

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2016

Tomáš Haltof

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Tomáš Haltof

## **Nukleární kardiologie**

Bakalářská práce

Vedoucí práce: prof. MUDr. Milan Kamínek Ph.D.

Olomouc 2016

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval samostatně a použil jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Olomouc 30. dubna 2016

-----

Podpis

## Poděkování

Děkuji prof. MUDr. Milanu Kamínkovi Ph.D. za odborné vedení bakalářské práce, za poskytnutí obrazové dokumentace a za připomínky při její tvorbě.

## **ANOTACE BAKALÁŘSKÉ PRÁCE**

**Název práce v ČJ:** Nukleární kardiologie

**Název práce v AJ:** Nuclear cardiology

**Datum zadání:** 2015-09-20

**Datum odevzdání:**

**Vysoká škola, fakulta, ústav:** Univerzita Palackého v Olomouci  
Fakulta zdravotnických věd  
Ústav radiologických metod

**Autor práce:** Haltof Tomáš

**Vedoucí práce:** prof. MUDr. Milan Kamínek Ph.D.

**Oponent práce:** MUDr. Iva Metelková, Ph.D.

**Abstrakt v ČJ:**

Bakalářská práce se zaměřuje na souhrn nejnovějších poznatků v nukleární kardiologii. Její největší část je věnována SPECT myokardu, která je nejčastěji prováděnou metodou v nukleární kardiologii. Část práce se také zabývá radiační ochranou, která je důležitá v prevenci proti ozáření jak pacienta, tak i zdravotnického personálu. Cílem práce je sumarizace nejnovějších poznatků v oboru nukleární kardiologie a především u SPECT myokardu.

**Abstrakt v AJ:**

This bachelor thesis focuses on the summary of the latest developments in nuclear cardiology. The largest part is devoted myocardial SPECT, which is the most commonly performed method in nuclear cardiology. Part of the work is also concerned to radiation protection, which is important in preventing exposure the patient and medical staff. The aim is summarize the latest knowledge in the field of nuclear cardiology and especially in myocardial SPECT.

**Klíčová slova v ČJ:** SPECT myokardu, radiofarmaka, viabilita myokardu, zátěžové testy

**Klíčová slova v AJ:** myocardial SPECT, radiopharmaceuticals, myocardial viability, stress tests

Rozsah práce: 40 stran

## Obsah

Úvod .....	8
1 Úvod do problematiky .....	11
2 Princip SPECT.....	12
3 Provedení vyšetření .....	14
SPECT myokardu .....	14
Indikace.....	14
Informace a příprava pacienta.....	15
Radiofarmaka .....	16
Zátěžové testy .....	19
Farmakologická zátěž .....	20
Vyšetřovací protokoly.....	22
Protokoly k průkazu viability myokardu .....	24
Gated SPECT .....	26
Obrazové artefakty.....	29
Interpretace výsledků .....	30
4 Radiační ochrana .....	35
Závěr.....	38
Referenční seznam.....	39

# Úvod

Ve vyspělých zemích patří kardiovaskulární onemocnění k nejčastějším příčinám nemocnosti a úmrtnosti obyvatelstva. Tomu také odpovídá stupeň rozvoje kardiologie se všemi léčebnými možnostmi, jejichž cílem je tento nepříznivý stav zvrátit. V posledních letech dochází k velkému rozvoji zejména neinvazivních zobrazovacích metod. Mezi jednu z neinvazivních vyšetřovacích metod patří SPECT myokardu, který se provádí v rámci klinik nukleární medicíny.

Bakalářská práce se zabývá shrnutím nejnovějších poznatků v oboru nukleární kardiologie a především SPECT myokardu, který patří k nejčastěji prováděným vyšetřením v rámci nukleární kardiologie. Popisuje všechny části SPECT myokardu od informací a přípravy pacienta až po interpretaci výsledků vyšetření. Mezi tyto části se řadí nejnovější informace o aplikovaných radiofarmacích, provádějí vyšetření, jak zátěžového tak i klidového a v neposlední řadě i souhrn informací o protokolech sloužící k průkazu viability myokardu. Část práce se věnuje i radiační ochraně, která hraje důležitou roli v praktickém provádění vyšetření.

Tato práce je zaměřena na SPECT myokardu v rámci nukleární kardiologie. Odpovídá na otázky:

- Co to je SPECT myokardu?
- Jak se SPECT myokardu provádí?

Mezi cíle práce patří:

- Dohledat dostupné poznatky o SPECT myokardu
- Předložit dohledané poznatky o radiační ochraně v nukleární medicíně

Přehled dohledaných informací a poznatků o nukleární kardiologie, zvláště o SPECT myokardu, jsem vypracoval na základě provedení rešerše odborných článků. Při jejich zpracovávání jsem využil databáze Medvik, Medline, Scholar google a další internetové zdroje. Podstatnou část informací, které byly použity pro bakalářskou práci, jsem našel v odborných publikacích.

Při provádění rešeršní činnosti byla použita klíčová slova: SPECT myokardu, radiofarmaka, zátěžové testy a gated SPECT. Byly nalezeny stovky článků, z nich jsem



prostudoval zhruba 30 a použil 10. Rovněž jsem využil služeb knihovny Fakulty zdravotnických věd, Lékařské knihovny a Vědecké knihovny.

K napsání bakalářské práce byla použita tato vstupní literatura:

HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.

KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6.

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL, et al. *Nukleární medicína*. 1. vydání. vydavatel, 2007. 185 s. ISBN 978-80-903584-9-2

LANG, Otto, Milan KAMÍNEK a Helena TROJANOVÁ. *Nukleární kardiologie*. 1. vyd. Praha: Galén, 2007. 130 s. ISBN 978-80-7262-481-2.

## Seznam zkratk

CT- computed tomography (počítačová tomografie)

CTZ- Cadmium zinek telluridová kamera

DRL- diagnostické referenční úrovně

EF- ejekční frakce

EKG- elektrokardiograf

FDG- fluordeoxyglukóza

ICHS- ischemická choroba srdeční

LK- levá komora

MIBG- metaiodobenzylguanidin

MIBI, SESTAMIBI- methoxyisobutyl-isonitril

PET- pozitronová emisní tomografie

SPECT- jednofotonová emisní tomografie

SRS- summed rest score

SSS- summed stress score

# 1 Úvod do problematiky

Nukleární kardiologie se zabývá radionuklidovým vyšetřením kardiovaskulárního systému. Metody nukleární kardiologie poskytují neinvazivním způsobem funkční informace, kterou jsou komplementární informacím morfologickým, získaných invazivním vyšetřením, zejména pomocí koronarografie. (Koranda, 2014, s. 61)

V klinické kardiologii nejčastěji používáme zobrazení myokardiální funkce a perfúze. Pomocí jednofotonové emisní tomografie (dále SPECT) se zobrazuje funkce a perfúze levé komory za klidových podmínek, tak i při zátěži. Provádí se u pacientů s předpokládanou či známou ischemickou chorobou srdeční (ICHS). (Koranda, 2014, s. 61). Pro samotné posouzení funkce levé komory, zejména pak přesné změření její ejekční frakce, lze použít radionuklidovou ventrikulografii. Tato metoda je nejčastěji používána u klinických studií posuzujících kardiotoxický účinek chemoterapie (Kupka, 2007, s. 84).

Mezi další metody vyšetření nukleární kardiologie patří radionuklidová angiografie. Pomocí této metody můžeme hodnotit, během prvního průtoku, sekvenci plnění srdečních dutin, detekovat a kvantifikovat nitrosrdeční zkraty. (Koranda, 2014, s. 61). Jako další metoda se provádí zobrazování glukózového metabolismu, kdy pomocí pozitronové emisní tomografie (PET) lze po aplikaci  $^{18}\text{F}$  značená fluorodeoxyglukózy (FDG) zobrazit metabolismus glukózy. Tato metoda se používá k detekci viabilního myokardu. (Koranda, 2014, s. 61). FDG je také využívána při zobrazování zánětů a infektů, např. u pacientů s infekční endokarditidou nebo srdeční sarkoidózou (Mc Ardle BA, at al, 2013, s. 297-306).

Další metoda, která se řadí mezi vyšetření v nukleární kardiologii, je vyšetření adrenergní inervace. K tomuto vyšetření se používá analog noradrenalinu metaiodobenzylguanidin (MIBG) označený  $^{123}\text{I}$ , který je vychytáván v adrenergním systému. Vyšetření je významné u srdečního selhání, maligní arytmie, kardiomyopatie a srdečních transplantací (Štejska, 2007, s. 156).

Tato bakalářská práce se zaměří na zobrazování myokardiální funkce a perfúze, což je nejčastěji prováděná metoda.

## 2 Princip SPECT (z angl. single-photon emission computed tomography)

Pro scintigrafické vyšetřování, tzn. zobrazování distribuce radiofarmaka v těle, se používá scintilační kamera (gamakamera), která se skládá z detektorů a počítače – vyhodnocovacího zařízení. Detektor gamakamery se skládá ze scintilačního krystalu, kolimátoru a systému fotonásobičů (Koranda, 2014, s. 27).

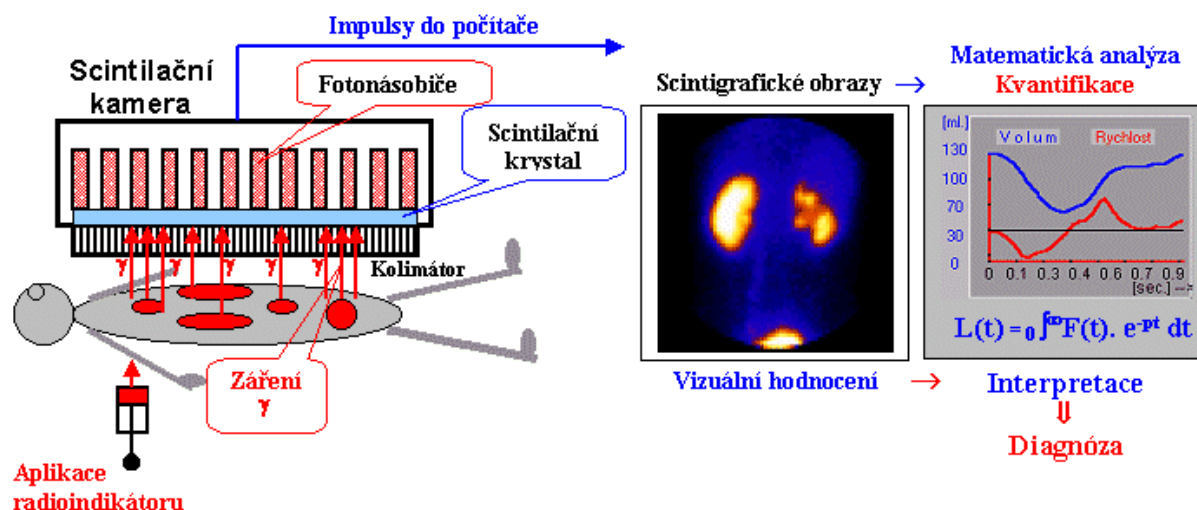
Scintilačním krystalem je jodid sodný aktivovaný thaliem- NaI(Tl), nejčastěji obdélníkového tvaru o rozměrech přibližně 40-50 centimetrů. Za krystalem je umístěno zhruba 60-65 fotonásobičů opticky spojených ke krystalu světlovodivou hmotou. Hmota usnadňuje přestup světla ze záblesků scintilací v krystalu na fotokatodu fotonásobiče a zabraňuje lomu světla na různých optických rozhraních. Jestliže foton záření gama vyvolá v krystalu scintilaci, světlo se v krystalu šíří všemi směry. Nejvíce světla se dostane do fotonásobiče, který je nad místem interakce fotonu s krystalem. Na základě vyhodnocení vstupních signálů všech fotonásobičů v elektronickém polohovém obvodu získáme informaci o místě vzniku scintilace v krystalu. Pokud známe směr, odkud fotony přiletly, můžeme určit místo v těle pacienta, odkud byly fotony emitovány (Koranda, 2014, s. 27).

Vedle toho se impulzy ze všech fotonásobičů vedou na sumační obvod, čím se získá informace o energii fotonového záření, které vyvolalo záblesk. K vytvoření obrazu se použijí pouze scintilace vzniklé interakcí fotonů, jejíž energie odpovídá energii záření sledovaného radionuklidu. (Koranda, 2014, s. 27). Při všech vyšetřováních se okno analyzátoru scintilačního spektra nastavuje podle fotopíku použitého radionuklidu (Jirásková, 2015, s. 18).

Pokud foton emitovaný z pacientova těla dolétne ke scintilaci, musí projít přes kolimátor, který funguje jako filtr, jenž propouští pouze fotony letící v žádoucím směru. U scintilačních kamer pro planární a tomografickou scintigrafii se používají různé typy kolimátorů, vyrobené z olova. Kolimátory se rozlišují podle energie záření gama aplikovaného při vyšetření, podle rozlišovací schopnosti a citlivosti (Koranda, 2014, s. 27).

SPECT je metoda, kdy po podání radioaktivní látky (intravenózně, perorálně nebo inhalací) získáme informace o funkci tkáně. Radiofarmakum se usazuje v místech zvýšeného metabolismu tkání (Saidl, 2012, s. 71). Radiofarmakum vyzařuje fotony gama záření, které zachycuje detektor, který je stejný jako u kamery pro planární scintigrafii (Koranda, 2014, s. 29).

Většinou zaznamenáváme 120 projekcí na 360° rotaci. To znamená, pokud je záznam prováděn na dvoudetektorové kameře, pak stačí, aby se každý detektor otočil o 180° a zaznamenal projekci po 3°. Počítačovým zpracováním pak získáme 2D obraz. Nevýhodou této modalit je anatomická nepřesnost lokalizací nalezených lézí. Mezi další nevýhody patří horší rozlišovací schopnost ve srovnání s planárním zobrazováním. Asi o jeden řád vyšší šum ve srovnání s planárním zobrazováním patří mezi další nevýhodu, avšak v důsledku vyššího kontrastu v porovnání s planárním zobrazováním podstatně převyšuje tyto zmíněné nevýhody (Koranda, 2014, s. 30). Tyto nevýhody obou modalit (radiodiagnostiky a nukleární medicíny) odstraňují hybridní systémy, např. (SPECT/CT). Obvykle podle nálezu na scintigrafii doplňujeme cíleně SPECT a CT (computed tomography) vyšetření dané oblasti, kdy CT zobrazí anatomickou strukturu, a následně dojde k počítačové fúzi obrazů. (Saidl, 2012, s. 71)



Obrázek č. 1: Schématické znázornění procesu scintigrafického vyšetření (Ullmann, dostupné z <http://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>)

## 3 Provedení vyšetření

### SPECT myokardu

V současné době se jedná o jednoznačně nejčastěji používanou metodu nukleární kardiologie, v USA každý rok postoupí tento test přibližně 10 miliónů pacientů. Je to zároveň nejdostupnější a nejpoužívanější neinvazivní metoda vhodná k posuzování regionální perfúze a funkce myokardu. Vyšetření se používá obvykle ve spojení se zátěžovým testem, lze provádět i samostatné klidové vyšetření k zjištění viability myokardu. (Lang at al., 2008, s. 68)

### PET myokardu

PET má vyšší rozlišení a některé práce uvádějí, že má pro detekci ICHS ve srovnání se SPECT lehce vyšší senzitivitu a specificitu více jak 90 %. Rozsáhlejší studie, které přímo porovnávají obě technologie na stejných pacientech, však chybí a není zřejmé, že by toto mírné zlepšení ospravedlnilo mnohonásobně vyšší cenu a že by PET měl v rutinním provozu plošně nahradit SPECT. Obvykle se soudí, že PET je výhodnější jen u těžce obézních a u pacientů s vyšší pravděpodobností nemoci více tepen. Hlavní výhoda PET spočívá v možnosti absolutně kvantifikovat rezervu koronárního průtoku (v ml/g/ min.) v situacích, kde by posouzení regionální perfúze konvenčním SPECT mohlo selhat (Kamínek, Metelková, Budíková, 2012, s. 68-74).

### Indikace

S rozvojem kardiologie v posledních letech dochází také k vývoji v radionuklidovém zobrazování myokardu, zejména u zátěžové jednofotonové emisní výpočetní tomografie (SPECT). Tento vývoj se dotýká nejen samotné techniky zobrazování myokardiální perfúze a funkce (metoda gated SPECT) (Lang at al., 2008, s. 68).

Do popředí se dostává zejména problematika ischemické choroby srdeční (ICHS). SPECT myokardu hraje důležitou roli v diagnostice ICHS, v současné době stále však více nabývá na významu posuzování prognózy u pacientů s již prokázanou ICHS a detekce ischemie u vybraných pacientů po koronární revaskularizaci. U pacientů s dysfunkcí levé komory s nízkou ejekční frakcí pod 40 % má vedle průkazu ischemie význam i zjišťování viability myokardu (Lang at al., 2008, s. 68).

Mezi další indikace ke SPECT myokardu patří detekce, lokalizace, rozsah a závažnost myokardiální ischemie. K indikacím vyšetření patří také stratifikace rizika, posouzení závažnosti stenózy zjištěné při koronarografii. Jednou z indikací je zhodnocení efektu angioplastiky nebo bypassu s návratem symptomů nebo s pozitivní zátěžovým EKG. K indikacím řadíme také zjištění viability myokardu u pacientů s poškozením levé komory u plánování revaskularizace (Koranda, 2014, s. 75).

Při posuzování prognózy u pacientů s pravděpodobnou nebo prokázanou ISCH má SPECT myokardu význam při vyhledávání rizikových pacientů. Za další závažné nálezy, kdy je vysoká možnost rizika považujeme defekty postihující více koronárních povodí a rozsáhlý reverzibilní nebo fixní defekt (více jak 10% myokardu). Mezi další nálezy patří pozátěžové zhoršení kinetiky stěn nebo ejekční frakce (Koranda, 2014, s. 75).

## **Informace a příprava pacienta**

Písemné informace o vyšetření by měly být poskytovány pacientům nebo jejich příbuzným. Ústní informace, například o aplikované aktivitě, délce a provedení vyšetření by měly být poskytovány v den vyšetření. Variace podávaných informací bude záviset na místních tradicích a předpisech (Verbene at. al., 2015, s. 9)

Obecné informace o vyšetření, které mají být předány, musí být uvedeny pro pacienta ve srozumitelném jazyce. Mezi tyto informace patří:

- Co je účelem vyšetření
- Příprava před vyšetřením, vysazení léků, které by mohly zkreslit výsledek testu, vysazení kofeinu atd.
- Informace o možných nežádoucích účincích léku a možných alergických reakcích
- Informace o výsledcích testu: kdy a komu bude zpráva zaslána

### **Omezení jídla a medikace před vyšetřením**

Obecně je potřeba se vyhnout těžkým jídlům před zátěžovým testem. Před vyšetřením je potřeba vysadit léky, které by mohly ovlivnit výsledky testu, respektive výsledky zátěžového testu (antianginozní léky, léky obsahující dipiridamol). Pacienti by se měli zdržet nadměrné konzumace kofeinu (Verbene at. al., 2015, s. 9).

Těhotenství a laktace

Zdravotnický personál je povinen získat informace o možném těhotenství, či laktaci, předtím než je pacientce podána radioaktivní látka (Verbene at. al., 2015, s. 9).

## **Radiofarmaka**

Perfúzní scintigrafie myokardu zobrazuje relativní distribuci krevního průtoku srdečním svalem. Ta je za normálních okolností prakticky homogenní, pokud není přítomen předchozí defekt. Pokud je přítomno zúžení průsvitu cévy, to znamená, že nerovnoměrnost krevního průtoku odpovídá anatomické lokalizaci zúžení věnčité tepny s jednak celkovému stupni zúžení a také přítomnému tlakovému spádu v tomto povodí. Proto perfúzní scintigrafie myokardu nezobrazí pouze přítomnost ischemické choroby srdeční, ale taky její rozsah a závažnost (Lang at al., 2008, s. 14).

Ideální indikátor průtoku krve koronární tepnou musí být extrahován z krve buňkami srdečního svalu se 100% účinností. Jeho akumulace v myokardu musí být přímo úměrná velikosti koronárního průtoku a radiofarmakum musí mít optimální emitovanou energii pro zobrazení gamakamerou. Nejčastěji se používá  $^{201}\text{Tl}$  ve formě chloridu a  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  značená radiofarmaka (Lang at al., 2008, s. 14).

$^{201}\text{Tl}$  – chlorid thalnatý byl první radionuklid široce používaný pro zjištění myokardiální perfúze. Rozpadá se formou elektronového záchytu s poločasem rozpadu 73 hodin. Při rozpadu emituje fotony záření gama o energiích 135 a 157 keV a paprsky záření X o energiích 67-82 keV. Po i.v. aplikaci se 88% radiofarmaka vylučuje z krve po prvním oběhu. Pouze 4% radioaktivní látky je vychytáno v myokardu, kde slouží k posouzení regionální perfúze a viability myokardu (Verbene at. al., 2015, s. 12). V organismu se chová jako analog draslíku, má také obdobné vlastnosti, jako tento prvek. Vstup thalia do myocytu se děje přes buněčnou membránu především aktivním procesem (Na/K adenosin trifosfátovým systémem) a částečně taky pasivní difuzí (Koranda, 2014, s. 62).

Kinetika thalia dovozuje jeho použití při zátěžových perfúzních vyšetřeních, kde je radioaktivní thalium aplikováno na vrcholu zátěže. Scintigramy provedené ihned po fyzické zátěži podají informaci o regionální myokardiální perfúzi, jaká byla na vrcholu fyzické zátěže. Později provedené scintigramy ve fázi redistribuce, za 3-4 hodiny po podání, odpovídají klidové distribuci myokardu (Koranda, 2014, s. 62).



Defekt perfúze, který se objeví na časném zobrazení po zátěži, ale na pozdním klidovém zobrazení se normalizuje (reverzibilní defekt) svědčí pro ischemii myokardu. Defekt zobrazený po zátěžovém a klidovém vyšetření (fixní defekt) pak svědčí pravděpodobně pro jizvu myokardu po prodělaném myokardu (Koranda, 2014, s. 62).

Přestože  $^{201}\text{Tl}$  je dobrý pomocník pro zobrazení myokardiální perfúze, má také své limitace, mezi které patří:

- Poměrně dlouhý fyzikální poločas rozpadu, s tím také souvisí vysoká radiační zátěž pro pacienta
- Emise relativně nízkých energií, tzn. snímky s nízkým rozlišením a s tím související rozptyl a absorpce v tkáních (Verbene at. al., 2015, s. 12)

Mezi výhody patří pouze jediná aplikace radiofarmaka, po které získáme obraz regionální perfúze myokardu v zátěži a v klidu (Koranda, 2014, s. 62).

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ - značená radiofarmaka

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ - semistamibi je perfúzní radiofarmakum, které se začalo vyrábět v USA v roce 1990 (Daniel, 1990, s. 681).  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - methoxyisobutyl- isonitril (sestamibi, MIBI) se mechanismem koncentrace i kinetikou zásadně odlišuje od  $^{201}\text{Tl}$ . Jedná se lipofilní kationt, který se pasivním transportem dostává do myokardiální buňky, kde váže v mitochondriích. Distribuce MIBI v srdeční svalovině je závislá regionálním koronárním průtokem v době aplikace, redistribuce je pak nižší než minimální. K porovnání zátěžové a klidové perfúzi myokardu musíme MIBI aplikovat dvakrát, tzn. na vrcholu zátěže a poté v klidu (Koranda, 2014, s. 63).

Podobně jako  $^{201}\text{Tl}$  i  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - MIBI podhodnocuje velikost krevního průtoku při patologicky významně snížené i zvýšené perfúzi. Nekrotické změny myocytů mají za následek pokles akumulace radiofarmaka. Naproti tomu omráčení myokardu nemá vliv na jeho akumulaci, pokud je podáno v době reperfúze. Jeho chování se stejně i v hybernujícím myokardu, kde je jeho akumulace úměrná zbytkovému krevnímu průtokem (Lang at al., 2008, s. 68).

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ - tetrofosmin má podobnou farmakokinetiku a vlastnosti jako MIBI. Jeho hepatobiliární clearance je rychlejší, zkracuje tak čas mezi podáním a záznamem dat. Při vyšetřování pacientů se používá stejně jako  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - MIBI. Jedná se o lipofilní látku, která

snadno přechází přes membránu myocytů. Není zadržován intracelulárně a z buněk opět uniká, jako je tomu u  $^{201}\text{Tl}$ . Vzhledem ke krátkému časovému oknu pro nahrávání dat, se v praxi jeho používání neujalo (Lang at al., 2008, s. 68).

Biologická distribuce  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - sestamibi je z krve rychle distribuován do tkáně. Asi za 5 minut po injekci zbývá v oběhu pouze asi 8 % podané dávky. U fyziologické distribuce lze pozorovat zjevnou koncentraci  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ - sestamibi in vivo v několika orgánech. Normální resorpce radiofarmaka je evidentní ve slinných žlázách, štítné žláze, myokardu, játrech, žlučníku, v tenkém a tlustém střevě, ledvinách, močovém měchýři, choroidním plexu a kosterních svalech a zřídka v bradavkách. Může být přítomna nepatrná homogenní resorpce v prsu nebo v podpaží (SÚKL).

K eliminaci  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  sestamibi dochází většinou v ledvinách a hepatobiliárním systému. Aktivita technecia  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  sestamibi ze žlučníku se objeví ve střevě do jedné hodiny po podání (SÚKL). Obsah radiofarmaka ve střevě se může někdy překrývat s radioaktivitou v myokardu a znesnadnit interpretaci nálezu (Lang at al., 2008, s. 68). Asi 27 % podané dávky se vyloučí renální eliminací do 24 hodin a přibližně 33 % podané dávky se vyloučí stolicí do 48 hodin. U pacientů s poruchou funkce ledvin nebo jater nebyla farmakokinetika charakterizována (SÚKL).

Radiofarmakum  $^{18}\text{F}$ -FDG (fluoro-2.deoxy-D-glukóza)

Navazuje na zátěžové metody ve scintigrafii myokardu nebo klidovému zobrazení perfúze. Tato metoda má vysokou senzitivitu pro detekci životaschopného myokardu. Viabilita se především hodnotí před vaskularizační operací.  $^{18}\text{F}$ -FDG je analog glukózy, který vstupuje do buněk, jež aktivně metabolizují glukózu, kde se hromadí (mozek, myokard) a kde lze nahromaděné radiofarmakum detekovat (Vškolková, 2014, s. 22). Po vstupu do buňky je fluorodeoxyglukóza metabolizována na FDG-6-fosfát, který však nevstupuje do další metabolické přeměny a hromadí se intracelulárně po dobu 40-60 minut. Intracelulárně zůstává dlouhou dobu, takže je vhodná pro zobrazení. Optimální doba pro zobrazování je jedna hodina po aplikaci. Delší doba (2-3) hodiny vedle k lepšímu poměru aktivity v myokardu a ve tkáňovém pozadí, ale má za následek pokles toku fotonů, zejména díky krátkému poločasu rozpadu  $^{18}\text{F}$  (110 minut) a tím zhoršení kvality obrazů nebo nutnost časově delšího záznamu (Lang at al., 2008, s. 18).

## **Zátěžové testy**

U zobrazování myokardiální perfúze používáme různé typy zátěže ke zjištění rezervy koronárního průtoku. Většina pacientů s ischemickou chorobou srdeční (ICHS) má obvykle normální průtok zúženými koronárními tepnami, pokud se nejedná o kritické stenózy. Klidová perfúze je dostatečná k udržení normální funkce myokardu (Koranda, 2014, s. 63).

Ke zjištění rezervy koronárního průtoku používáme cyklistické ergometry nebo běžecké pásy. Máme několik přednastavených protokolů, které se liší v odporu ergometru při šlapání (Verbene at. al., 2015, s. 25). Začínáme obvykle se zátěží 25-50 W a postupně ji zvyšujeme podle výkonnosti pacienta (Koranda, 2014, s. 65). Zátěž u běžeckého pásu můžeme regulovat rychlostí a sklonem pásu. Vlivem fyzické zátěže dochází k nepřímé vazodilataci a nárůstu spotřeby kyslíku myokardem. Cílem testování je maximální zvýšení spotřeby kyslíku myokardem a s tím související zvýšení perfúze myokardu (Verbene at. al., 2015, s. 25).

Při každé fázi cvičení je zaznamenáván krevní tlak, EKG a srdeční frekvence. Pacient je průběžně kontrolován při přechodných poruchách rytmu, změnách ST úseku i jiných poruchách rytmu patrných na křivce EKG. K pořízení EKG záznamu používáme EKG o dvanácti svodech (Verbene at. al., 2015, s. 25).

Radiofarmakum se podává na vrcholu fyzické zátěže. Symptomy, které limitují zátěž, mohou být např. výrazná dušnost, komorové arytmie, EKG změny ST úseku. Pokud se tyto symptomy objeví, aplikujeme radiofarmakum a dále v zátěži nepokračujeme. Radiofarmakum optimálně podáváme při překročení 85 % maxima tepové frekvence. Poté ještě pokračujeme se zátěží zhruba 90 vteřin (Koranda, 2014, s. 65).

Kontraindikacemi prováděných zátěžových testů je akutní koronární syndrom (projev ischemické choroby srdeční), akutní plicní embolie, nekontrolovaná arteriální hypertenze nebo závažná aortální stenóza. Někteří pacienti nejsou schopni fyzickou zátěž podstoupit vůbec. Mezi příčiny nedostatečné intenzity zátěže patří např. ortopedické problémy, bolesti páteře, diabetická neuropatie, vyšší věk či výskyt klaudikací při ischemické chorobě dolních končetin. U pacientů s tímto omezením je vhodné provést farmakologickou zátěž (Koranda, 2014, s. 65).

## Farmakologická zátěž

Nejčastěji se používají látky s přímým vazodilatačním účinkem, mezi které se řadí dipiridamol, adenosin nebo regadenoson a látky adregenní s pozitivním inotropním (zvýšením síly stahu myokardu) a chronotropním účinkem (ovlivnění srdeční frekvence). (Koranda, 2014, s. 65).

### Dipyridamol

Dipyridamol inhibuje vychytávání adenosinu v erytrocytech, krevních destičkách a endoteliálních buňkách za podmínek in vivo i in vitro. Inhibice dosahuje v maximu přibližně 80 % a její intenzita je při terapeutických koncentracích (0,5 - 2,0 µg/ml) závislá na podané dávce (SÚKL). Následně dochází lokálně ke zvýšení koncentrace adenosinu v oběhu a vazodilataci. Průtok řečištěm se zvýší zhruba 4x (Koranda, 2014, s. 66).

Pacienti by neměli více jak 12 hodin před samotným vyšetřením užít látky, které obsahují kofein a jiné methyl-xantinové deriváty, jenž blokují adenosinový receptor. Podobně jako u zátěže na bicyklového ergometru je nutné sledovat krevní tlak a EKG (Koranda, 2014, s. 66).

Dipyridamol se aplikuje v nitrožilní infuzi, která trvá 4 minuty v dávce 0,56mg/kg hmotnosti. Fyzická zátěž za současného podávání Dipyridamolu je možná a pacienty dobře akceptovatelná, ale nevede již k dalšímu rozšíření koronárního řečiště. Důvodem kombinace farmaka a zátěže je snížení frekvence nežádoucích účinků (Koranda, 2014, s. 66).

### Regadenoson

Rapiscan (obchodní název léku, kde je regadenoson účinnou látkou) je selektivní koronární vazodilatátor pro použití jako farmakologická zátěžová látka pro radionuklidovou perfuzní scintigrafii myokardu u dospělých pacientů, kteří nejsou schopni podstoupit adekvátní fyzickou zátěž (SÚKL).

Doporučená dávka je jedna injekce o 400 mikrogramech regadenosonu (5 ml) do periferní žíly, bez nutnosti úpravy dávkování podle tělesné hmotnosti. Regadenoson způsobuje rychlé zvýšení srdečního tepu. Pacienti musí zůstat sedět nebo ležet a musí se sledovat v častých intervalech po podání injekce až do doby, kdy se parametry EKG, srdeční tep a krevní tlak vrátí zpět na hodnoty před podáním dávky (SÚKL).

Nežádoucí účinky u většiny pacientů léčených přípravkem Rapiscan v klinických studiích byly mírné, přechodné povahy (obvykle odezněly během 30 minut po podání přípravku Rapiscan) a nevyžadovaly zásah lékaře. Nežádoucí účinky se objevily u asi 80% pacientů. Nejčastěji hlášené nežádoucí účinky během klinických studií u celkem 1 651 pacientů/dobrovolníků byly: dyspnoe (obtížné dýchání) u 29%, bolest hlavy (27%), zarudnutí (23%), bolest na hrudi (19%), změny ST úseků v elektrokardiogramu (18%), gastrointestinální diskomfort (15%) a závratě (11%) (SÚKL).

### Kontraindikace

- Hypersenzitivita na léčivou látku nebo na kteroukoli pomocnou látku
- Atrioventrikulární (AV) blokáda druhého nebo třetího stupně nebo dysfunkce sinusového uzlu, pokud nemají tito pacienti funkční umělý kardiostimulátor
- Nestabilní angína, která nebyla stabilizovaná medikamentózní terapií
- Závažná hypotenze
- Dekompenzované srdeční selhání (SÚKL)

### Dobutamin

Dobutamin je syntetický sympatomimetický amin, který je strukturou příbuzný dopaminu. Přímý pozitivně inotropní účinek se vysvětluje agonistickým účinkem na srdeční beta1 i na alfa1 receptory. Prostřednictvím periferní vasodilatace působí také nepřímo chronotropně (SÚKL).

#### Účinky Dobutaminu:

- vzestup srdeční kontraktility se zvýšením tepového objemu a srdečního výdeje
- agonistický účinek na periferní beta2 -receptory a v menší míře i na alfa2 -receptory z toho vyplývají pozitivně chronotropní účinky na periferní cévy, které jsou však méně významné než u jiných katecholaminů
- hemodynamické účinky závisí na dávce: srdeční výdej vzrůstá hlavně jako důsledek vzestupu tepového objemu; zrychlení srdeční frekvence nastává zvláště při vyšších dávkách; plicní tlak v levé komoře a systémový cévní odpor klesají a při vysokých dávkách klesá i cévní odpor v plicích (SÚKL)

Během testu se monitoruje krevní tlak, srdeční tep a EKG. Radiofarmakum se podává 1-2 minuty před ukončením protokolu. K blokování vedlejších účinků se používá metoprolol. Mezi kontraindikace podávání Dobutaminu patří fibrilace síní, hypertrofická kardiomyopatie či závažná hypertenze (Koranda, 2014, s. 66).

## **Vyšetřovací protokoly**

Volba radiofarmaka a vyšetřovacího protokolu ovlivňuje management celého zátěžového testu, včetně radiační zátěže pro pacienty a personál, zvláště pak ekonomiku pracoviště. Pro zátěžové zobrazení perfúze myokardu je v současné době dostupná pestrá škála vyšetřovacích protokolů. Jednotlivé protokoly mají určité nevýhody a výhody. Zvolený způsob provedení vyšetření záleží na místních zvyklostech, na velikosti daného pracoviště a taky na spektru vyšetřovaných pacientů (Lang at al., 2008, s. 61).

### Zátěžové protokoly s $^{201}\text{Tl}$ thaliem

$^{201}\text{Tl}$  (Thalium ( $^{201}\text{Tl}$ )) zůstává pro své farmakokinetické vlastnosti s vysokou extrakční frakcí a následnou redistribucí i nadále perfúzním radiofarmakem s velmi dobrou detekcí ICHS, tak i pro posouzení viability myokardu. Po aplikaci radiofarmaka na vrcholu zátěže, za 5-10 minut, následuje zobrazení SPECT. Vzhledem k redistribuci je nutné ukončit snímání dat do 30 minut od podání radiofarmaka. Klidové vyšetření SPECT následuje za 3-4 hodiny po zátěži, resp. po podání radiofarmaka. Mezi jistou nevýhodu  $^{201}\text{Tl}$  patří to, že se jedná o cyklotronový produkt a je nutné zajistit jeho dovoz z výrobního centra. (Lang at al., 2008, s. 61). Velkou výhodou thallia je však vysoká extrakční frakce a vynikající kvalita obrazů nerušená extrakardiální aktivitou. Díky delšímu poločasu rozpadu  $^{201}\text{Tl}$  a z toho plynoucí vyšší radiační zátěži je nutné aplikovat výrazně nižší aktivity než u  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  značených preparátů. Zobrazování na konvenční variabilní dvoudetektorové kameře tedy není příliš výhodné, avšak při použití moderní vysoce senzitivní multidetektorové Cadmium Zinek Telluridové (CZT) kamery může být thallium optimální volbou (Tanaka at al., 2014, s. 78).

## Zátěžové protokoly s $^{99m}\text{Tc}$ techneciem značenými radiofarmaky

Zatímco ještě v polovině devadesátých let 20. století na trhu dominovalo  $^{201}\text{Tl}$ , tak podle průzkumu v roce 2001 a 2003 již v České republice dominují  $^{99m}\text{Tc}$  značená radiofarmaka (Kamínek, Hušák, Mysliveček at al., 2003, s. 321).  $^{99m}\text{Tc}$  značená radiofarmaka nemají redistribuční vlastnost a pro zobrazení myokardiální perfúze v klidu i zátěži, je nutná dvojí aplikace radiofarmaka (Lang at al., 2008, s. 61).

Používají se různé varianty vyšetřovacích protokolů. Jedná se o dvoudenní resp. jednodenní protokoly v pořadí zátěž-klid nebo klid-zátěž, kdy druhé vyšetření provádíme po aplikaci trojnásobné aktivity. Z technického hlediska je výhodnější dvoudenní protokol než jednodenní. Jelikož poločas rozpadu  $^{99m}\text{Tc}$  je 6,03 hodiny, hlavní výhodou dvoudenního protokolu je v tom, že druhý den se po aplikaci se nezobrazuje prakticky žádná zbytková aktivita z první studie. Zejména u pacientů s pozitivní anamnézou infarktu myokardu nebo po předchozí revaskularizaci je tímto způsobem možno posoudit reverzibilitu perfúzních defektů lépe. U diagnostických testů nemá volba protokolů (jednodenního, resp. dvoudenního) zásadní vliv na senzitivitu metody. Naopak při posuzování prognózy nebo u porevaskularizaci má přesné posouzení reverzibility zásadní význam. Zatímco pacienti s normální pozátěžovou perfúzí nebo malým fixním defektem mají dobrou prognózu, přítomnost reverzibilního defektu perfúze značí riziko dalších kardiálních příhod. Pokud se použije jednodenní protokol, lepší reverzibility defektu dosáhneme v pořadí klid-zátěž. Na opačné straně, výhodou pořadí zátěž-klid je, že v případě normálního nálezu u zátěžové studie není nutno provádět klidovou fázi vyšetření. Tím se snižují náklady, čas a v neposlední řadě radiační zátěž pro pacienta i ošetřující personál (Lang at al., 2008, s. 61-62).

## Protokoly k průkazu viability myokardu

Jak přibývá pacientů se srdečním selháním, dostává se do popředí otázka viability myokardu. Průkaz životaschopnosti myokardu hraje důležitou roli u pacientů s regionální dysfunkcí levé komory a taky s nízkou ejekční frakcí levé srdeční komory. Jestliže jsou pacienti schopni podstoupit zátěžový test lze použít kterýkoliv z vyšetřovacích zátěžových protokolů. U pacientů, u kterých je zátěžový test kontraindikován, lze zvolit některý z klidových perfúzních protokolů nebo zobrazit metabolismus glukózy po aplikaci  $^{18}\text{F}$ -fluorodeoxyglukózy pomocí pozitronové emisní tomografie (PET) (Lang at al., 2008, s. 63).

Snímání dat probíhá u dvoudetektorové gamakamery v L módu, což znamená, že gamakamery jsou vůči sobě kolmé. Úhel rotace je  $180^\circ$  nebo v H módu, kdy jsou vůči sobě navzájem kamery v paralelním postavení a úhel rotace je  $2 \times 180^\circ$ . Doba snímání jedné projekce je u obou vyšetření i radiofarmak mezi dvaceti a třiceti sekundami (Jirásková, 2015, s. 43).

### Zátěžové protokoly

Pokud jsou pacienti schopni podstoupit zátěžový test, je výhodné se o zátěž pokusit. Klinický dotaz se obvykle netýká jen životaschopnosti myokardu, ale často též průkazu ischemie. Na oba tyto dotazy dokáže zátěžový test obvykle dobře odpovědět. Pokud je zobrazení po aplikaci radiofarmaka v klidu hraničně významná porucha perfúze v dysfunkčních segmentech levé komory, velmi často lze pomocí zátěžového testu prokázat další významné zhoršení prokrvení myokardu. Jedná-li se o ischemický, ale viabilní myokard, tzn. po revaskularizaci dochází v těchto segmentech k úpravě funkce (Lang at al., 2008, s. 63).

### Klidové protokoly

U pacientů trpících velmi nízkou ejekční frakcí levé komory srdeční, jednostrannou srdeční insuficiencí, klidovým výskytem symptomů apod. není možné provádět zátěžový test a ve většině případů se uplatňuje klidové vyšetření. Po klidové aplikaci perfúzních radiofarmak se vyšetřuje zejména integrita buněčné membrány, o čemž nás informuje stupňi vychytávání radiofarmaka v dysfunkčních segmentech. Za hranici pro průkaz viabilního myokardu je obvykle považována 50% a vyšší akumulace radiofarmaka v porovnání s maximální koncentrací v daných tomografických řezech pro  $^{99\text{m}}\text{Tc}$  značená radiofarmaka (Lang at al., 2008, s. 64).



Při použití  $^{201}\text{Tl}$  se provádí klidová studie jako rest-redistribuční protokol, tzn. klidové zobrazení časně po aplikaci  $^{201}\text{Tl}$  a poté s odstupem 3-4 hodin. Redistribuční defekt perfúze pak umožňuje rozpoznat hibernující myokard, (označení chronicky ischemického myokardu, v němž došlo k adaptaci buněk na snížené zásobení kyslíku. Je porušena systolická funkce, což zároveň snižuje nároky na spotřebu kyslíku. Zásobení kyslíkem udržuje životnost buněk, není však dostatečné pro jejich přiměřenou kontraktilitu) jako oblast s relativně sníženou perfúzi na časných obrazech, ale zachovanou schopnosti akumulovat radiofarmakum na pozdním zobrazení za 3-4 hodiny (Lang at al., 2008, s. 64).

#### Zjišťování viability myokardu pomocí $^{18}\text{F}$ -FDG PET

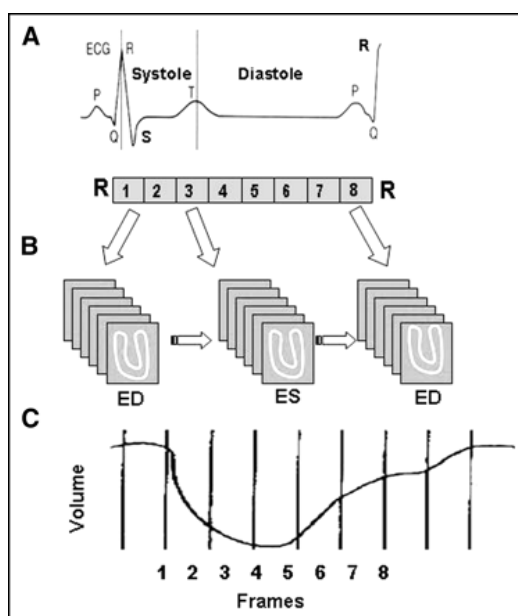
Význam  $^{18}\text{F}$ -FDG PET pro průkaz viability myokardu byl prokázán řadou studií.  $^{18}\text{F}$ -FDG PET má vyšší senzitivitu pro detekci životaschopného myokardu, ale cena vyšetření je vyšší v porovnání s ostatními radionuklidovými metodami a rovněž dostupnost této metody není stále obecně zajištěna. Nikdy nelze hodnotit  $^{18}\text{F}$ -FDG PET samostatně bez znalosti perfúze a funkce levé srdeční komory (Lang at al., 2008, s. 64).

V dysfunkčních segmentech rozeznáváme 4 základní typy nálezů

- normální perfúzi a normální metabolismus (omráčení)
  - perfúzně-metabolický defekt (hibernace)
  - perfúzně-metabolický match (jizva)
  - reverzní mismatch (tento nález je považován za známku omráčení)
- (Lang at al., 2008, s. 64)

## Gated SPECT

Základním principem EKG gatingu je znázorněn na obrázku č. 2. Při provádění SPECT, gama kamera zaznamenává fotony ve více projekčních úhlech kolem pacienta po 180° (dvoudetektorová) nebo 360° (jednodetektorová) oblouku. Na každém z projekčních úhlů je jeden statický obraz získáván v průběhu ungated snímání, zatímco několik dynamických obrazů pokrývajících délku srdečního cyklu, jsou snímány ve stejných intervalech v průběhu získávání dat z EKG. Akvizice začíná s R vlnou na EKG, která odpovídá koncové diastole. Jeden srdeční cyklus, zastoupen intervalu R-R, je rozdělen do více obrazů stejné délky. Získávaná data pro každý z obrazů, jsou opakovaně ukládána v paměti počítače v průběhu mnoha srdečních cyklů. Při zpracování, všechna data určitého obrazu jsou spojovány k vytvoření specifické fáze srdečního cyklu. Když jsou všechny časové obrazy sečteny dohromady, je ekvivalentní použít pro standardní soustavu ungated perfuzních obrazů (Asit, Hani, 2004, s. 179-187)



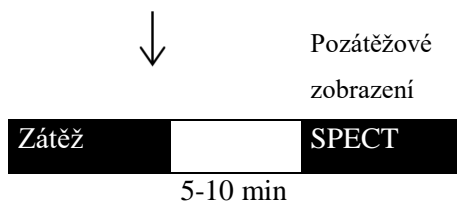
Obrázek. č. 2: Znázornění gated SPECT (Asit, Hani, 2004, s. 179-187).

## Grafické zobrazení zátěžových protokolů ve FN Olomouc u 70 kg pacienta

Pouze zátěž

$^{99m}\text{Tc}$ -210

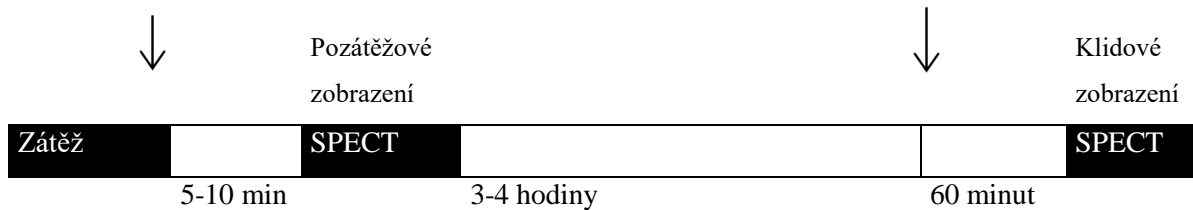
MBq



### Varianty jednodenního protokolu

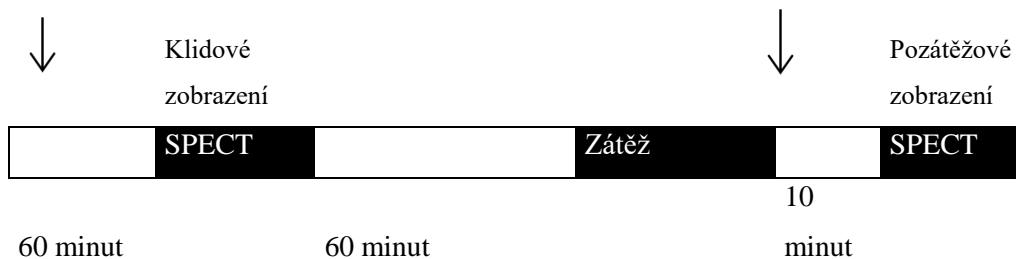
$^{99m}\text{Tc}$ -210

MBq



$^{99m}\text{Tc}$ -

210 MBq



(Koranda, 2014, s. 68)



## Obrazové artefakty

V rutinní klinické praxi je nutná dobrá znalost a správná interpretace možných obrazových artefaktů, které snižují specifitu vyšetření zvyšováním falešně pozitivních nálezů. Jejich správným rozpoznáním můžeme významně přispět ke správnému léčebnému postupu pacienta (Lang at al., 2008, s. 45).

Obrazové artefakty mohou mít celou řadu zdrojů, obvykle se dělí na faktory vyplývající z techniky vyšetření a zpracování informace a na faktory vzniklé samotným vyšetřovaným pacientem (Lang at al., 2008, s. 45).

Technické artefakty mohou pramenit z nesprávného nastavení přístrojů, z chybného zpracování dat počítačem při rekonstrukci tomografických řezů (velké perfúzní defekty, vysoká aktivita v blízkém okolí srdce), či z chybné tvorby či detekce synchronizačního signálu. Z těchto důvodů je nutná denní kontrola všech technických parametrů gamakamery, což umožní do jisté míry těmto artefaktům předcházet (Lang at al., 2008, s. 45).

Daleko významnějším problémem jsou artefakty způsobené pacientem. Energie  $^{99m}\text{Tc}$  je poměrně nízká (140 keV) a  $^{201}\text{Tl}$  je ještě nižší, snadno tedy dojde k zeslabení a rozptylu záření měkkými tkáněmi pacientova těla (polovrstva tuku pro  $^{99m}\text{Tc}$  jsou 4 cm). Závažnost těchto artefaktů závisí především na tvaru, uložení či hustotě zeslabující struktury. Mohou napodobit reverzibilní, tak i fixní defekt v závislosti na poloze zeslabující struktury při snímání obrazů po zátěži a v klidu. Řadí se k nim především zeslabení záření hmotou prsu u žen či tukem boční stěny hrudníku u obézních jedinců. Obvykle prs v poloze nznak překrývá anterolaterální stěnu levé komory. Je-li však velký a „pohyblivý“ může se posunout více na boční stěnu hrudníku a způsobit defekt boční stěny až spodní inferolaterální stěny myokardu. Podobný efekt zeslabení má i tuk na boční stěně hrudníku u velmi obézních pacientů. Na rozdíl od prsů je však tuk rozložen rovnoměrněji, zeslabení nemá přesně ložiskový charakter a zahrnuje obvykle celou boční stěnu srdečního svalu (Lang at al., 2008, s. 45-46).

Další artefakty může způsobit vlastní radiofarmakum.  $^{99m}\text{Tc}$  radiofarmaka jsou vylučována játry do žluče a následně žlučí do střeva. Zvýšená akumulace v játrech, do níž je srdce „zanořeno“ (většinou u obézních lidí), může způsobit vážné problémy při rekonstrukci tomografických řezů. Vážným problémem může být i vysoká radioaktivita ve slezinném ohbí tračnicku, protože může částečně či zcela překrývat myokard. V tomto případě může být prospěšné nechat pacienta vypít sklenici vody k vyvolání gastrokolického reflexu a odsunutí aktivity ze zorného pole kamery a poté záznam zopakovat (Lang at al., 2008, s. 46).

Mezi další problémy relativního zobrazení distribuce krevního průtoku srdečním svalem může být lokalizovaná hypertrofie myokardu, obvykle přítomná u hypertoniků, obstrukční hypertrofické kardiomyopatie nebo u pacientů s vadami chlopní. Nejčastěji bývá hypertrofie papilárního svalu mitrální chlopně. Následkem je zvýšená radioaktivita, která se jeví jako ložisková. Při normalizaci obrazu k nejvyšší radioaktivitě se pak zbytek myokardu jeví jako hypoperfuzovaný. Kromě papilárního svalu může být lokalizované zvýšení akumulace také v oblasti hrotu či septa, kde vznikají stejně důsledky (Lang at al., 2008, s. 46).

## **Interpretace výsledků**

Samostatné SPECT vyšetření perfúze a funkce levé komory zůstává i nadále nejpoužívanější metodou nukleární kardiologie. Jedná se o jednoduchý test k průkazu, lokalizaci a kvantifikaci ischemie, jehož využívání se řídí doporučeními kardiologických společností. Metoda má velmi dobře ověřenou přesnost pro detekci ICHS se senzitivitou a specificitou > 85 % i významnou prognostickou cenu. U pacientů se stabilní anginou pectoris a střední předtestovou pravděpodobností ICHS se SPECT velmi dobře hodí jako vstupní vyšetření před invazivní koronarografií a případnou koronární revaskularizací. Dlouhodobým sledováním souborů s více než deseti tisíci pacienty bylo prokázáno, že normální nález na SPECT představuje nízké riziko závažné kardiální příhody menší než 1 % ročně. Rovněž bylo prokázáno, že pacienti s průkazem pouze mírné ischemie (do 10 % z levé komory a s limitovaným sumačním zátěžovým skóre) mají větší prospěch z medikamentózní léčby, zatímco ti pacienti se závažnější ischemií lépe profitují z revaskularizace. (Kamínek at al, 2012, s. 69).

U pacientů s tzv. „falešně pozitivním“ nálezem ischemie na SPECT se často jedná o endoteliální dysfunkci se špatnou prognózou, i když pacient nemá koronarograficky významná zúžení. Metoda je dále vysoce ceněná pro schopnost posoudit ischemii u pacientů po koronární revaskularizaci, dalšími indikacemi je zjišťování viability myokardu u pacientů s dysfunkcí levé komory a posouzení funkce levé komory (alternativa k radionuklidové ventrikulografii, echokardiografii apod.). (Kamínek at al, 2012, s. 69).

Zároveň má však SPECT určité technické limitace, neboť tato metoda posuzuje pouze regionální a nikoliv absolutní perfuzi myokardu. U pacientů s vybalancovanou nemocí tří tepen tak zcela vzácně může být zobrazen negativní normální nález, naštěstí však ve většině těchto případů zásluhou gated SPECT zobrazíme současně funkční změny (poischemické

omráčení se zhoršením regionální kinetiky stěn, poklesem pozátěžové EF). Přesto může docházet u pacientů s nemocí více tepen k podhodnocení perfuzních změn v jednotlivých povodích a jako abnormální se zobrazí pouze jedno povodí (Kamínek at al, 2012, s. 69).

Scintigrafické nálezy jsou obvykle rozděleny na normální perfúzi, reverzibilní defekt (ischemii) a fixní defekt. Při interpretaci nálezu je třeba přihlížet k habitu pacienta a rovněž k určitým anatomickým odlišnostem mezi oběma pohlavími. Pokud pomocí SPECT zobrazíme perfuzní defekty, nestačí popsat pouze jejich lokalizaci a zda se jedná o reverzibilní či fixní poruchu perfuze. Je nutné se vyjádřit také k rozsahu a závažnosti perfúzní abnormality. Tu lze kvantifikovat na polárních mapách pomocí segmentálního skóring systému (podle současných doporučení je prosazován sedmnácti segmentový model LK). Perfúze v jednotlivých segmentech je charakterizována zpravidla pětistupňovou škálou:

- 0 normální perfuze
- 1 nejednoznačný nález
- 2 abnormální perfuze
- 3 závažná porucha
- 4 absence vychytávání radiofarmaka.

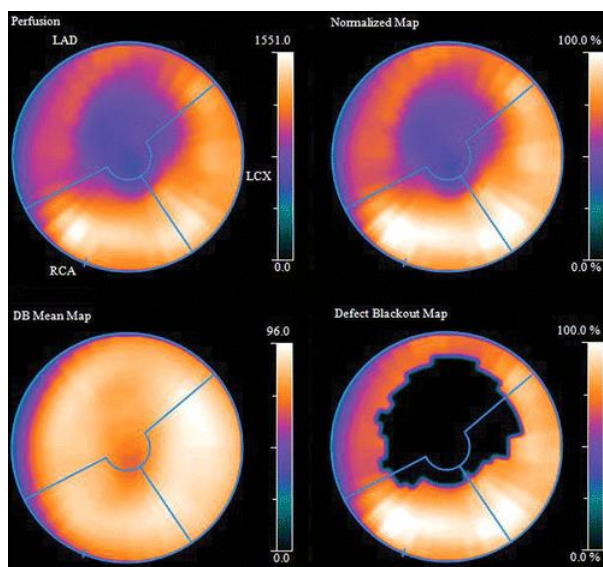
Každý ze segmentů LK je takto ohodnocen a body se sčítají – stanovuje se tzv. sumační zátěžové skóre (summed stress score, SSS) a sumační klidové skóre (summed rest score, SRS). V současných nukleárně kardiologických vyhodnocovacích programech probíhá tato kvantitativní analýza plně automaticky podle počtu standardních odchylek ve srovnání s normálovou databází. Pokud je SSS menší než 4, je perfúzní defekt hodnocen jako nevýznamný. Naopak při SSS větší jak 13 se jedná o těžkou poruchu perfúze a riziko je vysoké. U pacientů se sumačním zátěžovým skóre méně než 4 bylo riziko náhlé srdeční smrti nízké zhruba 0,3% ročně, u pacientů se sumačním zátěžovým skóre větším jak 13 bylo evidováno 3,7% úmrtí ročně. U pacientů s mírně abnormální perfúzí (SSS 4–8) je středně vysoké riziko infarktu myokardu, ale riziko srdeční smrti je nízké. U těchto pacientů by měla být preferována změna rizikových faktorů (sekundární prevence). U pacientů se střední a těžkou abnormalitou perfúze (SSS > 8) je preferována invazivní strategie (Kamínek, Mysliveček, Hušák, 2003, s. 190-197).

Distribuce perfuzního radiofarmaka může být hodnocena s ohledem na rozložení aktivity u zdravých nebo dle pohlaví.

- Normální:  $\geq 70\%$
- Mírné snížení: 50-69%
- Střední snížení: 30-49%
- Závažné snížení: 10 do 29%
- Absence:  $<10\%$  (Verbene at. al., 2015, s. 76).

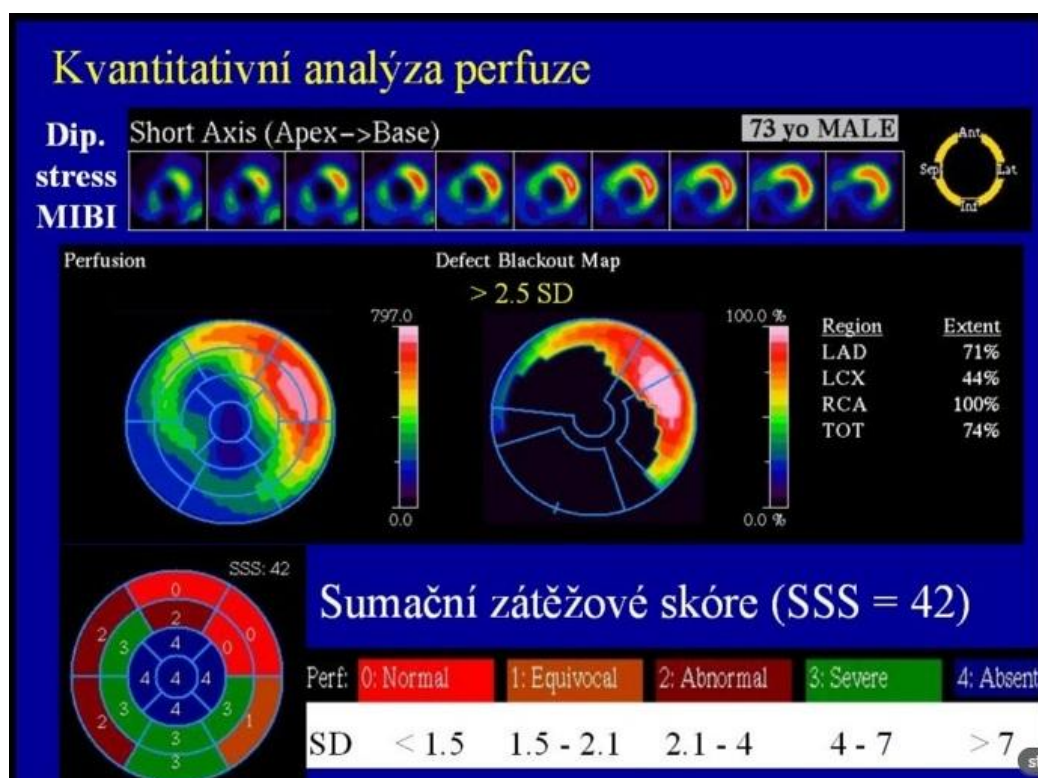
### Polární mapy

K rozsahu a hodnocení perfúzních abnormalit se používají počítačově vytvořené polární mapy, který bychom mohli přirovnat ke stavu, který by mohl vzniknout, pokud by stěna levé komory byla rozložena do plochy. Ve středu polární mapy je oblast hrotu na okraji polární mapy se nachází srdeční báze. Výhodou používání polárních map je to, že umožňují porovnat data s normálovou databází (Ryan at al, 2011).

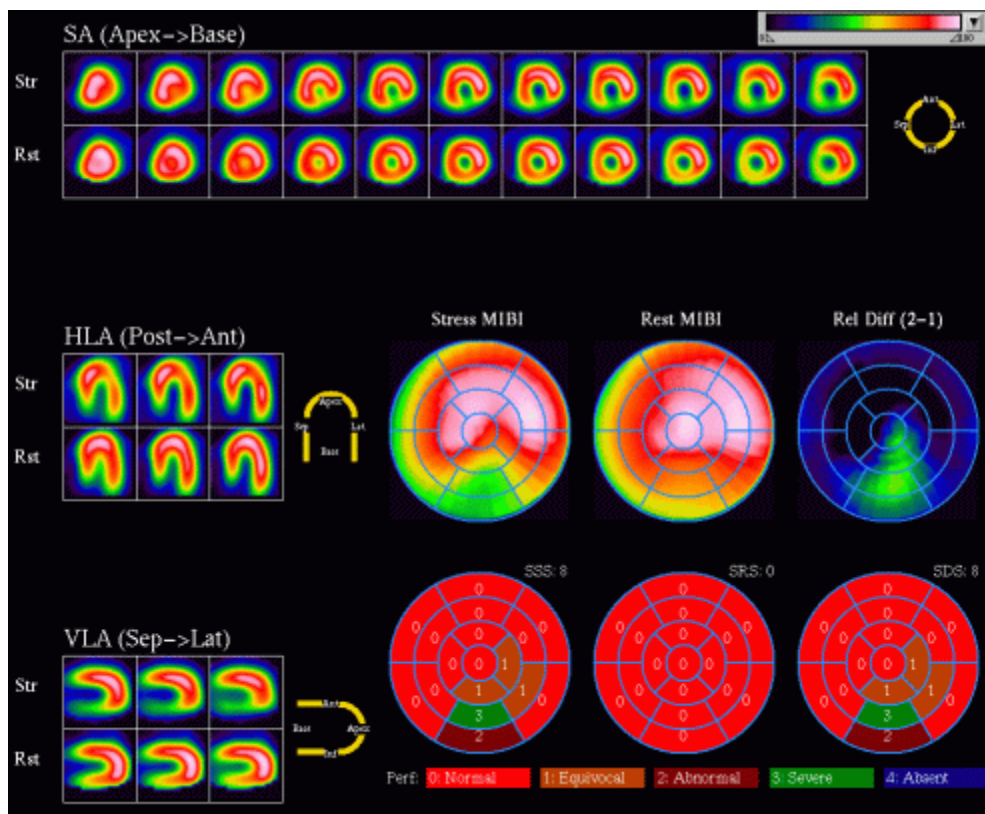


Obrázek č. 2: Polární mapy ukazují abnormální perfúzi levé komory myokardu na území levé přední koronární arterie. Tyto mapy poskytují dvourozměrný pohled na celé trojrozměrné tělo myokardu levé komory, která je rozdělena (modrá radiální linky) do území arteria coronaria sinistra (*LAD*), ramus circumflexus (*LCX*) a arteria coronaria dextra (*RCA*). Centrální oblast představuje srdeční vrchol, a každý prstenec aktivity, který pokračuje směrem ven od středu, je o krok blíže k srdeční bázi (rovina mitrální chlopně) (Ryan at al, 2011).





Obrázek č. 3: Ukázka možnosti kvantifikace pozátěžové abnormality u 73 letého muže. Pomocí tzv. black out map je znázorněn rozsah defektu (74% levé komory), který zasahuje do povodí všech tří koronárních tepen. Pomocí hodnoty standardní odchylky (SD) od normy je stanoveno sumační zátěžové skóre (SSS), které vyjadřuje závažnost perfúzní abnormality v jednotlivých segmentech levé komory (SSS 42 svědčí pro velmi těžkou poruchu po zátěži (Kamínek, 2012, dostupné z <http://pfyziollfup.upol.cz/castwiki2/?p=5478>)



Obrázek č. 4: Zátěžové MIBI SPECT vyšetření u 35letého pacienta s typickou anginou pectoris. Je zobrazen reverzibilní defekt inferiorně. Sumační zátěžové skóre (SSS) je 8, zatímco sumační klidové skóre (SRS) je 0. Koronarograficky po 4 týdnech prokázán 100% uzávěr ve středním úseku pravé koronární tepny, která se dále plní z povodí ramus interventricularis anterior (Kamínek, Koranda, Mysliveček, dostupné z <http://vyuka.i-consult.cz/kardiologie/ghtml.php?id=39>)

## 4 Radiační ochrana

Nukleární medicína je lékařským oborem, jenž se zabývá aplikacemi radioaktivních látek, které jsou určeny pro diagnostiku i léčbu onemocnění. Přípravky obsahující chemickou složku, jejíž účinnou složkou je radionuklid, nazýváme jako otevřené zářiče. Aplikujeme je jako roztoky, či v plynné formě (Hušák a kol., 2009, s. 93).

### Radiační ochrana pracovníků

Na pracovištích s otevřenými zářiči (nukleární medicíny) je nutné dodržovat zásady ochrany pracovníků jak před zevním ozářením (ochrana časem, vzdáleností a stíněním), tak i opatření, které omezuje kontaminace pracovníků (Hušák a kol., 2009, s. 96).

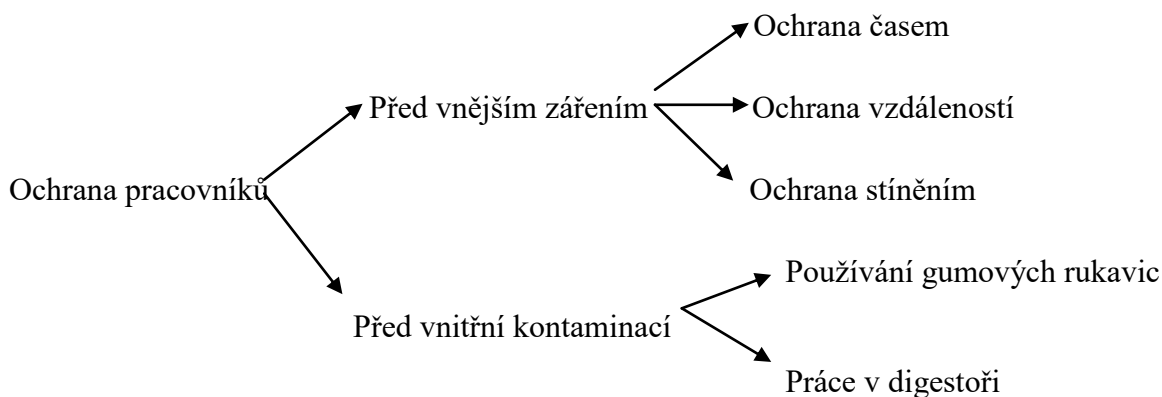


Schéma radiační ochrany pracovníků (Hušák a kol., 2009, s. 96).

Mezi základní zdroje externí radiační zátěže pracovníků v nukleární medicíně patří:

- příprava radiofarmak (beta a gama zářiče)
- vlastní aplikace těchto radiofarmak (intravenózně nebo jiným způsobem)
- samotní pacienti (radiofarmaka aplikována pro diagnostiku nebo léčbu, jsou zdrojem záření gama, emitovaného z jejich těla) (Hušák a kol., 2009, s. 97).

Radiační zátěž pracovníků, která pochází ze zevních zdrojů, se snižuje aplikováním způsobů ochrany časem, vzdáleností a stíněním (Hušák a kol., 2009, s. 97).

Snížení času potřebného pro přípravu radiofarmak závisí na kvalifikaci a zručnosti jednotlivých pacientů. Vážně nemocní nebo méně pohybliví pacienti vyžadují více času například při správném umístění pod kameru. Je zde snaha o co nejkratší kontakt se zevním zdrojem záření-pacientem (Hušák a kol., 2009, s. 97).

Ochrana vzdáleností se využívá u různých pomůcek, např. lahvičky s radiofarmaky se přenášejí pomocí pinzet, které mají dlouhé rukojeti. Ozáření osoby, která je ve větší vzdálenosti od pacienta, je mnohonásobně menší než ozáření osoby, která by byla v těsném kontaktu u pacienta či radiofarmakem. Ochrana vzdáleností je někdy obtížná na starších pracovištích, která jsou vybudována v omezenějších prostorách ve srovnání s moderními vyšetřovny. I při omezených prostorách se doporučuje, aby personál pobýval od pacienta, pokud možno, v co největší vzdálenosti, minimálně však 1 metr. V reálné praxi toho doporučení není příliš dodržováno, jelikož nespolupracují a nepohybliví pacienti často vyžadují přítomnost personálu v těsné blízkosti (Hušák a kol., 2009, s. 97).

Ochrana stíněním. K ochraně pracovníků, kteří obsluhují scintilační kameru, se vyšetřovna od ovladovny odděluje stínící stěnou s pozorovacím okénkem, většinou z oloveného skla nebo vhodnými zástěnami. Ochrana stíněním je velmi účinná, i když má, ve srovnání s výše uvedenými metodami, často nevýhodu, že bývá nákladná a někdy ji v praxi nelze použít. Mezi další problémy patří skutečnost, že stínící pomůcky v řadě případů ztěžují práci a působí z hlediska radiační ochrany kontraproduktivně, tzn. mohou nastat situace, že odstínění nelze v nukleární medicíně použít vůbec (Hušák a kol., 2009, s. 97).

Obecně platí zásada zachování ozáření ALARA (z ang. As Low As Reasonable Achievable), tzn. co nejnížší podávaná dávka, ale dobrá diagnostická výtěžnost. Kromě toho, aktivita radiofarmaka, která má být podána, musí být podávána v souladu s vnitrostátními právními předpisy a podle Evropské směrnice 2013/59. Tato směrnice popisuje základní bezpečnostní standardy na ochranu před riziky vyplývajícími z expozice ionizujícímu záření. Jedním z kritérií je označení diagnostických referenčních úrovní (DRL) pro radiofarmaka, definovaných jako úrovně aktivity pro skupiny pacientů standardní velikosti a pro obecně definované typy vybavení. To znamená, že úrovně nebudou překračovány pro standardní postupy (Verbene at. al., 2015, s. 18).

Podávaná aktivita je, obecně řečeno, kompromis mezi kvalitou obrazu a ozářením pacienta a ošetřujícího personálu. Čím je aplikovaná aktivita vyšší, tím lepší je kvalita obrazu, ale ozáření pro pacienta a personál se zvyšuje. Aktivita je závislá na typu zařízení (jedno nebo více detektorové systémy), charakteristiky pacienta (tělesná hmotnost), zvoleného protokolu (1-denní nebo 2-denní protokol), a radiofarmaka ( $^{99m}\text{Tc}$ -sloučeniny nebo  $^{201}\text{Tl}$ -chlorid). Způsob rekonstrukce může být také důležitý, tj filtrovaná zpětné projekci vs. iterativní rekonstrukce. Je-li prováděn  $^{99m}\text{Tc}$  1-denní protokol (tj. podání dvou dávek za jeden den), aktivita podávaná ke druhému vyšetření musí být třikrát vyšší než u prvního vyšetření (Verbene at. al., 2015, s. 18).

Radiační ochrana je legislativně definována zákonem č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (tzv. atomový zákon). V tomto zákoně z roku 1997 se definuje radiační ochrana jako systém technických a organizačních opatření k omezení ozáření fyzických osob a k ochraně životního prostředí (Hušák a kol., 2009, s. 97). Atomový zákon je doplněn vyhláškou č. 307/2002 Sb, která pojednává o podrobnostech, způsobu a rozsahu zajištění radiační ochrany při práci na pracovištích, kde se vykonávají radiační činnosti, včetně podrobností pro vymezení, označování a oznamování nebo schvalování sledovaných nebo kontrolovaných pásem na těchto pracovištích (vyhláška, dostupné z [https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/307\\_po\\_novele.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasiky/307_po_novele.pdf))

Tabulka č. 2: porovnání jednotlivých protokolů, jejich aplikované aktivity a následné radiační zátěže pro pacienta

<b>Radiofarmakum</b>	<b>Protokol</b>	<b>Aplikovaná aktivita (MBq)</b>	<b>Radiační zátěž (mSv)</b>
99mTc-MIBI	jednodenní (zátěž/klid)	210 + 630	5,8
99mTc-MIBI	dvoudenní (klid/zátěž)	210 + 280	3,4
99mTc-MIBI	pouze zátěž	210	1,4

(Kamínek M, Metelková I, Budíková M. Jednofotonová emisní tomografie myokardu. In. Martin Mates, Petr Kala, Pavel Červinka a kol. Koronární cirkulace, Maxdorf, 2016, s. 171)

## Závěr

Ve své bakalářské práci jsem se snažil poskytnout souhrn dohledaných poznatků v oblasti nukleární kardiologie, zvláště pak informace o SPECT myokardu a radiační ochraně v nukleární medicíně. SPECT myokardu je vysoce citlivá neinvazivní metoda, sloužící k posouzení funkce, perfuze a viability srdečního svalu. Do této oblasti patří i detekce či posouzení, zda se jedná o ICHS nebo infarkt myokardu. V roce 2001 dosáhl počet vyšetření hodnotu 15 740 a má stoupající tendenci. Meziroční nárůst se zvýšil o 10 % v porovnání s rokem 2001.

Zaměřil jsem se na popis jednotlivých kroků vyšetření od podání informací o průběhu testu až po interpretaci výsledků, prováděnou lékařem. Mezi tyto kroky patří podání informací o používaných radiofarmacích, zátěžových testech či možných artefaktech vyšetření. Jedna samostatná kapitola je věnována radiační ochraně, která hraje důležitou roli v prevenci proti nadměrnému ozáření jak pacienta, tak i zdravotnického personálu. Cílem této kapitoly bylo sumarizovat a sepsat poznatky z radiační ochrany

## Referenční seznam

ASIT, K., PAUL, HANI, A., NABI, *Gated Myocardial Perfusion SPECT: Basic Principles, Technical Aspects, and Clinical Applications*. J. Nucl. Med. Technol. 2004, 32. p. 179-187  
dostupné z: <http://tech.snmjournals.org/content/32/4/179.full> citováno 14.1.2016

DANIEL, at all., <sup>99m</sup>Tc-sestamibi myocardial perfuzion imaging, Journal od nuclear medicine, 1994 s. 682 ISSN 0161-5505

DVORAK, Ryan A.; BROWN, Richard KJ; CORBETT, James R. Interpretation of SPECT/CT myocardial perfusion images: common artifacts and quality control techniques. *Radiographics*, 2011, 31.7: 2041-2057. Dostupné z <http://pubs.rsna.org/doi/full/10.1148/rg.317115090> citováno 20.1.2016

HUŠÁK, Václav. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.

JIRÁSKOVÁ, Jana. Perfuzní scintigrafie myokardu. 2015. Dostupné z [http://dspace.upce.cz/bitstream/handle/10195/60366/JiraskovaJ\\_PerfuznisScintigrafie\\_JK\\_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y](http://dspace.upce.cz/bitstream/handle/10195/60366/JiraskovaJ_PerfuznisScintigrafie_JK_2015.pdf?sequence=1&isAllowed=y) citováno 16.1.2016

KAMÍNEK, Milan, et al. Zobrazování myokardu pomocí SPECT a hybridního SPECT/CT a PET/CT vyšetření. *Interv Akut Kardiol*, 2012, 11.2: 68-74. ISSN: 1213-807X.

KAMÍNEK, M., HUŠÁK, V., MYSLIVEČEK, M., et al. Acitivity and practise of nuclear cardiology in the Czech republic 2001. *Eur J Nucl Med*, 2003, 30, p. 321

KAMÍNEK, Milan; MYSLIVEČEK, Miroslav; HUŠÁK, Václav. Kvantitativní hodnocení myokardiální perfuze, funkce a viability pomocí jednofotonové emisní výpočetní tomografie. *Interv Akut Kardiol*, 2003, 2: 190-197.

KAMÍNEK, Milan; KORANDA, Pavel; MYSLIVEČEK, Miroslav. Diagnostika ICHS dostupné z <http://vyuka.i-consult.cz/kardiologie/ghtml.php?id=39>. Citováno 27.1.2016

KAMÍNEK, Milan. Charakteristika využití SPECT při stratifikaci rizik a posuzování závažnosti stenóz při koronarografii. 2012. Dostupné z <http://pfyziollfup.upol.cz/castwiki2/?p=5478> citováno 27.1.2016

MATES, Martin. KALA, Petr. ČERVINKA, Pavel a kol. Koronární cirkulace, Maxdorf, 2016. 300 s.

KORANDA, Pavel. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6.

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL, et al. *Nukleární medicína*. 1. vydání. vydavatel, 2007. 185 s. ISBN 978-80-903584-9-2.

LANG, Otto, Milan KAMÍNEK a Helena TROJANOVÁ. *Nukleární kardiologie*. 1. vyd. Praha: Galén, 2007. 130 s. ISBN 978-80-7262-481-2.

Mc Ardle BA, Leung E, Ohira H, Cocker MS, deKemp RA, DaSilva J, Birnie D, Beanlands RS, Nery PB. The role of F(18)-fluorodeoxyglucose positron emission tomography in guiding diagnosis and management in patients with known or suspected cardiac sarcoidosis. *J Nucl Cardiol*. 2013 Apr;20(2):297-306).

NOVÁKOVÁ, Drahoslava — DROZDKOVÁ, Radoslava. SPECT myokardu a dobutaminový test. *Nukleární medicína*, 2014, roč. 3, č. 3, s. 23. ISSN: 1805-1146.

SEIDL, Zdeněk. *Radiologie pro studium i praxi*. Vyd. 1. Praha : Grada, 2012. ISBN: 978-80-247-4108-6.

ŠTEJFA, Miloš. *Kardiologie*. 3., přeprac. a dopl. vyd. Praha: Grada, 2007. xxxiii, 722 s., 16 s. obr. příl. ISBN 978-80-247-1385-4.

VERBENE, B., ACAMPA. W., et al EANM/ESC procedural guidelines for myocardial perfusion pating in nuclear kardiologie. *Eur J Nucl Med Mol Imaging* 2015

VŠOLKOVÁ, M., Perfuzní scintigrafie myokardu v diagnostice ICHS 2014, bakalářská práce s.63 dostupné z [https://theses.cz/id/p2jros/Bakalsk\\_prce.pdf](https://theses.cz/id/p2jros/Bakalsk_prce.pdf) citováno 14.1.2016

Vyhláška č. 307/2002 Sb., dostupné z

[https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/307\\_po\\_novele.pdf](https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/307_po_novele.pdf) citováno 26.1.2016

[http://www.sukl.cz/modules/medication/search.php?data%5Bsearch\\_for%5D=tech&data%5Bcode%5D=&data%5Babc\\_group%5D=&data%5Bmaterial%5D=&data%5Bpath%5D=&data%5Breg%5D=&data%5Bradio%5D=none&data%5Brc%5D=&data%5Bcheckbox%5D%5B%5D=braill-yes&data%5Bcheckbox%5D%5B%5D=braill-no&data%5Bcheckbox%5D%5B%5D=braill-def&data%5Bwith\\_adv%5D=0&search=Vyhledat&data%5Blisting%5D=20](http://www.sukl.cz/modules/medication/search.php?data%5Bsearch_for%5D=tech&data%5Bcode%5D=&data%5Babc_group%5D=&data%5Bmaterial%5D=&data%5Bpath%5D=&data%5Breg%5D=&data%5Bradio%5D=none&data%5Brc%5D=&data%5Bcheckbox%5D%5B%5D=braill-yes&data%5Bcheckbox%5D%5B%5D=braill-no&data%5Bcheckbox%5D%5B%5D=braill-def&data%5Bwith_adv%5D=0&search=Vyhledat&data%5Blisting%5D=20) citováno 29.12.2015