálně, kde je patrný defekt akumulace FDG (flow/metabolismus match). V ostatních částech LK je akumulace zachována a odpovídá klidové perfuzi.

Závěr: Vyšetření viability myokardu poskytlo informaci o konkordantní poruše perfuze a metabolismu myokardu LK v inferolaterální oblasti a odpovídá neviabilnímu myokardu, který představuje 25% celkového myokardu LK. Nepředpokládá se zlepšení funkce po případné revaskularizaci.

Obrázek č. 1: Klidová perfuzní scintigrafie za použití ^{99m}Tc -MIBI ve srovnání s viabilitou myokardu s použitím 18 FDG svědčí pro konkordantní poruchu perfuze a viability inferolaterálně



Obrázek č. 2: Polární mapy informují o poruše perfuze a metabolismu



Zdroj: Winmedicalc FN Plzeň

8.2 Kazuistika č. 2

Anamnéza

Muž, 67let

OS: námahová dušnost NYHA II.st., těžká systolická dysfunkce LKS, trombus v hrotu LKS, ICHS, arteriální hypertenze, po CMP s levostrannou hemiparézou, hyperlipidémie, Diabetes mellitus 2. typu na PAD, CHOPN, ICHDK, Dyslipidémie

Operace a úrazy: resekce aneuryzmatu v roce 2003, dále ve stejném roce CABG (aortokoronární bypass) , cholecystektomie v roce 2005, sternotomie

RA: otec zemřel ve vyšším věku na plicní embolii, stejně tak i matka, má tři děti, ty jsou zdravé

FA: Anopyrin, Tritace, Torvacard, Coryol, Furon, Monomack D, Actrapid, Insulatardj, Pentomer

Alergie: Penicilin – urtika

SA: žije s družkou

PA: dříve řidič

Abusus: 10 let exkuřák, dříve kouřil, alkohol nárazově

NO: 67letý pacient, hypertonik, diabetik s ICHS po Q IM přední stěny s těžkou systol. dysfunkcí (25%) s revaskularizací myokardu (3xCABG) a resekci aneurysmatu byl přijat elektivně k provedení SKG (selektivní koronarografie) pro námahovou dušnost. Udává, že někdy v zimě cca 1-2/2012 odklízal sníh, při tom měl stenokardii, poměrně typickou, nikam nešel. Od té doby má pocit zhoršování tolerance námahy ohledně dechu. Do 1. patra vyjde, ale je dušný, zastavit se nemusí. Námahové stenokardie neguje. Klidové obtíže nemá.

Klidová perfuzní scintigrafie myokardu

Dne 2. 5. 2013 se 67letý pacient dostavil na KZM oddělení – NM na vyšetření klidové perfuzní scintigrafii myokardu. Po podepsání informovaného souhlasu a poučení o vyšetření byl pacient připraven k vyšetření. Pacient byl aplikován radiofarmakem značeným ^{99m}Tc – MIBI o aktivitě 993 MBq. Následoval scintigrafický záznam, který

vypočetl hodnotu sumačního skóre SRS 38 (55,9%). Ejekční frakce levé komory měla hodnotu 34%. Na korigovaných i nekorigovaných tomografických řezech patrný výpadek aktivity apicoanteroseptálně, inferolaterálně v rozsahu zejména bazálních a středních řezů myokardu LKS. Porucha motility v klidu vyjádřila globální hypokineza.

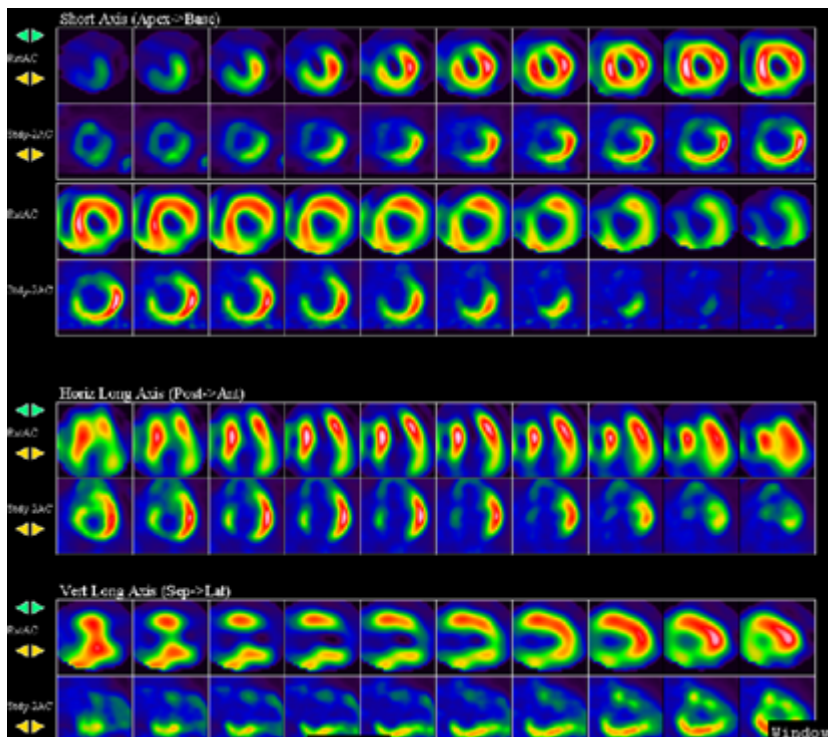
Závěr: Klidová perfuzní scintigrafie myokardu poskytla informace o ložiskových defektech apicoanteroseptálně a inferolaterálně, které svědčí pro prodělanou myokardiální leasy (jizvu). Dále poukázala na výrazně sníženou globální systolickou funkci LK. Hypokinéza maximálně vyjádřena v místech perfuzních defektů.

Viabilita myokardu pomocí 18 FDG PET/CT

Dne 6. 5. 2013, čtyři dny po klidové perfuzní scintigrafii myokardu se pacient opět dostavil na KZM oddělení NM na vyšetření viability myokardu. Po podepsání informovaného souhlasu a poučení k vyšetření bylo pacientovi aplikováno radiofarmakum 18 FDG o aktivitě 314 MBq. Před aplikací 18 FDG došlo ke stabilizaci glykémie pomocí insulin/20% glukózy na 6,1 mmol/l. Samotný záznam byl proveden za 110 minut po aplikaci radiofarmaka. Při srovnání klidové scintigrafie a metabolismu glukózy myokardu lze popsat v oblasti poruchy apicoanteroseptálně, výpadek akumulace FDG (flow/metabolismus match), naopak v inferolaterálních částech myokardu lze popsat zachovalou akumulaci FDG (flow/ metabolismus mismatch). V ostatních částech LK je akumulace zachována a odpovídá perfuzní scintigrafii.

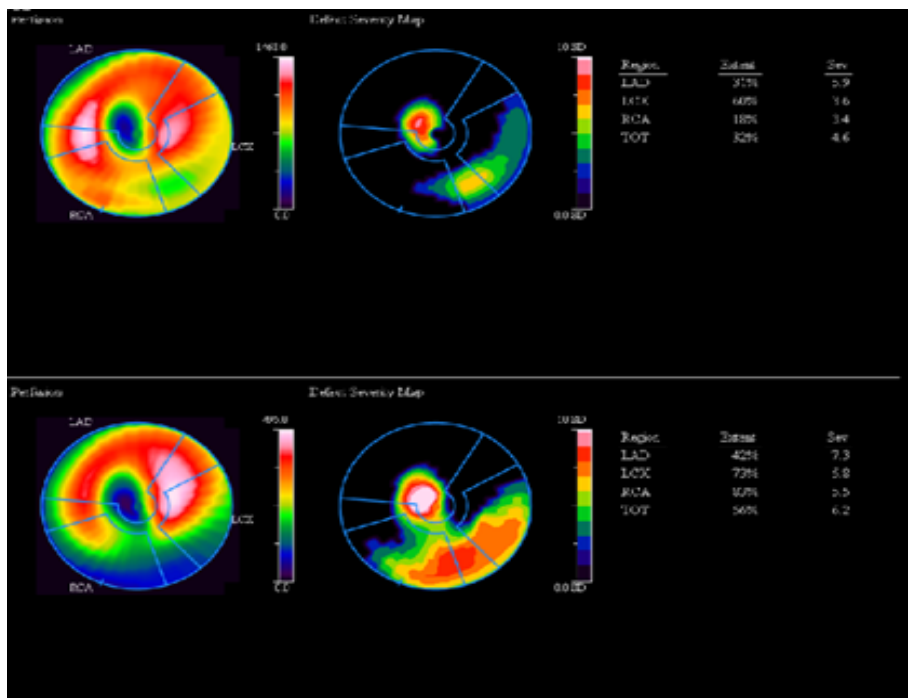
Závěr: Viabilita myokardu poskytla informaci o diskordantní poruše perfuze a metabolismu myokardu LK v inferolaterální oblasti odpovídá hibernujícímu myokardu, který představuje přibližně 20% celkového myokardu LK. Z hlediska PETu lze předpokládat zlepšení funkce LK po revaskularizaci. Konkordantní porucha perfuze a metabolismu myokardu LK v apicoanteroseptální oblasti odpovídá neviabilnímu myokardu, který představuje 10 - 15% celkového myokardu LK. Z hlediska PETu tedy nelze očekávat zlepšení funkce LK po event. revaskularizaci této oblasti.

Obrázek č. 3: Klidová perfuzní scintigrafie za použití $^{99m}\text{Tc-MIBI}$ ve srovnání s viabilitou myokardu za použití 18 FDG udává informaci o defektech v apicoanteroseptální a inferolaterální oblasti



Zdroj: Winmedicale FN Plzeň

Obrázek č. 4: Polární mapy znázorňují poruchu perfuze



Zdroj: Winmedicale FN Plzeň

8.3 Kazuistika č. 3

Anamnéza

Muž, 51 let

OS: ICHS, st. p. inferoposteroseptálním IM, dilatace a lehká systolická dysfunkce LKS, porucha glukózové tolerance, dyslipidémie, arteriální hypertenze, hypertrofie LK, nikotinismus, nadváha

Operace a úrazy: operace pupeční kýly v roce 2010, běžné dětské nemoci

RA: otec po operaci krkavice, matka zemřela v 72 letech na karcinom, měla opakovaně IM, první v 55 letech, byla po CABG (aortokoronární bypass) a amputaci DK

FA: Prestariumneo F, Concor COR 2,5 mg, Torvacard 20 mg, ASA 100 mg, Kalnormin

Alergie: neguje

PA: skladník

Abusus: od mládí kouří 10 cigaret denně

NO: Pacient nikdy neměl a nemá stenokardie, dušnost neguje, palpitace nejsou, ztráta vědomí nebyla. Bolesti lýtek při chůzi nemá. Cítí se tedy zcela dobře. Na akinezy zadní a spodní stěny se přišlo při echo vyš. před rokem, kdy byl operován s pupeční kýlou (08/2010), zaléčen v sek. prevenci.

Zátěžová a klidová perfuzní scintigrafie myokardu

Dne 5. 1. 2012 se pacient dostavil na vyšetření na KZM oddělení NM. Po podepsání informovaného souhlasu a poučení o vyšetření byl připraven podstoupit vyšetření. Pro navození zátěže byla zvolena bicyklová ergometrie. Před zátěžovým vyšetřením byl pacientovi naměřen krevní tlak 170/90 mmHg a tepová frekvence měla hodnotu 79/minutu. Z naměřených hodnot byl vypočten dvojprodukt 13430. Bicyklová ergometrie trvala 7 minut, kdy zátěž začínala na hodnotě 50 W a končila při 150 W. Dle váhy, výšky, pohlaví a věku to bylo přibližně z 66% předpokládané zátěže. Při zátěži 150 W bylo pacientovi aplikováno radiofarmakum ^{99m}Tc – MIBI o aktivitě 1227 MBq. Tepová frekvence a její maximum byla naměřena na hodnotu 120/minutu, to je přibližně z 67% předpokládané tepové frekvence. Maximální hodnota krevního tlaku vzrostla na 220/100 mmHg. Maximální dvojprodukt tedy měl hodnotu 26400. Důvodem ukončení zátěže byla

elevace TK. Subjektivně bolest ani jiné obtíže neudává. Následně se provedl scintigrafický záznam. Hodnota sumačního skóre byla 26 (23,5%) LK. Ejekční frakce 30%. Následující den bylo pacientovi provedeno klidové perfuzní vyšetření, kdy se aplikovalo 1187 MBq. Hodnoty byly srovnatelné s hodnotami naměřenými o den dříve.

ZÁVĚR: Při dosažení 67 % max. tepové frekvence a zátěže 6,0 METs scintigraficky neprokázána přesvědčivá zátěžově podmíněná porucha perfuze myokardu LKS.

Fixní porucha perfuze inferolaterálně, která svědčí pro prodělanou myokardiální laesi ("jizvu") LKS.

Výrazněji snížená globální systolická funkce dilatované LKS, glob. hypokineza max. vyjádřena inferolaterálně.

VIABILITA MYOKARDU POMOCÍ 18FDG PET/CT

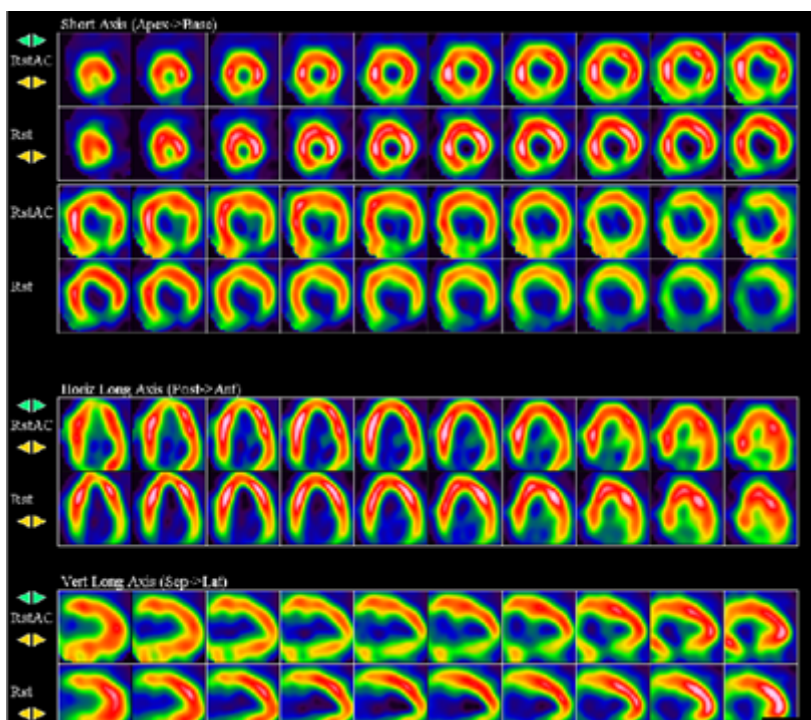
Pacient přichází na KZM oddělení NM k posouzení viability spodní stěny, před plánovanou revaskularizací. Pokud bude spodní stěna neviabilní, provede se pouze PTCA stenózy RIA. Pokud bude viabilní, provede se CABG RIA + ACD. Po podepsání informovaného souhlasu a poučení o vyšetření byl pacient připraven. Pacientovi bylo aplikováno radiofarmakum 18 FDG o aktivitě 359 MBq po stabilizaci glykémie pomocí insulin 20% glukózy na 3,8 mmol/L. Samotný záznam byl proveden za 70 minut po aplikaci FDG s korekcí na atenuaci pomocí low dose CT.

Viabilita PET-FDG/Perfuze SPECT-MIBI

Při srovnání metabolismu glukózy a klidové perfuze (viz vyš.z 5. 1. 12) v myokardu dilatované LK je zejména na nekorigovaných tomo řezech patrný konkordantní nález v oblasti poruchy perfuze v inferiorním a inferolaterálním segmentu, kde je relativně snížena akumulace FDG ("flow/metabolismus match"). V ostatních částech myokardu LK je akumulace FDG zachována a odpovídá klidové perfuzi.

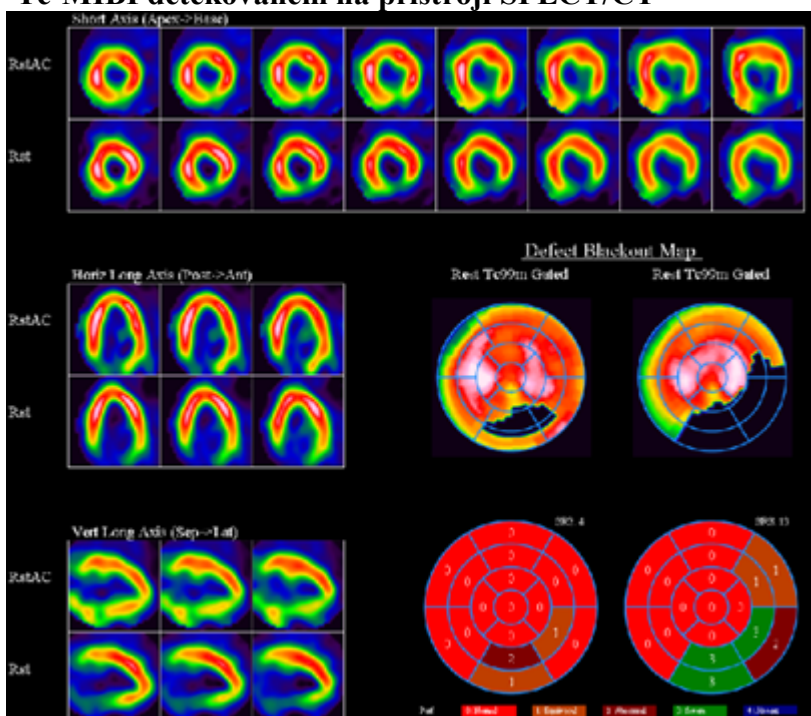
Závěr: Konkordantní porucha perfuze a metabolismu myokardu LK inferiorně a inferolaterálně odpovídá neviabilnímu myokardu. Z hlediska PETu je nepravděpodobné zlepšení funkce LK po event. revaskularizaci výše uvedené oblasti LK.

Obrázek č. 5: Klidová perfuzní scintigrafie myokardu za použití ^{99m}Tc -MIBI znázorňuje poruchu perfuze v inferolaterální oblasti, která svědčí pro prodělanou myokardiální laesi LKS



Zdroj: Winmedicale FN Plzeň

Obrázek č. 6: Zhoršená perfuze myokardu v inferiorní a inferolaterální oblasti s použitím ^{99m}Tc -MIBI detekovaném na přístroji SPECT/CT



Zdroj: Winmedicale FN Plzeň

8.4 Kazuistika č. 4

Anamnéza

Muž, 54 let

OS: Fibrilační zástava oběhu s úspěšnou KPR, Q-infarkt myokardu přední stěny 11. 8. 2015, Bronchopneumonie vpravo bazálně 8/2015. Arteriální hypertenze, dyslipidémie, umbilikální kýla.

Operace a úrazy: provedena pPCI RIA s implantací BMS

RA: otec kuřák po IM zemřel na plicní onemocnění v 55 letech, matka zemřela na CMP v 65 letech

FA: Anopyrin, Trombex, Tritace, Vasocardin, Omeprazol

Alergie: neguje

PA: strojník

SA: žije s manželkou

Abusus: kouřil 20cig/den, nyní nekouří, alkohol dříve společensky

NO: 54letý pacient, po úspěšné KPR pro fibrilační zástavu oběhu v rámci Q-IM v oblasti přední stěny bez algické symptomatologie před fibrilační zástavou, dle urgentní koronarografie s průkazem MVD s akut. uzávěrem RIA, provedena pPCI RIA s implantací BMS, s indikací CABG v případě dobrého neurologického výstupu, poresuscitačně léčen na K-JIP, k weaningu od ventilace přes tracheostomickou kanylu předán na DIP Planá u ML, kde léčena bronchopneumonie vpravo bazálně, dále rehabilitován na LDN v Mariánských Lázních. Při překladu s mírnou bolestivostí kaudálních žeber vlevo, bez námahových stenokardií ani při intenzivní rehabilitaci.

PET/MRI s aplikací 18 FDG

Dne 7. 10. 2015 přichází pacient na KZM oddělení NM k posouzení viability z důvodu zvažované revaskularizace.

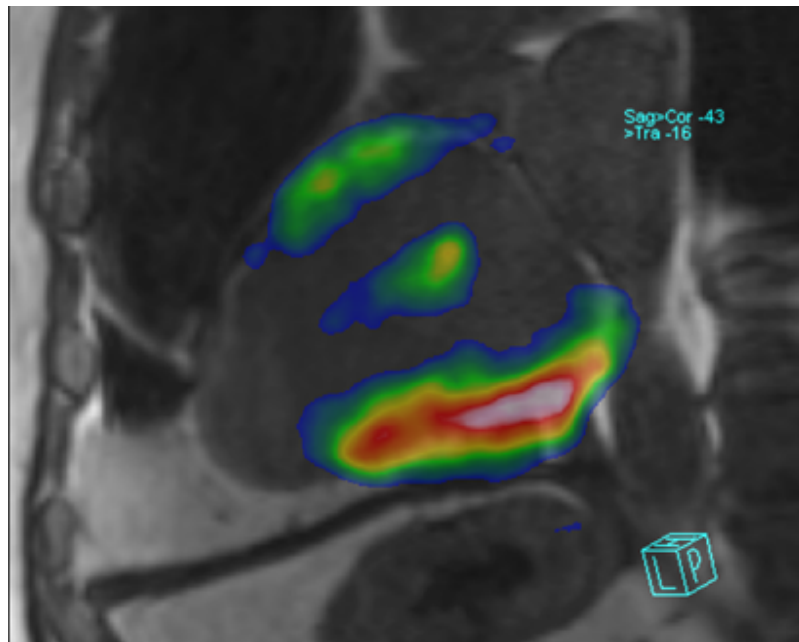
Průběh vyšetření: PET záznam byl proveden 90 minut po aplikaci 18FDG o aktivitě 254 MBq. Hodnota glykémie byla před aplikací 7,8 mmol/l. Vyšetření bylo provedeno od baze

lební až po oblast třísel za pomoci přístroje PET/MR Biograph, včetně MRI srdce s aplikací kontrastní látky i.v.

Nález: Rozsáhlá jizva po transmurálním infarktu v rozsahu apikální třetiny LK včetně apikální poloviny IV. septa. V rozsahu jizvy s pozdním sycením místy s hypointenzivní subendokardiální okrsky tkáně, místy uprostřed vrstvy myokardu. V celé oblasti RIA je patrná hypo až aperfuze. Akineza až dyskineza v téže lokalizaci. Akumulace FDG v rozsahu jizvy zcela minimální, v místech se zachovalou kinetikou akumulace normální.

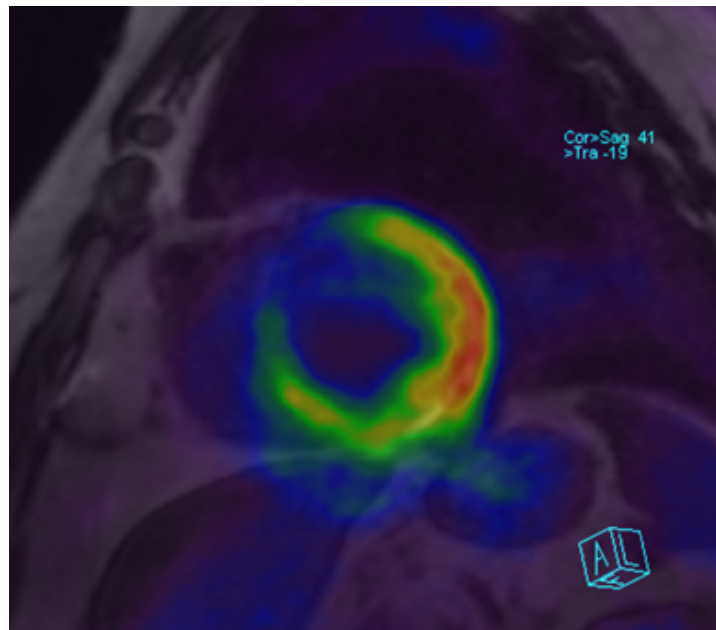
Závěr: Aviabilní jizva v rozsahu teritoria RIA (apikální třetiny LK).

Obrázek č. 7: V oblasti jizvy je akumulace minimální



Zdroj: Winmedicalc FN Plzeň

Obrázek č. 8: V oblasti se zachovalou kinetikou je akumulace FDG v normě



Zdroj: Winmedicale FN Plzeň

8.5 Kazuistika č. 5

Anamnéza

Muž, 59let

OS: ICHS, TEN, CMP, DM, thyreopatie, VCHGD (vředová choroba gastroduodena), TBC

Operace a úrazy: po appendektomii komplikované peritonitidou (zánět pobřišnice), VAS (vertebrogení algický sy.) C páteře, občasné vertigo (pocit narušené rovnováhy), po operaci pupeční kýly.

RA: otec 85 let, matka 80 let, závažně nestonají, sourozenci: bratr 58 let, závažně nestoná, děti: syn a dcera zdraví

FA: trvale neužívá, při vertigu Torecan

Alergie: tvaroh (urtikárie) – kopřivka

PA: soustružník

SA: žije s manželkou

Abusus: kouří do 10 cig/den, alkohol příležitostně, č. káva málo

NO: 59letý pacient byl přijat k vyšetření na posouzení viability myokardu za použití přístroje PET/MRI z důvodu zvažované revaskularizace

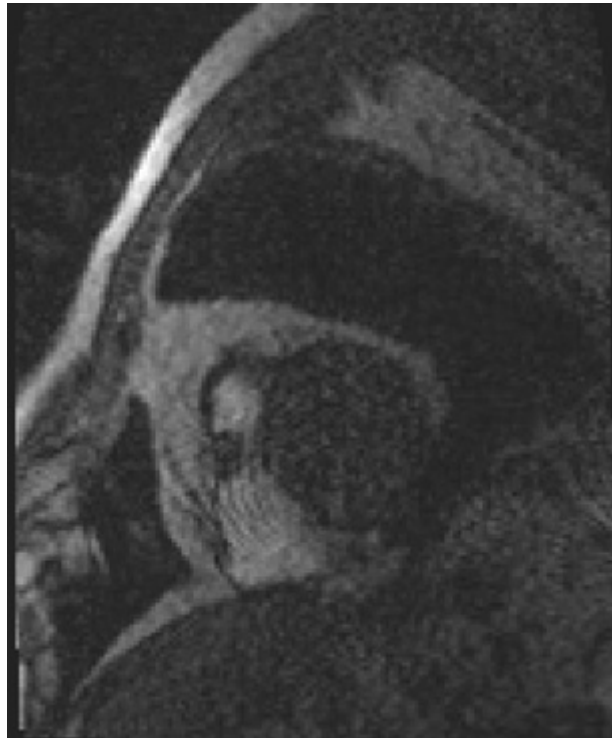
PET/MRI s podáním 18F-fluorodeoxyglukózy

Dne 17. 9. 2015 přichází pacient na KZM oddělení NM k vyšetření na viabilitu myokardu. Průběh vyšetření: PET záznam byl proveden za 60 min po aplikaci ¹⁸FDG (2-[¹⁸F]fluor-2-deoxy-D-glukózy) o aktivitě 272 MBq. Glykémie před aplikací měla hodnotu 5,4 mmol/l. Vyšetření bylo provedeno v rozsahu srdce po konverzi metabolismu myokardu aplikací 50IU nefrakcionovaného heparinu i.v. 15 min před aplikací FDG za použití PET/MRI přístroje Biograph mMRI. Pacient 30 min po intravenózní aplikaci kontrastní látky nejevil známky alergické reakce a byl propuštěn z oddělení.

Nález: V apikální polovině LK je patrný rozsáhlý nález subendokardiálního postižení myokardu pozdním sycením a zachovanou dobrou perfuzí, apikální třetina LK je akinetická, na přední stěně poblíž hrotu je defekt myokardu s vyklenující se dutinou vel. cca 2 x 1,5 cm, která je vyplněna trombem, trombus dále přítomen v prostoru pod akinetickou oblastí přední stěny LK a dosahuje velikosti 6 x 5 x 2,5 a 4,5 cm. EF LK cca 60% při vyjmutí trombu v hrotu ze srdečních objemů. Akumulace FDG ukazuje na rozsáhlou post ischemickou oblast LK kopírující oblast subendokardiálního infarktu. V místě transmurálního defektu akumulace je patrný na MRI defekt myokardu, který svědčí pro pseudoaneurysma LK.

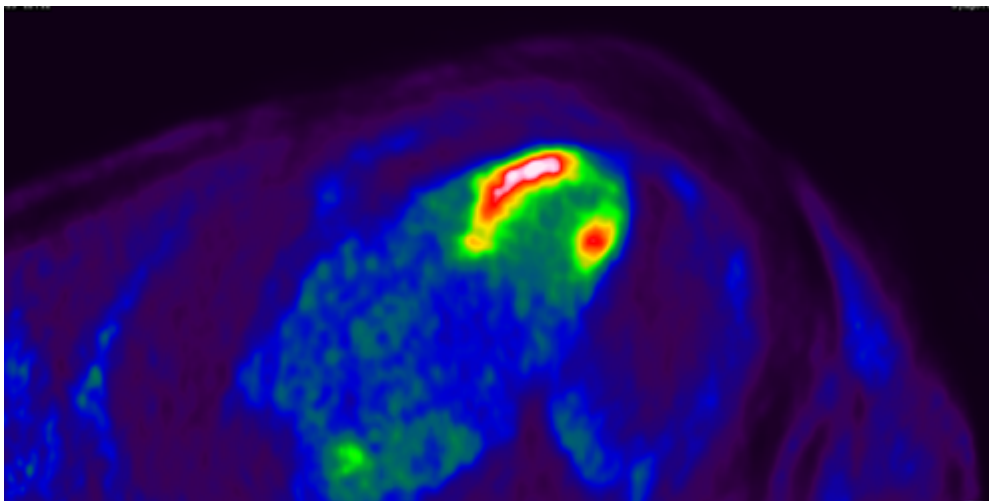
Závěr: Rozsáhlé postižení myokardu LK přední stěny a septa infarktem myokardu subendokardiálního charakteru. Absence akumulace FDG v oblasti hrotu ukazuje na pseudoaneurysma v místě transmurálního postižení myokardu infarktem v oblasti velké cca 2 cm v místě na "hrotu" apexu příslušející však ještě přední stěně.

Obrázek č. 9: Subendokardiální postižení myokardu



Zdroj: Winmedicalc FN Plzeň

Obrázek č. 10: Defekt akumulace FDG v apikální oblasti myokardu LK



Zdroj: Winmedicalc FN Plzeň

8.6 Kazuistika č. 6

Anamnéza

Muž, 71 let

OS: smíšená dušnost NYHA III. st., oboustranné srdeční selhání, významná stenóza RIA dle SKG (selektivní koronarografie) 9/2015 k PCI., CHOPN, exacerbace (nové vzplanutí chronické choroby), stav po oboustranné srdeční dekompenzaci, diabetes mellitus 2. typu, arteriální hypertenze

RA: Otec zemřel v 83 letech na CMP, matka zemřela v 84 letech na CMP. Měl sestru, umřela v 75 letech a dva bratry (52 a 75 let), zemřeli na ca střeva a ca hlasivek, dále má dvě sestry (80 a 76 let) a jednoho bratra (78 let), u nich neudává žádné nemoci. Má syna (44 let) a dceru (49 let), jsou zdraví.

FA: Anopyrin, Furon, Siofor 1000, Atroventin, Tritace, Toravacard, Foradil, Atrovent, Theoplus, Humalog s.c., Humalog MIX 50

PA: pracoval ve stavebnictví, fyzicky náročné

Abusus: kouřil 50 let 20 cigaret denně, nyní přiznává 10 denně + elektronickou cigaretu, pije 5 piv 1x týdně

NO: 71letý pacient s těžkou systolickou dysfunkcí LK (EF 25%), pro kardiální dekompenzaci, přijat k implantaci ICD v rámci primární prevence NSS. Pacient recentně hospitalizován na II. IK 9/2015, odkud provedena SKG s nálezem výrazné stenózy RIA za odstupem RD I, jinak nerovnosti. TTE s nálezem těžké systolické dysfunkce LK, EF 25% při difúzní hypokineze dilatované LK.

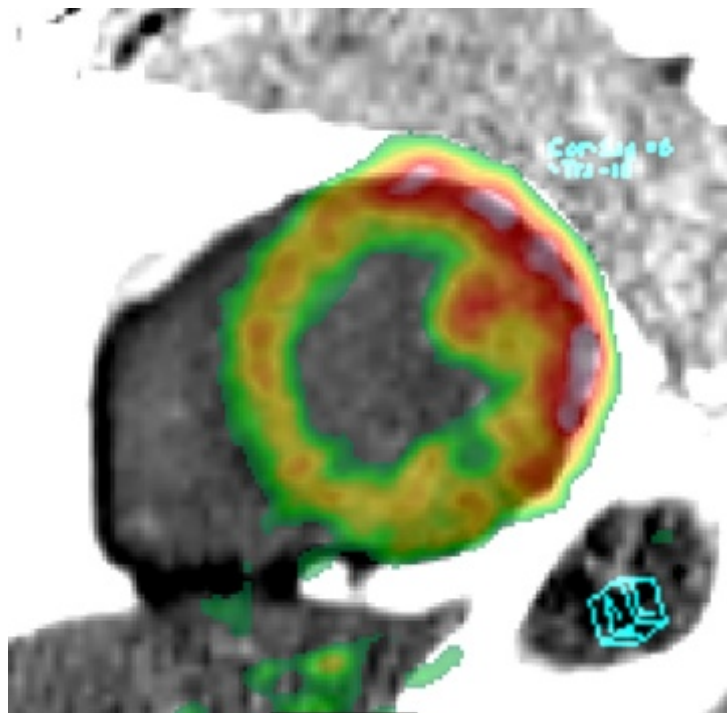
PET/MRI s podáním 18F-fluorodeoxyglukózy

Indikace stav po kardiálním selhání. Dne 21. 9. 2015 se dostavil pacient na KZM oddělení NM k vyšetření pomocí PET/MRI. Po podepsání informovaného souhlasu byl pacient připraven podstoupit vyšetření. Průběh vyšetření: PET záznam byl proveden za 60 minut po aplikaci 18FDG o aktivitě 242 MBq. Hodnota glykémie před aplikací měla hodnotu 10,3 mmol/l. Vyšetření bylo provedeno v rozsahu srdce po orální přípravě glukózou za použití PET/MRI přístroje Biograph mMRI rekonstrukcí dat algoritmem PSF. Pacient nejevil příznaky alergické reakce po podání kontrastní látky a byl následně propuštěn z oddělení.

Nález: Ejekční frakce LK 20%, jemné fibrózní změny subendokardiálně v oblasti apikální třetiny septa a v hrotu s místem, kde je přítomné zpomalené sycení subendokardiálního myokardu, při perfuzním vyšetření, v pozdější fázi však dochází k nasycení tkáně. Pozdní sycení jen diskrétní, a to v oblasti apikální třetiny septa a apexu. Akumulace FDG je výrazná na laterální stěně a dále na laterální části přední stěny v povodí RCX. Povodí RIA FDG akumuluje, ale zřetelně méně než volná laterální stěna LK. Hypokinéza v oblasti apikální třetiny levé komory.

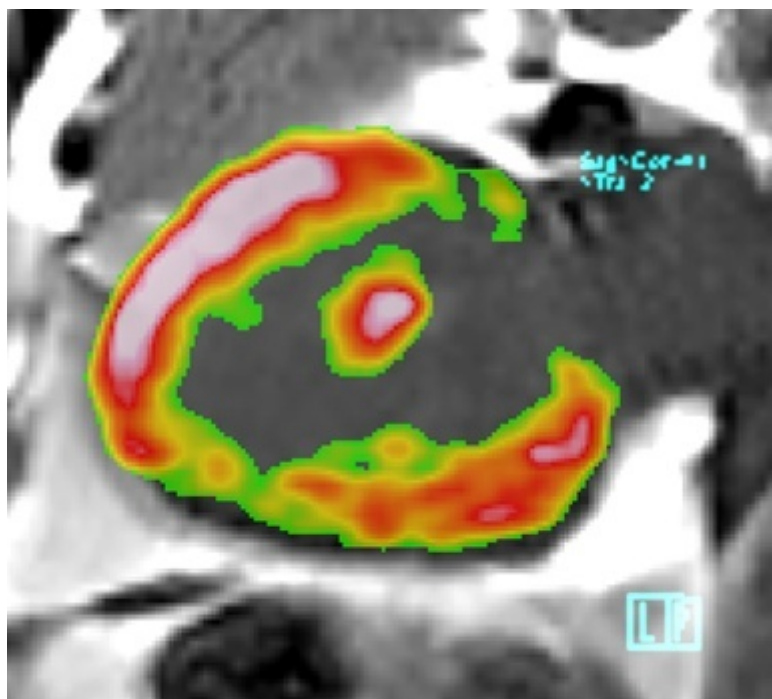
Závěr: Kromě velmi malé oblasti v apexu LK je přítomna dobrá viabilita myokardu, oblast teritoria RIA, včetně jeho septální větve je lehce hypometabolická, bez perzistující hypoperfuze v klidu, bez známek infarktové jizvy, nevelké myofibrózy. Hypokinéza LK globálního typu se snížením ejekční frakce v teritoriu RIA se zřejmě jedná o hibernující myokard.

Obrázek č. 11: V oblasti RIA nižší akumulace, než v laterální stěně LK



Zdroj: Winmedicalc FN Plzeň

Obrázek č. 12: Výrazná akumulace na laterální stěně



Zdroj: Winmedialc FN Plzeň

DISKUZE

Prvním cílem mé práce bylo prozkoumat odbornou literaturu na zvolené téma a zjistit, jestli dostupná literatura v českém jazyce je dostatečně obsáhlá a je možné v ní vyhledat úplné informace o viabilitě myokardu za pomoci 18 FDG. Došel jsem k závěru, že pro zpracování bakalářské práce by stačilo čerpat jen z české literatury, ale pokud se chceme dozvědět o dalších souvislostech, je nezbytné nahlédnout i do zahraničních zdrojů.

Druhým cílem bylo zhodnotit závěry vyšetření u vybraných kazuistik. První kazuistika se týká muže, 58 let po prodělaném IM, který byl přijat na KZM k vyšetření klidové perfuzní scintigrafie myokardu a k vyšetření na viabilitu myokardu z důvodu zvažované revaskularizace. Dle výsledků vyšetření se usoudilo, že se nebude provádět revaskularizace. Následná farmakologická léčba spočívá ve změně léků, konkrétně jde o změnu z Egiloku 50 na Betaloc SR200. Pacient podstoupil implantaci ICD (implantibilní kardioverter defibrilátor), který mu byl aplikován do subklavikulárního prostoru pod prsní sval. Subjektivně se cítí dobře, potíže neguje. Námahu toleruje bez omezení, chůzi zvládá bez zastavení, bez stenokardií a dušnosti. Bez palpitací, výboj neguje. Sledování nemocného a medikace dle domluvy s lékařem. Na této kazuistice jsem chtěl poukázat na to, že vyšetření na viabilitu myokardu rozhodlo o tom, že se neprovede revaskularizace, ale pacient se bude léčit farmakologicky.

Druhá kazuistika se týká muže ve věku 67 let po IM přední stěny s těžkou systolickou dysfunkcí a revaskularizací myokardu (3xCABG) a resekci aneurysmatu, který byl přijat k vyšetření klidové perfuzní scintigrafie myokardu a k vyšetření na viabilitu myokardu z důvodu zvažované revaskularizace pro námahovou dušnost. Na základě výsledku z PET/CT byl indikován pokus o PCI RC (perkutánní koronární intervence pravé koronární tepny). Očekával se komplikovaný výkon, což se nakonec potvrdilo na sále. Pacient byl podrobně informován. Elektivní pokus o PCI za použití dostupného materiálu se nezdařil z důvodu výrazně kalcifikovaného místa uzávěru. Výkon byl ukončen jako technicky nemožný. Tato kazuistika se mi líbila z důvodu zajímavé anamnézy a výčtu diagnóz. Také se mi líbí, že lékaři “šli“ do tohoto zákroku, kdy situace nebyla jednoduchá a existovala jen malá šance na zlepšení funkce.

Třetí kazuistika se týká muže ve věku 51 let po prodělaném infarktu myokardu, který byl přijat k provedení klidové a zátěžové perfuzní scintigrafie myokardu a zhodnocení viability. Plánovalo se, že pokud bude spodní stěna neviabilní, provede se

pouze PTCA stenózy RIA. Pokud bude viabilní, provede se CABG RIA + ACD. Vyšetření rozhodlo o tom, že se provede PCI RIA. Výkon proběhl bez komplikací, stejně tak i následná hospitalizace. Pacient byl propuštěn v dobrém stavu do domácího prostředí. Byl poučen o následném sledování svého zdravotního stavu u spádového kardiologa s kontrolní echokardiografií za 2 až 3 měsíce. Dále byl poučen o zdravé životosprávě, přiměřené fyzické aktivitě a nekouření! Pravidelné kontroly TK, TF a lipidogramu. Tato kazuistika mě zaujala z toho důvodu, že bylo rozhodnuto o provedení revaskularizace, jen se čekalo na výsledek vyšetření na viabilitu, která rozhodla, o jaký druh revaskularizace půjde.

Čtvrtá kazuistika se týká muže ve věku 54 let po úspěšné KPR pro fibrilační zástavu. Pacient po revaskularizaci PCI RIA (v minulosti) byl přijat k posouzení viability myokardu na přístroji PET/MR. Důvodem vyšetření bylo zhodnotit viabilitu a rozhodnout, zda se opět provede revaskularizace. S ohledem na nález, který prokázal zcela minimální akumulaci FDG v oblasti jizvy, se nebude provádět revaskularizace. Dále se bude postupovat konzervativním farmakologickým způsobem. Tuto kazuistiku jsem vybral z toho důvodu, že jsem chtěl poukázat na to, že se pacienti vracejí k provedení revaskularizace.

Pátá kazuistika se týká muže ve věku 59 let se subakutním IM, který byl přijat k vyšetření na viabilitu myokardu na přístroji PET/MR z důvodu zvažované revaskularizace. Závěrem vyšetření byl nález rozsáhlého charakteru. Postižení myokardu LK přední stěny a septa infarktem myokardu subendokardiálního charakteru. Dále absence akumulace FDG v oblasti hrotu ukázala na pseudoaneurysma. V okolních segmentech se zdála být viabilita zachována. Ostatní vyšetření revaskularizaci nekontraindikovala. Bylo provedeno CABG a také resekce aneurysmatu. Subjektivně se pacient cítil po výkonu dobře. Tato kazuistika mě zaujala z důvodu zajímavé anamnézy a také samotným nálezem.

Poslední šestá kazuistika, kterou jsem vybral do mé bakalářské práce, se týká muže ve věku 71 let s těžkou dysfunkcí LK, který byl přijat k vyšetření na viabilitu myokardu za pomoci přístroje PET/MR z důvodu zvažované revaskularizace. Výsledek vyšetření poukázal na viabilitu v povodí RIA a tedy k indikaci provedení PCI s implantací stentu. Výkon proběhl bez komplikací. Pacient byl propuštěn do domácího ošetřování. Pacient je nadále sledován u spádového kardiologa. Pokud ucítí stenokardii, má okamžitě volat RZP. Byla mu doporučena zdravá životospráva, přiměřená fyzická aktivita a měl by zanechat kouření!

Pomocí kazuistik jsem odpověděl na druhý cíl a druhou výzkumnou otázku, jak vyšetření ovlivní další léčebný postup.

Zkoumané vyšetření má konečný vliv na zvolenou léčbu. Pro doplnění mé práce se chci zmínit o analýze od pana Allmana a kolektivu autorů, která se zabývá prognózou u pacientů, u nichž byla provedena revaskularizace oproti farmakologické léčbě. Analýza od Allmana přišla s informacemi, že nejlepší prognózu mají pacienti s viabilním myokardem, kterým byla provedena revaskularizace. Druhou skupinou s horší prognózou jsou pacienti s neviabilním myokardem, kteří se léčí farmakologicky. Třetí skupinou jsou pacienti s neviabilním myokardem po revaskularizaci. Poslední skupinou, která má výrazně nejhorší prognózu, jsou pacienti s viabilním myokardem, jež se léčí pouze farmakologicky. (26)

Budoucností léčby ICHS a jejích forem je TMLR – transmyokardiální laserová revaskularizace, pokud není možné provést PTCA nebo bypass. Jedná se o novou metodu, která je schopna pomocí laseru vytvořit do stěny myokardu kanálky, jimiž se dostane krev až ke svalovým buňkám. V prvé řadě by ale lidé měli myslet na prevenci a zdravý způsob života a nespoléhat na medicínu, že jí vždy pomůže.

Třetím cílem je popsat provedení vyšetření na viabilitu myokardu za použití 18 FDG, postup jsem přiblížil u jednotlivých kazuistik.

ZÁVĚR

Ve své bakalářské práci jsem se snažil postupovat tak, aby celá práce měla logickou návaznost. Chtěl jsem vytvořit práci, která by byla přínosem pro ostatní studenty oboru Radiologický asistent. Během zpracování tohoto tématu, ke kterému jsem přistupoval s velkým respektem, protože se jedná o velmi složité vyšetření, jsem se snažil splnit vytyčené cíle a výzkumné otázky. V teoretické části, na podkladě pečlivě vybrané odborné literatury, jsem se věnoval stručně anatomii a fyziologii srdečního svalu, v další kapitole pak ischemické chorobě srdeční. Následovala kapitola o používaných radiofarmakách, která slouží k hodnocení viability a perfuze myokardu. Po této kapitole jsem se soustředil na přístrojové vybavení na nukleární medicíně, zejména pak na hybridní metody využívané v nukleární kardiologii. V další kapitole jsem se věnoval samotné viabilitě, popisu hibernovaného a omráčeného myokardu, vyšetřovacím protokolům a přípravě pacienta před vyšetřením.

Při výběru vhodných kazuistik do praktické části jsem se zaměřil na muže ve věku 50 až 75 let, kteří podstoupili vyšetření na posouzení viability. V první kazuistice jsem chtěl ukázat na případ, kdy pacient podstoupil klidovou perfuzní scintigrafii a v návaznosti samotnou viabilitu za použití ¹⁸FDG na přístroji PET/CT. Závěrem bylo zjištění, že jde o rozsáhlé poškození myokardu, nebude se tedy provádět revaskularizace a pacient se bude léčit konzervativním způsobem. Druhá kazuistika se týká muže, který podstoupil klidovou perfuzní scintigrafii myokardu a vyšetření na viabilitu myokardu na přístroji PET/CT. Vzhledem k závěrům se rozhodlo, že se provede revaskularizace, avšak jednalo se o neúspěšný pokus. V třetí kazuistice pacient podstoupil klidovou i zátěžovou perfuzní scintigrafii myokardu a také vyšetření na viabilitu za pomoci přístroje PET/CT. Závěry vyšetření byly indikací k provedení revaskularizace, která proběhla úspěšně. Čtvrtá kazuistika se týká muže po KPR, který podstoupil vyšetření na přístroji PET/MR. Vyšetření ukázalo na zcela minimální akumulaci radiofarmaka, a tak bylo rozhodnuto, že se neprovede revaskularizace. V páté kazuistice jsem psal o pacientovi, který podstoupil vyšetření na viabilitu pomocí přístroje PET/MR. Následně se dle závěrů rozhodlo o provedení revaskularizace a také o resekcii aneuryzmatu. V šesté kazuistice pacient s těžkou dysfunkcí LK podstoupil vyšetření na viabilitu myokardu na přístroji PET/MR a závěry byly zhodnoceny jako vhodné pro revaskularizaci.

Pomocí vybraných kazuistik jsem si odpověděl na výzkumnou otázku, která zněla, jak vyšetření na viabilitu ovlivňuje další léčebný postup. Další výzkumná otázka zněla, zda se vyskytuje v českém jazyce dostatečné množství odborné literatury popisující viabilitu myokardu. Myslím si, že se v českém jazyce vyskytuje dostatek literatury, avšak pro doplnění informací je potřeba hledat i v zahraničních zdrojích.

Co se týče zvolených cílů, prostudoval jsem odbornou literaturu, zhodnotil jsem závěry vyšetření a v praktické části jsem popsal způsob provedení vyšetření.

LITERATURA A PRAMENY

1. **Rokyta, Richard a Šťastný, František.** *STRUKTURA A FUNKCE LIDSKÉHO TĚLA.* Praha : TIGIS, spol s.r.o., 2002. 80-900130-2-3.
2. **Fiala, Pavel, Valenta, Jiří a Eberlová, Lada.** *Anatomie pro bakalářské studium ošetrovatelství.* Praha : Karolinum, 2004. ISBN 80-246-0804-9.
3. **Čihák, Radomír.** *Anatomie 3 2., upr. a dopl. vyd.* Praha : Grada, 2004. ISBN 80-247-1132-x.
4. **Fakan, František.** *PŘEHLED PATOLOGIE pro bakalářské zdravotnické obory.* Praha : Nakladatelství Karolinum, 2008. ISBN: 978-80-246-1054-2.
5. **Češka, Richard.** *Interna 1.vydání .* Praha : Stanislav Juhaňák - TRITON, 2012. ISBN: 978-80-7387-629-6.
6. **Hradec, Jaromír a Býma, Svatopluk.** *Ischemická choroba srdeční. Doporučený diagnostický a léčebný postup pro všeobecné praktické lékaře.* Praha : Společnost všeobecného lékařství - ČLS JEP c2009, 2009. 978-80-86998-36-7 .
7. **ŠPINAR, J., HRADEC, J., MÁLEK, I., et. al.** Doporučení pro diagnostiku a léčbu chronického srdečního selhání . *Vnitřní lékařství, 2012, roč. 58, č.1, s. 4-40.* 58, 2012, Sv. 1, ČKS.
8. **Malán, Alexander.** *Vybrané kapitoly z nukleární medicíny.* Plzeň : KC Solid spol. s.r.o., 2013.
9. **Lang O., Kamínek M., Trojanová H.** *Nukleární kardiologie .* Praha : Galén, 2008. ISBN 978-80-7262-481-2.
10. **Chaloupka V., Elbl L., a kol.** *Zátěžové metody v kardiologii .* Praha : Grada Publishing , 2003. ISBN 80-247-0327-0.
11. **Dilsizian, V., Arrighi, Ja., Diodati, Jg., et al.** Circulation. *Myocardial viability in patients with chronic coronary artery disease - Comparison of 99mTc-sestamibi with thallium reinjection .* 89, 1994.
12. Fludeoxyglukose (18F). *Wikipedia.* [Online] 5. únor 2016. [Citace: 13. březen 2016.] [https://en.wikipedia.org/wiki/Fludeoxyglucose_\(18F\)](https://en.wikipedia.org/wiki/Fludeoxyglucose_(18F)).

13. **Fikrle, A. a Kamínek, M.** Pozitronová emisní tomografie v kardiologii. *Kardiologické fórum*. 2008.
14. **Anagnostopoulos, C., a další.** Assessment of myocardial perfusion and viability by Positron Emission Tomography. *International Journal of Cardiology*. 2013.
15. **Vlček, Petr a kolektiv.** *PRAKTICKÁ CVIČENÍ Z NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY*. Praha : Karolinum, 2010. ISBN 978-80-246-1819-7.
16. **Kamínek, Milan, Metelková, Iva a Budíková, Miroslava.** Zobrazování myokardu pomocí SPECT a hybridního SPECT/CT a PET/CT vyšetření. *Intervenční a akutní kardiologie*. 11, 2012, Sv. 2, 2.
17. **Flotats, A., a další.** Hybrid cardiac imaging: SPECT/CT and PET/CT. *A point position statement by the European Association of Nuclear Medicine* . 2011.
18. **Votrubová, Jana et al.** *KLINICKÉ PET A PET/CT*. Praha : Galén, 2009. ISBN 978-80-7262-619-9.
19. **Kaufmann, Pa a Gaemperli, O.** Combining CT and nuclear: a winning hybrid team. *J Nucl Cardiol*. 16, 2009, Sv. 2, 2.
20. **Kajander, Sa, a další.** Cardiac positron emission tomography/computed tomography imaging accurately detects anatomically and functionally significant coronary artery disease. *Circulation*. Epub , 2010.
21. **Ferda, Jiří et al.** *INOVATIVNÍ ZOBRAZOVACÍ METODY*. Praha : Galén, 2015. ISBN 978-80-7492-186-5.
22. **Solař, M., Žižka, L. a Klzo, J.** Současné možnosti magnetické rezonance v kardiologii. *Vnitřní lékařství*. 54/2, 2008.
23. **Grovera, S., a další.** Evaluation of Myocardial Viability With Cardiac Magnetic Resonance Imaging. *Progress in cardiovascular disease*. 54, 2011.
24. **Kupka K., Kubinyi J., Šámal M. a kol.** *Nukleární medicína*. Praha : P3K, 2007. ISBN-10: 1405170395.
25. **Kamínek M., Lang O., Hušák V., Mysliveček M.,** *Atlas nukleární kardiologie*. Praha : Lacomed spol. s.r.o., 2003. ISBN 80-86781-00-3.

26. **Allman, K., a další.** *Myocardial viability testing and impact of revaskularization on prognosis in patients with coronary artery disease and left ventricular dysfunction.* místo neznámé : J Am Coll Cardiol, 2002. 39:1151-8.
27. **Včelák, Petr.** Studijní materiály. *Informatika a výpočetní technika.* [Online] 20. únor 2012. [Citace: 20. únor 2012.] <http://home.zcu.cz/~vcelak/fzs-materialy.php>.
28. **Schinkel, Af., a další.** Hibernating myocardium: diagnosis and patient outcomes. *Curr Probl Cardiol.* 1, 2007.

SEZNAM ZKRATEK

LDL – lowdensity lipoprotein (cholesterol v krvi)

ISCHS – ischemická choroba srdeční

ACS – akutní koronární syndrom

AIM – akutní infarkt myokardu

EKG – elektrokardiogram

PET – pozitronová emisní tomografie

1Bq – becquerel

MBq – megabecquerel

Ca prostaty – karcinom předstojné žlázy

keV – kiloelektronvolt

Tc – technecium

Tl – thallium

FDG – fluordeoxyglukóza

T1/2 – poločas přeměny

RTG – rentgen

SPECT – single photonemissioncomputedtomography

MIBI – methoxyisobutylisonitril

NaI(Tl) – natrium jodid aktivovaný thalliem

BGO - germaniová sůl bismutu

Ns – nanosekunda

Spol. – společnost

GE – generalelectric

^{153}Gd – gadolinium

CT – výpočetní tomografie

MR – magnetická resonance

CNS – centrální nervový systém

LKS – levá komora srdeční

i.v – intravenous

LK – levá komora

IM – infarkt myokardu

TID – tranzitorní ischemická dilatace

MK – mastná kyselina

OS – osobní anamnéza

RA – rodinná anamnéza

FA – farmakologická anamnéza

PA – pracovní anamnéza

SA – sociální anamnéza

NO – nynější onemocnění

ICD – implantablecardioverterdefibrillator

NYHA – New York HeartAssociation

PAD – peripheralarterialdisease (perorální antidiabetika)

CHOPN – chronická obstrukční plicní nemoc

ICHDK – ischemická choroba dolních končetin

CMP – centrální mozková příhoda

CABG – coronaryartery bypass graft (aorto koronární bypass)

SKG – selektivní koronarografie

PCI – perkutánní koronární intervence

MET – metabolický ekvivalent

DIP – dlouhodobá intenzivní péče

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1: Klinické formy ischemické choroby srdeční.....	16
---	----

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: Klidová perfuzní scintigrafie za použití ^{99m}Tc -MIBI ve srovnání s viabilitou myokardu s použitím ^{18}F FDG svědčí pro konkordantní poruchu perfuze a viability inferolaterálně.

Obrázek 2: Polární mapy informují o poruše perfuze a metabolismu v inferolaterální oblasti

Obrázek 3: Klidová perfuzní scintigrafie za použití ^{99m}Tc -MIBI ve srovnání s viabilitou myokardu za použití ^{18}F FDG udává informaci o defektech v apicoanteroseptální a inferolaterální oblasti.

Obrázek 4: Polární mapy znázorňují poruchu perfuze

Obrázek 5: Klidová perfuzní scintigrafie myokardu za použití ^{99m}Tc -MIBI znázorňuje poruchu perfuze v inferolaterální oblasti, která svědčí pro prodělanou myokardiální laesi LKS.

Obrázek 6: Zhoršená perfuze myokardu v inferiorní a inferolaterální oblasti s použitím ^{99m}Tc -MIBI detekovaném na přístroji SPECT/CT.

Obrázek 7: V oblasti jizvy je akumulace minimální

Obrázek 8: V oblasti se zachovalou kinetikou je akumulace FDG v normě

Obrázek 9: Subendokardiální postižení myokardu

Obrázek 10: Defekt akumulace FDG v apikální oblasti myokardu LK

Obrázek 11: V oblasti RIA nižší akumulace, než v laterální stěně LK

Obrázek 12: Výrazná akumulace na laterální stěně

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha č. 1: Obr. 1. Anatomie srdce

Příloha č. 2: Obr. 2. Anatomie srdce – transverzální řez

Příloha č. 3: Obr. 3. Aterosklerotický plát

Příloha č. 4: Obr. 4. Cyklotron

Příloha č. 5: Obr. 5. Jednohlavá SPECT kamera

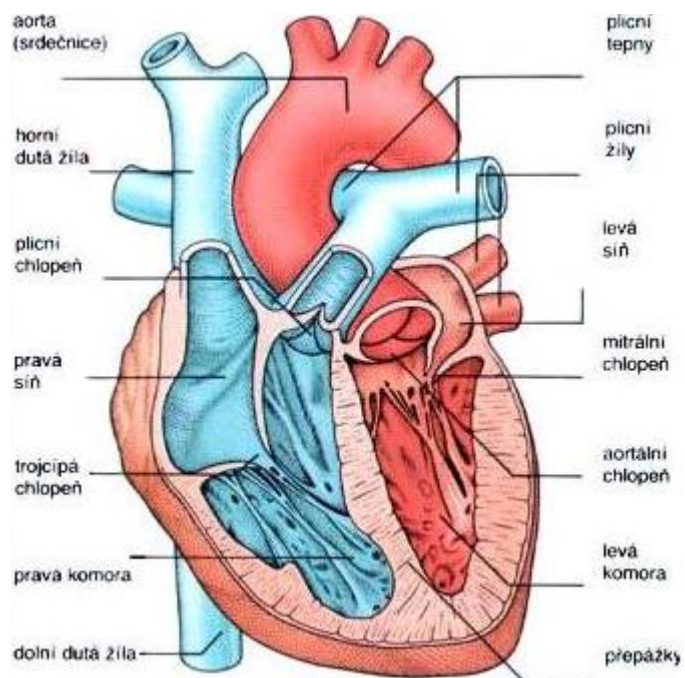
Příloha č. 6: Obr. 6. Hybridní SPECT/CT

Příloha č. 7: Obr. 7. Hybridní PET/CT

Příloha č. 8: Obr. 8. Hybridní PET/MR

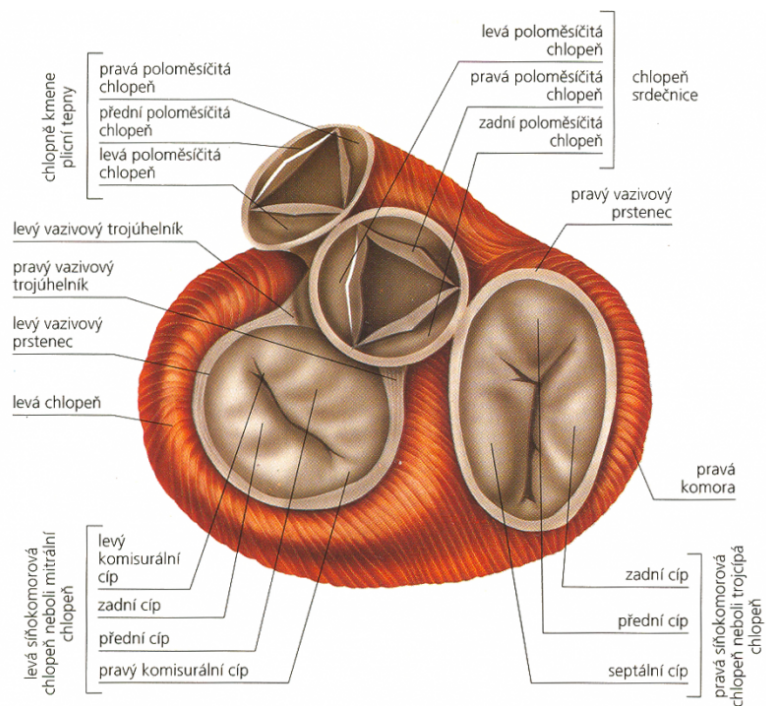
PŘÍLOHY

Příloha č. 1: Anatomie srdce



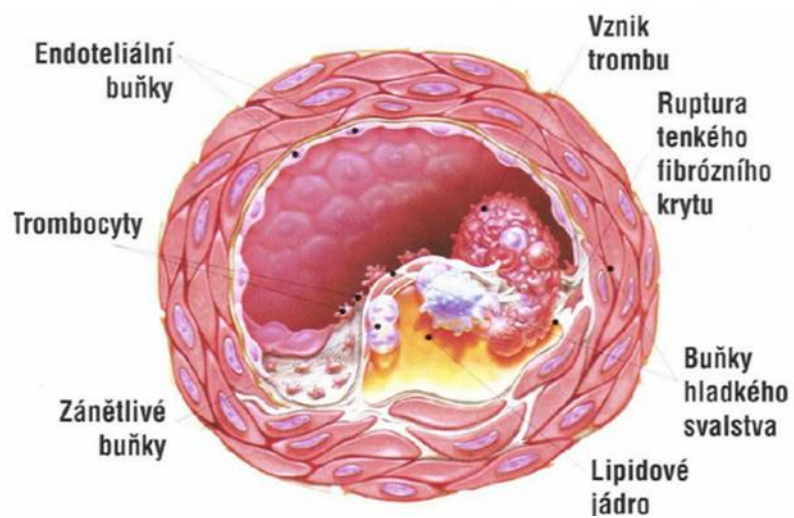
Zdroj: <http://dl1.cuni.cz/mod/page/view.php?id=190524>

Příloha č. 2: Anatomie srdce



Zdroj: <http://dl1.cuni.cz/mod/page/view.php?id=190524>

Příloha č. 3: Aterosklerotický plát



Zdroj: <http://int2.lf1.cuni.cz/pruvodce-pro-pacienty-pred-katetrizacnim-vysetrenim-srdce>

Příloha č. 4: Cyklotron



Zdroj: vlastní

Příloha č. 5: Jednohlavá SPECT kamera



Zdroj: vlastní

Příloha č. 6: Hybridní SPECT/CT



Zdroj: vlastní

Příloha č. 7: Hybridní PET/CT



Zdroj: vlastní

Příloha č. 6: Hybridní PET/MR



Zdroj: vlastní