

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Pavína Havranková

**SPECT/CT ZOBRAZENÍ MYOKARDU V DIAGNOSTICE
ISCHEMICKÉ CHOROBY SRDEČNÍ**

Bakalářská práce

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

Olomouc 2013

ANOTACE

Druh práce:

bakalářská

Název práce:

SPECT/CT zobrazení myokardu v diagnostice ischemické choroby srdeční

Název práce v AJ:

SPECT/CT cardiac imaging in diagnosis of ischemic heart disease

Datum zadání práce: 2012-11-05

Datum odevzdání práce: 2013-04-24

Název vysoké školy, fakulty a ústavu: Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotnických věd
Ústav radiologických metod

Autor práce: Pavlína Havranková

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

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

Abstrakt v ČJ:

Cílem této bakalářské práce bylo prostřednictvím rešerše odborných publikovaných článků předložit poznatky o zobrazování myokardiální perfuze jednofotonovou emisní výpočetní tomografií. Tato metoda vykazuje v diagnostice ischemické choroby srdeční (ICHS) velmi vysokou citlivost a současně umožňuje ischemii kvantifikovat. Protože je nedílnou součástí vyšetření kvalitně provedený zátěžový test, je pozornost věnována

metodám zátěže a výskytu možných nežádoucích účinků. Dále byly dohledány informace o zlepšení přesnosti diagnostiky ischemické choroby srdeční při integraci CT do metodiky zobrazování perfuze myokardu. Získaný souhrn poznatků podává informaci o možnostech detekce ICHS neinvazivním způsobem.

Abstrakt v AJ:

The aim of the thesis was to put forward knowledge on myocardial perfusion imaging by single photon emission computed tomography through research of published scientific paper. This method shows high susceptibility within ischemic heart disease diagnosis and enables to quantify ischemia at the same time. The necessary component of the surgery is professionally performed stress tests. Due to the fact, there is an appropriate attention devoted also to load methods and adverse side effects. The information on accuracy ischemic heart disease diagnosis improvement in CT integration into methodology myocardial perfusion imaging was traced and brought in. Obtained summary of knowledge provide with information on potentiality of ischemic heart disease detection by noninvasive way.

Klíčová slova v ČJ:

regadenoson, perfuze myokardu, gated SPECT, metody zátěže, rekonstrukce dat, koronární kalciové skóre, CT koronarografie

Klíčová slova v AJ:

regadenoson, myocardial perfusion, gated SPECT, load methods, data reconstruction, coronary calcium scoring, CT coronarography

Rozsah práce: 42 stran

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci na téma „SPECT/CT zobrazení myokardu v diagnostice ischemické choroby srdeční“ vypracovala samostatně za použití uvedených bibliografických zdrojů.

Olomouc 17.4.2013

.....
podpis

Děkuji panu prof. MUDr. Milanu Kamínkovi, Ph.D. za ochotu a odborné vedení bakalářské práce. Děkuji také své rodině a kolektivu spolupracovníků ONM v Opavě za obrovskou podporu, kterou mi prokázali.

OBSAH

ÚVOD.....	7
1 POKROKY NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY V ZOBRAZOVÁNÍ MYOKARDU..	9
2 ISCHEMICKÁ CHOROBA SRDEČNÍ.....	10
3 ZÁTĚŽOVÁ PERFUZNÍ SCINTIGRAFIE MYOKARDU SPECT	11
3.1 Radiofarmaka.....	13
3.2 Příprava k vyšetření	15
3.3 Zátěžové techniky	15
3.3.1 Fyzická zátěž.....	16
3.3.2 Farmakologická zátěž	17
3.4 SPECT.....	21
3.5 Obrazové artefakty.....	23
3.6 Hodnocení vyšetření	26
4 POROVNÁNÍ SPECT A ZÁTĚŽOVÉ ECHOKARDIOGRAFIE	29
5 KORONÁRNÍ KALCIOVÉ SKÓRE	31
6 CT KORONAROGRAFIE	33
ZÁVĚR.....	35
BIBLIOGRAFICKÉ A ELEKTRONICKÉ ZDROJE.....	37
SEZNAM ZKRATEK	40
SEZNAM OBRÁZKŮ.....	41
SEZNAM TABULEK	42

ÚVOD

Ischemická choroba srdeční patří k nejčastějším příčinám úmrtí ve vyspělých zemích. K detekci ICHS je v současné době využívána řada vyšetřovacích modalit.

Neinvazivní zobrazování myokardu se stalo důležitou součástí vyšetřování pacientů s ICHS. Zátěžová scintigrafie myokardiální perfuze představuje klinickou praxí ověřenou velmi citlivou metodu pro diagnostiku ICHS s významnou prognostickou cenou. Tato neinvazivní radionuklidová metoda poskytuje cenné informace o dopadu koronární stenózy na dodávku krve do srdeční tkáně, je tedy vyšetřením funkčním. Senzitivita i specifická této metody je vyšší než 85%.

Protože nedílnou součástí vyšetření je kvalitně provedený zátěžový test, který má za úkol navození heterogenity perfuze myokardu, je pozornost zaměřena na možnosti fyzické a farmakologické zátěže.

Při studiích byla zjištěna velmi dobrá shoda v diagnostické citlivosti mezi metodou SPECT a zátěžovou echokardiografií, proto byly dohledány publikované poznatky o přednostech a limitacích jednotlivých metod.

Stále přibývá důkazů o zlepšení přesnosti diagnostiky ICHS při integraci CT do metodiky zobrazování perfuze myokardu. Přestože jsou neinvazivní CT koronarografie i SPECT nezávislými metodami v diagnostice ICHS, je v některých případech kombinace anatomické i funkční informace velmi výhodná. Jako cenný ukazatel rizika kardiální příhody se jeví zjištění kalcifikací při vyšetření koronárního kalciového skóre.

Cílem této bakalářské práce bylo předložit publikované poznatky o zátěžové perfuzní scintigrafii myokardu a integraci neinvazivního CT vyšetření myokardu do nukleárně kardiologických metod.

Otázky bakalářské práce:

1. Jaké jsou možnosti provedení zátěžových testů?
2. Jaké jsou pokroky v zobrazování myokardiální perfuze a funkce jednofotonovou emisní tomografií?
3. Jaký je přínos kombinovaného vyšetření SPECT/CT v diagnostice ischemické choroby srdeční?

Cíle bakalářské práce:

1. Předložit přehled dohledaných poznatků o přednostech a limitacích zátěžových metod.
2. Předložit poznatky o pokrocích v zobrazování perfuze a funkce levé komory srdeční metodou SPECT.
3. Předložit důkazy o přínosu integrace neinvazivního CT vyšetření myokardu do metodiky zobrazování perfuze myokardu.

Po zvolení tématu bakalářské práce byla pro stanovení základních otázek a cílů práce použita následující vstupní literatura:

1. LANG, Otto; KAMÍNEK, Milan; TROJANOVÁ, Helena. Nukleární kardiologie. 1. vydání, Galén, 2008. ISBN 978-80-7262-481-2.
2. NEKULA, Josef; HEŘMAN, Miroslav; VOMÁČKA, Jaroslav; KÖCHER, Martin. Radiologie. 3. Vydání, Univerzita Palackého v Olomouci, 2005. ISBN 80-244-1011-7.
3. MYSLIVEČEK, Miroslav; KAMÍNEK, Milan; KORANDA, Pavel; HUŠÁK, Václav. Nukleární medicína – 1. díl. 1. vydání, Univerzita Palackého v Olomouci, 2007. ISBN 978-80-244-1723-3.
4. NAŇKA, Ondřej; ELIŠKOVÁ, Miloslava. Přehled anatomie. Druhé doplněné a přepracované vydání, Galén, 2009. ISBN 978-80-7262-612-0.

Přehled informací a poznatků byl vypracován na základě rešerše odborných článků. Vyhledávání odborných článků proběhlo od května 2012 do prosince 2012. Při vyhledávání byly použity databáze BMČ, MEDLINE a PubMed. Vyhledávané odborné články byly limitované na práce od roku 1996 do současnosti. Klíčová slova pro vyhledávání byla: metody zátěže, perfuze myokardu, gated SPECT, rekonstrukce dat, koronární kalciové skóre, CT koronarografie. Pro potřeby této práce bylo shledáno vhodných 24 článků v českém jazyce. Doplnujícím vyhledávacím jazykem byl jazyk anglický, kde klíčovým slovem pro vyhledávání bylo regadenoson. Pro bakalářskou práci byl použit jeden článek v jazyce anglickém.

1 POKROKY NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY V ZOBRAZOVÁNÍ MYOKARDU

Zobrazování regionální distribuce myokardiální perfuze pomocí radionuklidů zaznamenalo v průběhu let značný pokrok. První vyšetření, při kterých bylo aplikováno thallium - 201, se datují od roku 1973 a do dnešních dnů prodělala metoda obrovský vývoj. Od roku 1984 se rozšířila nabídka perfuzních radiofarmak o ^{99m}Tc - sestamibi, které zůstává dodnes nejrozšířenějším radiofarmakem pro vyšetření perfuze myokardu a o několik let později byla doplněna o ^{99m}Tc – tetrofosmin.

Souběžně s vývojem nových radiofarmak dochází i k vývoji přístrojové a výpočetní techniky. Planární vyšetření myokardu začala od roku 1982 postupně nahrazovat jednofotonová emisní výpočetní tomografie (SPECT), která umožňuje rekonstrukci trojrozměrného obrazu a následné zobrazení řezů levé komory srdeční. Kamery opatřeny pouze jedním detektorem byly nahrazovány systémy dvudetektorovými. Hustota nastřádaných impulsů se tak za stejnou dobu zdvojnásobí.

Velkým přínosem pro hodnocení mechanické funkce levé komory srdeční (LKS) se stal synchronizovaný záznam dat pomocí EKG signálu, který byl do klinické praxe uveden v devadesátých letech 20. století a v současné době patří ke standardnímu způsobu snímání. Od roku 1996 dochází k rozšiřování softwarů zvládající automatickou kalkulaci ejekční frakce a objemů levé komory.

Nové nukleárně kardiologické programy automaticky kvantifikují pomocí segmentárního skórovacího systému rozsah a závažnost perfuzních abnormalit. Moderní typy kamer zkracují akviziční doby a společně s novými rekonstrukčními programy dovolují snížení aplikované aktivity, což výrazně snižuje radiační zátěž pacientů. Počet SPECT vyšetření myokardu zaznamenal ohromný celosvětový nárůst, neboť poskytuje významné i cenově efektivní diagnostické a prognostické informace. V České republice je každoročně provedeno přibližně 17 000 SPECT vyšetření myokardu. (Kamínek a kol., 2010, s. 513 – 515)

2 ISCHEMICKÁ CHOROBA SRDEČNÍ

Ischemická choroba srdeční je označení pro skupinu chorob, jímž je společná přítomnost ischemie myokardu a patří k hlavním příčinám úmrtí ve vyspělých zemích. Srdce při své práci spotřebovává množství kyslíku a energie. Toto zásobování zajišťují koronární tepny, při jejichž poškození dochází k omezenému přítoku krve do srdečního svalu. ICHS je charakterizována nepoměrem mezi nároky myokardu a dodávkou kyslíku a živin krví. To má za následek poškození myokardu spojené v nejhrošším případě s jeho nekrózou.

ICHS vzniká na podkladě patologického procesu v koronárním řečišti. Nejčastěji se jedná o zúžení průsvitu tepny v důsledku aterosklerózy. Uzávěr tepny může být způsoben vytvořením krevní sraženiny nebo rupturou ateromového plátu, k dalším příčinám patří náhlé křečovité stažení tepen. K rozvoji patologického procesu v koronárním řečišti přispívá hyperlipidémie, arteriální hypertenze, diabetes mellitus, kouření, špatná strava, nízká tělesná aktivita, stres a mnohé další. Tyto faktory je možné upravit například účinnou léčbou nebo změnou životního stylu, jsou tedy ovlivnitelné. K neovlivnitelným faktorům patří například pohlaví, věk, rodinné dispozice. ICHS se může projevit poruchou srdečního rytmu, stenokardiemi, mezi závažné projevy patří srdeční selhání, akutní infarkt myokardu nebo náhlá srdeční smrt. (Hrdina a kol., 2007, s. 62)

3 ZÁTĚŽOVÁ PERFUZNÍ SCINTIGRAFIE MYOKARDU SPECT

Tato metoda zobrazuje regionální distribuci myokardiální perfuze v době intravenózní aplikace radiofarmaka a v současné době patří k nejčastěji používaným neinvazivním zobrazovacím metodám k detekci ICHS, neboť její senzitivita i specifická je vyšší než 85%. Neinvazivním způsobem poskytuje informace o dopadu koronární stenózy na dodávku krve do srdeční tkáně.

Při zátěži se zvýší požadavky myokardu na dodávku kyslíku a v normálních arteriích dojde k vasodilataci, což vede ke zvýšenému průtoku krve koronárním řečištěm. Stenotické arterie jsou již dilatovány, a proto má zátěž na koronární průtok malý vliv. To má za následek hypoperfuzi myokardu, která se na scintigramech projeví jako heterogenita v distribuci myokardiální perfuze. Scintigrafie myokardiální perfuze je z neinvazivních metod nejcitlivější, neboť v ischemické kaskádě nastupuje porucha perfuze jako první. (Kamínek, Fikrle, 2008, s. 5)

Perfuze scintigrafie myokardu tedy porovnává prokrvení myokardu za basálních podmínek a v podmínkách maximální vasodilatace a posuzuje tak rezervu koronárního průtoku. Z tohoto důvodu je nedílnou součástí vyšetření kvalitně provedený zátěžový test. (Kuníková, Lang, 2012, s. 14)

SPECT myokardu slouží k diagnostice, lokalizaci a kvantifikaci ischemie. Neméně důležité je posuzování prognózy u pacientů s pravděpodobnou nebo již koronarograficky prokázanou ICHS a detekce ischemie u pacientů po koronární revaskularizaci. Přínosem této metody je také zjišťování viability myokardu u nemocných s dysfunkcí levé komory srdeční a nízkou ejekční frakcí. (Kamínek a kol., 2003, s. 190)

Studie prokázaly, že pro detekci ICHS neinvazivním vyšetřením je optimální indikovat pacienty se střední předtestovou pravděpodobností. Pacienti s vysokou předtestovou pravděpodobností by měli být z diagnostických důvodů odesíláni přímo ke koronarografii, neboť u takových je riziko ICHS významné. Zátěžové vyšetření je dále doporučováno také u asymptomatických diabetiků, pokud jsou současně přítomny 2 – 3 rizikové faktory ICHS, neboť u takových pacientů může být v důsledku diabetické neuropatie problémem nemá ischemie.

Prognostický význam má stratifikace rizika u pacientů s již prokázanou ICHS, kdy se využívá možnost kvantifikace perfuze a funkce LKS. Nízká frekvence kardiálních příhod bývá u pacientů s normální perfuzí po adekvátní zátěži, přestože jim byla ICHS koronarograficky prokázána. Dobrá prognóza bývá i u pacientů s drobným fixním nebo reverzibilním defektem, pokud je zachována dobrá funkce levé komory. Horší prognózu mají nálezy s rozsáhlým reverzibilním nebo fixním defektem, vyšší riziko kardiálních příhod lze také předpokládat u pacientů s pozátěžovou špatnou funkcí levé komory a u postižení více povodí koronárních arterií. Pacientům po koronární revaskularizaci pomůže toto vyšetření odhalit případnou restenózu po perkutánní koronární intervenci či okluzi štěpů po by-passové operaci koronárních tepen a posoudit prognózu po těchto výkonech.

Vyšetřením myokardiální perfuze lze detekovat ischemii i viabilitu, jejíž zhodnocení má význam u pacientů s dysfunkcí levé komory srdeční a nízkou ejekční frakcí. Pokud je dotaz pouze na viabilitu, může se u rizikových pacientů, u kterých není možné bezpečné provedení zátěže, provést samostatné klidové vyšetření, které slouží ke zjištění, zda je určitý segment myokardu LKS ještě životaschopný a zda má smysl revaskularizace. Obvykle ale kardiology zajímá současné stanovení rozsahu a závažnosti ischemie v jednotlivých koronárních povodích, což umožňuje právě zátěžové SPECT vyšetření. Pokud dysfunkční segment s fixním defektem kumuluje méně než 50% maximální aktivity, je považován za jizvu po prodělaném infarktu myokardu. Akumulaci vyšší než 50% svědčí spíše pro hibernující myokard. (Kamínek, Fikrle, 2008, s. 10 – 12) Pro zajištění kontraktilní funkce myokardu je nezbytná normální srdeční tkáň myokardu se zastoupením zdravých myocytů, adekvátní cévní zásobení a dobře fungující převodní systém srdeční, který vytváří a převádí elektrické vzruchy. K ireverzibilním změnám patří koagulační nekróza s rozvojem jizvy po prodělaném infarktu myokardu. Jizevnatá tkáň je z hlediska mechanické funkce méněcenná a je zřejmé, že zdravé segmenty začnou být přetěžovány, protože přebírají funkční zodpovědnost za poškozený myokard. Dochází k adaptační remodelaci levé komory srdeční s následnou dysfunkcí levé komory. Této remodelaci lze v případě hibernace myokardu zabránit revaskularizací. Příčina hibernace myokardu spočívá v chronické hypoperfuzi myokardu a je tedy odezvou na redukcii v průtoku koronární tepnou se snahou o udržení základních celulárních funkcí. Pro obnovení energeticky náročné kontraktilní funkce myokardu je nutné zprůchodnění koronárního řečiště. Jde

tedy o reverzibilní stav, který se může při dlouhodobé nerevaskularizaci změnit na ireverzibilní. (Hutyra a kol., 2008, s. 396 – 399)

3.1 Radiofarmaka

Radiofarmaka jsou léčiva, u kterých je do molekuly nebo na povrch účinné látky navázán radionuklid. Radionuklid je zdrojem ionizujícího záření a slouží jako indikátor ke sledování distribuce farmaka v organismu nebo jako terapeutické agens.

K mapování rozložení radiofarmaka v organismu slouží scintilační kamery. Na rozdíl od jiných vyšetřovacích metod, které podávají informaci o morfologii, poskytuje zobrazení pomocí radiofarmak informaci o funkčním stavu a metabolických přeměnách v organismu.

Příprava radionuklidů probíhá v jaderných reaktorech, cyklotronech nebo přímo na pracovištích nukleární medicíny v radionuklidových generátorech. Nejvýznamnější je molybden - techneciový generátor, který umožňuje výrobu nejčastěji používaného radionuklidu ^{99m}Tc , které vzniká z ^{99}Mo . ^{99m}Tc má optimální vlastnosti z hlediska jaderných charakteristik. Je to čistý zářič gama, energie emitovaných gama - fotonů je 140 keV a poločas přeměny 6 hodin. Je vhodný ke značení řady radiofarmak. Farmaka jsou na oddělení dodávána ve formě tzv. kitů. (Vižďa, Kafka, 1996, s. 349)

V kardiologii jsou používána různá radiofarmaka pro zobrazení různých vlastností myokardu. K radiofarmakům zobrazujícím perfuzi myokardu, která jsou značená ^{99m}Tc , patří v současné době sestamibi a tetrofosmin. Tato radiofarmaka nevykazují redistribuci, proto je nutná dvojí aplikace radiofarmaka pro zjištění stavu perfuze myokardu po zátěži a v klidu. (Kamínek, Fikrle, 2008, s. 7)

^{99m}Tc – methoxyisobutylisonitril je lipofilní kationt, do buňky vstupuje pasivní difuzí a akumuluje se v mitochondriích. Akumulace v myokardu je stabilní několik hodin po intravenózním podání a vylučuje se játry do žlučových cest a do střeva. Farmakokinetika ^{99m}Tc tetrofosminu je podobná jako u MIBI.

^{201}Tl – chlorid thalný je metabolický analog draslíku, do buněk vstupuje hlavně aktivním transportem sodíko-draslíkové pumpy, proto může být akumulován pouze viabilními buňkami. Jeho důležitou vlastností je redistribuce. To znamená, že jeho akumulace v myokardu je úměrná regionálnímu krevnímu průtoku v době aplikace,

postupně ale dochází k jeho uvolňování zpět do krve, až dojde k vyrovnání koncentrací hladin mezi krví a myokardem. Z těla se vylučuje ledvinami. (Kuníková, Lang, 2009, s. 8)

Výhoda podání techneciem značených radiofarmak ve srovnání s ^{201}Tl spočívá v možnosti aplikovat vyšší aktivitu při výrazně nižší radiační zátěži pro pacienta. Důvodem je dlouhý poločas přeměny u ^{201}Tl – 72 hodin. Další nevýhodou ^{201}Tl je nízká energie záření, jejímž důsledkem je horší kvalita obrazů, horší dostupnost a vyšší cena. Výhodou je získání obrazu o stavu regionální perfuze myokardu v zátěži i v klidu při jedné aplikaci radiofarmaka.

Vyšetření se provádí podle jednodenního nebo dvoudenního protokolu. Při jednodenním protokolu se zátěžové i klidové vyšetření provede v jeden den, při dvoudenním protokolu se pacient dostaví k vyšetření ve dvou různých dnech. Protokol určí lékař dle radiofarmaka, diagnózy pacienta a jeho zdravotního a fyzického stavu. Pokud je nález při zátěži normální, není třeba ve vyšetření dále pokračovat. U zátěžových protokolů s ^{201}Tl může být použito schéma, kdy je na vrcholu zátěže naaplikováno 70 – 100 MBq ^{201}Tl (1 MBq/1kg váhy pacienta), je provedena zátěžová část snímání, klidová část následuje ve fázi redistribuce, tj. 3 – 4 hod po zátěži, nebo jeho modifikace, při které je mezi zátěžovou a klidovou akvizicí aplikována reinjekce o aktivitě 30 – 40 MBq ^{201}Tl a následuje klidová část snímání. U zátěžových protokolů s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ značenými radiofarmaky se používají různé varianty dvoudenního nebo jednodenního protokolu. Obvykle se u jednodenního protokolu na vrcholu zátěže aplikuje 250 – 400 MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI a druhé vyšetření je provedeno po aplikaci dvaapůl násobku aktivity, u dvoudenních protokolů, při kterých proběhne klidové a zátěžové vyšetření ve dvou různých dnech, je množství aplikované aktivity v rozmezí 250 – 1000 MBq $^{99\text{m}}\text{Tc}$ MIBI dle hmotnosti pacienta. Dual izotopový protokol je jednodenní protokol, při kterém je aplikováno 70 MBq ^{201}Tl – chloridu v části klidové a po provedení snímání je po zátěži naaplikováno techneciové radiofarmakum. (Staňková, 2010, s. 10)

Před každou aplikací radiofarmaka je nutné ověřit množství aktivity pro konkrétního pacienta výpočtem a kontrolou objemové a měrné aktivity ve stříkačce.

3.2 Příprava k vyšetření

Pacienti jsou s dostatečným předstihem písemně i telefonicky informováni o termínu a průběhu vyšetření. Jsou upozorněni na vysazení betablokátorů 48 hod před zátěžovým testem, o kterém rozhoduje kardiolog a na úpravu jídelníčku, která spočívá ve vyřazení potravin obsahující látky, které potlačují vasodilatační efekt. Pacienti indikovaní ke klidovému vyšetření si s sebou přinesou tučnější svačinu, kterou požijí 15 minut po aplikaci radiofarmaka. To má vliv na vyprázdnění žlučníku, ve kterém se nachází radiofarmakum a rušivý signál ze snímané oblasti se tak eliminuje. K vyšetření přichází pacienti s řádně vyplněnou žádankou, průkazem pojištěnce a výsledkem posledního ergometrického vyšetření. Pokud vyšetřovaný není schopen fyzické zátěže, musí být na žádance uveden důvod. Před podáním radioaktivní látky je štítná žláza blokována tabletou Chlorigenu. Pacienti jsou srozumitelně informováni o charakteru a průběhu vyšetření, podepisují informovaný souhlas s vyšetřením.

3.3 Zátěžové techniky

Na kvalitu provedení zátěžového vyšetření myokardu má úroveň dosažené zátěže a délka jejího trvání zásadní význam. Obvykle je preferována fyzická zátěž na bicyklu nebo běhátku. Tato forma zátěže je fyziologická a může vyprovokovat symptomy, pro které je pacient vyšetřován.

K nejčastějším příčinám, pro které pacient není schopen adekvátní fyzické zátěže, se řadí ortopedické problémy, nevykonnost a nespolupráci pacienta, dále nemožnost vysadit betablokátory, klaudikační bolesti u pacientů s ischemickou chorobou dolních končetin, bolesti páteře a diabetické neuropatie. Tyto příčiny by mohly vést k falešně negativnímu hodnocení celého vyšetření. Proto se u pacientů, kteří jsou fyzicky nevykonní nebo mají jiné limitace pro ergometrické vyšetření, volí farmakologický test.

Podané léky mohou vyvolat dilataci koronárních arterií nebo zvýšit srdeční práci. Mezi látky s přímým vasodilatačním účinkem se řadí dipyridamol a adenosin, další možností je navození nepřímé vasodilatace použitím dobutaminu. (Kamínek a kol., 2000, s. 41 - 42) Farmakologická zátěž dipyridamolem, adenosinem a dobutaminem

má poměrně časté vedlejší účinky, proto je důležité, že se na českém trhu objevil nový preparát pod názvem Rapiscan, jehož hlavní výhodou je právě nižší výskyt vedlejších účinků a v současné době se v České republice zavádí do praxe.

3.3.1 Fyzická zátěž

Při fyzické zátěži dochází v důsledku zvýšených nároků myokardu na dodávku kyslíku k nepřímé vasodilataci a tím ke zvýšení krevního průtoku v koronárním řečišti. 48 hodin před vyšetřením je obvykle doporučováno vysazení betablokátorů, pokud jejich vysazení není kontraindikováno. Jejich účinek by neumožnil žádoucí vzestup tepové frekvence.

Zátěž je nejčastěji realizována na bicyklovém ergometru. Před vyšetřením je pacientům zavedena intravenózní kanyla a jsou napojeni na dvanáctisvodové EKG, je monitorován TK a TF. Zátěž obvykle začíná na 25 – 50 W a postupně se zvyšuje dle fyzických dispozic pacienta. Pokud pacient není limitován dušností, stenokardiemi, výraznými EKG změnami ST segmentu a dalšími symptomy, pokračuje v zátěži až do fyzického vyčerpání. Ukazatelem dostatečné úrovně zátěže je dosažení žádoucí tepové frekvence, která by měla dosáhnout 85% maximální tepové frekvence pacienta nebo hodnota dvojproduktu, která je dána součinem systolického TK a maximální tepové frekvence, nad 25 000. V tuto chvíli je přes kanylu naaplikována radioaktivní látka. Délka trvání zátěže by neměla být kratší jak 4 minuty a pacient by měl po aplikaci radiofarmaka v zátěži pokračovat ještě přibližně 90 vteřin, v závislosti na typu radiofarmaka. V této době se radiofarmakum naváže na nitrobuněčné struktury v myokardu.

Po celou dobu trvání zátěže je pacient monitorován, je sledován a zaznamenáván TK, TF a EKG. Pokud se v průběhu vyšetření objeví symptomy, pro které je pacient vyšetřován, je nutná okamžitá aplikace radioaktivní látky a ukončení zátěže. Vždy jsou k dispozici pomůcky pro případnou resuscitaci – defibrilátor, laryngoskop, ambuvak, kyslík a léky. Po celou dobu vyšetření je přítomen personál pravidelně školený v kardiopulmonální resuscitaci. Pacient přichází pod kameru přibližně do 5 minut od aplikace radiofarmaka. V některých případech je nezbytně nutné se fyzické zátěže vyvarovat. Důvodem může být akutní infarkt myokardu, nestabilní angina pectoris,

nekontrolovaná arteriální hypertenze, nedostatečně kompenzované srdeční selhání a závažná mitrální nebo aortální stenóza. (Kamínek a kol., 2000, s. 41 - 42)

3.3.2 Farmakologická zátěž

Pacientům, u kterých je kontraindikace fyzické zátěže nebo u takových, kteří nejsou schopni adekvátní fyzickou zátěž podstoupit, je doporučována jako alternativa k navození dysbalance mezi požadavky myokardu na kyslík a jeho dodávkou zátěž farmakologická. K farmakům navozující přímou vasodilataci patří dipyridamol a adenosin, k látkám zvyšujícím double - product patří dobutamin.

Dipyridamol inhibuje návrat adenosinu do myokardiální buňky a adenosin se tak akumuluje extracelulárně a přímo navozuje dilataci arteriol myokardu, což zvýší průtok koronárním řečištěm přibližně čtyřikrát. Aterosklerózou postižené koronární cévy jsou již dilatované a proto je po podání dipyridamolu možné jen malé nebo žádné zvýšení průtoku. Před vyšetřením je nutné nejméně 12 hod vysadit látky obsahující kofein a methylxantinové deriváty. Pacientovi je zavedena i. v. kanyla, je napojen na EKG, které je během vyšetření sledováno a zaznamenáváno včetně měření TK a TF. Podává se 0,56 mg/kg váhy pacienta + fyziologický roztok. Infuze je aplikována pomocí infuzní pumpy po dobu 4 minut. Maximální efekt účinku se dostaví 4 minuty po skončení infuze. V tuto chvíli se aplikuje radiofarmakum. Při výskytu nežádoucích účinků způsobené vasodilatací cév se ke zrušení vlivu dipyridamolu aplikuje jako jeho antidotum Syntophylin v dávce 100 – 300 mg. Z nežádoucích účinků se může objevit bolest na hrudi, bolest hlavy, nevolnost, pocit horka, hypotenze a další. Dipyridamol se podává pacientům neschopným adekvátní fyzické zátěže a u pacientů s LBBB. Kontraindikace použití Dipyridamolu jsou stejné jako u fyzické zátěže a navíc k nim patří astma bronchiale, kdy hrozí riziko bronchospasmu, hypotenze, pokud je naměřen systolický tlak nižší než 90 mm Hg a plicní hypertenze. (Kamínek a kol., 2000, s. 41 - 42)

Výhodou adenosinu je možnost rychlého přerušení jeho efektu při výskytu nežádoucích účinků z důvodu krátkého biologického poločasu. Doporučená dávka v diagnostickém testu je 0,14 mg/kg/min během 6 – ti minut.

Dobutamin patří mezi sympatikomimetika a zvyšuje spotřebu kyslíku v myokardu tím, že svým vlivem zvyšuje srdeční frekvenci, TK a kontraktilitu

myokardu, což vede k nepřímé vasodilataci koronárního řečiště. Dobutamin tedy svým farmakologickým mechanismem navozuje situaci podobnou té, která vzniká při fyzické zátěži. Před tímto testem je nutné vysazení betablokátorů 48 hod před vyšetřením. Dobutamin se podává pomocí infuzní pumpy, počáteční nízká dávka dávka 10 µg/kg/min se postupně po 3 minutových intervalech zvyšuje o 10 µg/kg/min až po maximální dávku 40 µg/kg/min. V průběhu testu je pacientům monitorován a zaznamenáván TK, TF a EKG. Pokud pacient nedosáhne žádoucí tepové frekvence, může se k dosažení tachykardie podat intravenózně atropin. Radiofarmakum se aplikuje 1-2 minuty před ukončením protokolu. Vedlejší účinky lze blokovat metoprololem v dávce 1-5 mg. Kontraindikace jsou stejné jako u fyzické zátěže. K dalším kontraindikacím patří komorová tachyarytmie, hypertrofická kardiomyopatie a závažná hypertenze. (Kamínek a kol., 2000, s. 42) Frekvence obtíží při farmakologické zátěži je shrnuta v tab. 1.

Tab. 1: Frekvence obtíží při farmakologické zátěži dipyridamolem, adenosinem a dobutaminem (vyjádřeno v procentech z celkového počtu vyšetřených osob). In: Kamínek a kol., 2000, s. 41.

Obtíže	Dipyridamol (23) (n = 3 911)	Adenosin (37) (n = 607)	Dobutamin (38) (n = 144)
Bolest na hrudi	20%	34%	31%
Bolest hlavy	12%	21%	14%
Závratě	12%	7%	4%
Nauzea	5%	5%	9%
Hypotenze	5%	3%	0%
Flush	3%	35%	20%
Palpitace	3%	-	30%
AV blok I. a II. st.	-	13%	-
Dušnost	3%	19%	14%
Parestezie	1%	-	12%
EKG změny ST segmentu	8%	13%	50%
Fatální IM	0,1%	0	0
Nefatální IM	0,1%	0	0
Bronchospasmus	0,2%	0,2%	0
CELKEM	47%	80%	75%

V USA je přibližně 50% zátěžového vyšetření perfuze myokardu u pacientů se známou nebo předpokládanou koronární nemocí prováděno pomocí farmakologické

zátěže. Farmakologická zátěž je určena pro pacienty, kteří nejsou schopni adekvátní fyzické zátěže, dále pro ty, kteří mají LBBB nebo pacemaker. Zhruba 30% pacientů mladších 75 let a 50% pacientů nad 75 let nejsou schopni adekvátní fyzické zátěže. Spektrum farmakologické zátěže je široké a patří zde dobutamin, arbutamin, dipyridamol, adenosin nebo selektivní agonista regadenoson (Lexiscan, Binodenoson, Apadenoson). Účinky těchto léčiv jsou specifikovány v tab. 2.

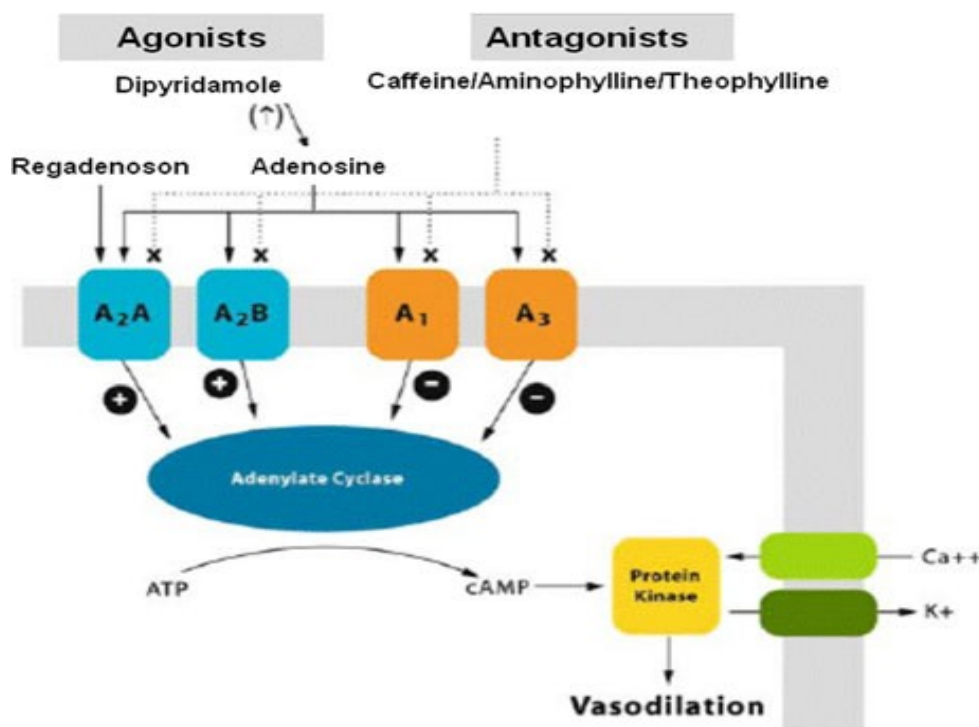
Tab. 2: Účinky binodenosonu, apadenosonu a regadenosonu. In: Zoghbi, Iskandrian, 2012, s.

129.

	Binodenoson	Apadenoson	Regadenoson
Selektivita	+++	++++	++
Afinita	+++	+++++	+
Potence	+++	++++	++
Nástup hyperemie	< 1 minuta	<1 minuta	20 – 40 sekund
Trvání hyperemie	10 minut	4 – 5 minut	2 – 3 minuty
Eliminace			Ledviny (57%)
Podání	Bolus	Bolus	Bolus
Dávka	Závislá dávka	Fixní dávka	Fixní dávka
Antidotum	Aminophylin	Aminophylin	Aminophylin
Klinické studie	Kompletní	Fáze III	Kompletní
Schválení FDA	Ne	Ne	Ano

Podle statistik je v USA provedeno 68% zátěže regadenosonem, 15% adenosinem, 13% dipyridamolem a 4% dobutaminem. Adenosinové receptory jsou lokalizovány ve více tkáních a jsou rozděleny do 4 podtypů – A₁, A_{2A}, A_{2B} a A₃.

Po navázání látky na tyto receptory je spuštěna kaskáda metabolických dějů, která způsobí uvolnění hladkého svalstva a dilataci arteriol. Ideální látka pro vyšetření je taková, která selektivně působí pouze na A_{2A} receptory a má minimální nebo žádnou stimulaci pro receptory ostatní a tudíž minimum vedlejších účinků, jak je znázorněno na obr. 1.



Obr. 1: Rozdělení adenosinových receptorů. In: Zoghbi, Iskandrian, 2012, s. 127.

K nárokům na ideální vasodilatační látku patří požadavek, aby selektivní A_{2A} receptor agonista způsobil selektivní vasodilataci koronárních tepen, aby měl rychlý nástup účinku a doba jeho trvání byla sice krátká, ale dostatečně dlouhá k tomu, aby se radiofarmakum vychytalo v době maximální hyperemie, aby koronární hyperemii způsobil a zvýšil tak koronární průtok přibližně 2 – 3 násobně. Mezi další požadavky patří jednoduché podání, na váze nezávislý bolus, minimum vedlejších účinků a snadné zrušení vedlejších efektů pomocí antagonistů.

Zajímavá je vysvětlení, proč je regadenoson podáván pro všechny pacienty jednotně ve stejné koncentraci 0,4 mg/5 ml, kterou není třeba upravovat dle hmotnosti. Toto je dáno skutečností, že v lidském těle je limitovaný počet adenosinových A_{2A} receptorů nezávislý na hmotnosti pacienta. Bezprostředně po aplikaci jsou tyto receptory obsazeny, proto je nutné regadenoson podávat jako 10 – ti sekundový bolus a radiofarmakum je aplikováno 20 s po podání regadenosonu. Hemodynamický efekt regadenosonu spočívá ve vzestupu tepové frekvence asi o 20 tepů/min a pokles systolického TK o 24, ± 15 a pokles diastolického TK o 12, ± 10.

Ve skupině 36 pacientů, u kterých byla prokázána ischemie pomocí zátěže s adenosinem – ^{99m}Tc a s odstupem 40 – ti dnů provedená stejná studie pomocí regadenosonu, byl prokázán souhlas těchto vyšetření v 89%. Ve studii, která

porovnávala možnost nežádoucích účinků v závislosti na množství regadenosonu v dávce 0,4 mg a 0,5 mg byl vedlejší efekt zaznamenán u 61% lidí s dávkou 0,4 mg a u 83% lidí s dávkou 0,5 mg. Během této studie se nevyskytly bronchospasmy, AV blokáda 2. a 3. stupně, infarkt myokardu nebo srdeční smrt. Vedlejší účinky, ke kterým patří třes, dušnost, zarudnutí, bolest na hrudníku a jiné jsou samozřejmě možné, byla však ověřena větší tolerance u regadenosonu než u adenosinu.

Pacienti s astma bronchiale a CHOPN jsou pro použití adenosinu více riziková. Proto je vhodné u těchto diagnóz použít regadenoson, u kterého je riziko bronchospasmu minimální. U pacientů s jaterním a ledvinovým onemocněním se závažné vedlejší účinky taktéž neprojeví.

Závěrem lze říct, že selektivní agonista A_2A receptorů regadenoson významně obohacuje spektrum zátěžových technik pro SPECT zobrazování myokardu. Regadenoson byl FDA schválen v dubnu 2008, jeho použití jako farmakologického stresoru je oproti adenosinu a dipyridamolu více akceptováno pro jeho snadné podání a dobré toleranci. Další A_2A agonisté jsou zatím ve vývoji. (Zoghbi, Iskandrian, 2012, s. 126 – 130)

3.4 SPECT

Single photon emission computed tomography neboli jednofotonová emisní výpočetní tomografie patří k nejpoužívanějším metodám v nukleární kardiologii k průkazu, lokalizaci a kvantifikaci ischemie. Senzitivita i specificita této metody pro detekci ICHS je vyšší než 85%.

Vyšetření je obvykle realizováno na dvoudetektorové kameře se vzájemným uspořádáním detektorů do pravého úhlu. Výhoda dvoudetektorových systémů spočívá v kratším nahrávacím čase, neboť oba detektory zaznamenávají data současně. V průběhu střádání dat se detektory otáčejí v postupných krocích kolem pacienta. Pokud je krokování nastaveno po šesti stupních, je počet výsledných obrazů 30. Akvizice se provádí při použití 8 nebo 16 framového gatingu, počet projekcí 30 – 64 v úhlu rotace 180° z pravé přední šikmé projekce 45° do levé zadní šikmé projekce 45° . Pomocí EKG gated SPECT je možné při jednom vyšetření pacienta získat informace nejen

o prokrvení myokardu, ale také o funkci a kinetice levé komory. (Kamínek, Fikrle, 2008, s. 7 – 10)

Princip gatingu spočívá v rozdělení určitého počtu srdečních cyklů na několik časových úseků, nejčastěji 8 až 16. R – kmit v EKG záznamu synchronizuje začátek jednotlivých srdečních cyklů. Po skončení tomografického snímání se sledují obrazy pohybu srdce během celého srdečního cyklu ze všech pohledů na levou komoru. Nález na gated SPECT lékaři vždy hodnotí v kontextu s perfuzí. (Kasalický, 1999, s. 63 – 64)

Pacient si před vyšetřením odloží kovové předměty a oděv do poloviny těla. V první fázi vyšetření leží na zádech, ruce složené nad hlavou, nohy vypodložené klíny pro větší pohodlí během vyšetření. Aby byla vrstva tukové tkáně co nejtenčí, používají se k odtlačení příliš objemných prsou gumové pásy. Na hrudník se napojí 3 elektrody z důvodu synchronizace záznamu s EKG křivkou. Ve druhé fázi vyšetření zaujme pacient polohu na břicho, tzv. prone, při které se lépe odliší artefakty od skutečného defektu poruchy prokrvení na spodní stěně myokardu. (Kuníková, Lang, 2009, s. 10 -11)

Technickou limitací u SPECT je skutečnost, že metoda posuzuje pouze regionální perfuzi myokardu. Z tohoto důvodu může dojít k podhodnocení perfuzních změn v jednotlivých povodích u pacientů s nemocí tří tepen a jako abnormální se zobrazí pouze jedno povodí. Velkým přínosem by se proto mohla stát speciální kardiologická kamera „ultrafast“ SPECT, která má krystaly z Cadmium Zink Teluridu. Tato revoluční kamera se konstrukčně přibližuje technologii PET s prstencem mnoha detektorů uspořádaných v půlkruhu. Detektory u této kamery již nerotují, ale pomocí tzv. multipinhole kolimace jsou současně snímány všechny projekce všemi detektory, u kterých není potřeba fotonásobičů. Každý pinhole kolimátor osvětluje příslušný krystal s polovodičem a dochází k přímé konverzi záření gama na napěťový impuls. Extrémě rychlé střádání dat umožňuje více než dvakrát snížit aplikovanou aktivitu a dostat se k hodnotám kolem 1 mSv za současné významné redukce akvizičního času, která se pohybuje kolem dvou minut. A právě tato extrémě rychlá akvizice dat nabízí možnost kvantitativního hodnocení absolutního koronárního průtoku. (Kamínek a kol., 2012, s. 69 – 70)

Nedílnou součástí vyšetření je následná rekonstrukce dat, při které jsou vytvořeny řezy ve třech rovinách na sebe kolmých. Pomocí rekonstrukčních algoritmů lze na základě získaných dvourozměrných projekcí vytvořit trojrozměrné zobrazení

objektu. Při rekonstrukci obrazu je možné vybrat si mezi filtrovanou zpětnou projekcí a iterativní rekonstrukcí.

Filtrovaná zpětná projekce má výrazně nižší nároky na výpočetní výkon. V prvním kroku je provedena filtrace samotných projekcí. Pomocí digitálního filtru jsou potlačeny hvězdicovitě uspořádané artefakty, které se nachází v místech, která neodpovídají reálným strukturám objektu. Poté následuje matematická rekonstrukce obrazu. Při rekonstrukci jsou vytvářeny příčné řezy z jednotlivých projekcí. Všechny informace v jednotlivých pixelech z každé projekce jsou hromadně zpětně promítnuty do obrazové matice v paměti počítače. Vlastní výpočet je řešen pomocí matematických operací. K nevýhodám této metody patří skutečnost, že projekční data obsahují určitý podíl šumu, který může být při použití filtru zesilován. Tato metoda tedy neumožňuje snížení dávky, aniž by došlo k výraznému nárůstu šumu v obraze.

Alternativní metodou rekonstrukce obrazu je iterativní rekonstrukce. Tato technika patří v současné době k nejperspektivnějším opatřením, která umožňují redukovat dávku záření. Projekční data v nukleární medicíně mají ve srovnání s CT větší podíl šumu a menší množství projekčních dat. Protože je maximálně žádoucí významné potlačení tohoto šumu, stala se iterativní rekonstrukce základem pro výpočet obrazů emisní tomografie. Hlavní výhodou této metody je kromě snížení úrovně šumu v obraze možnost provedení vyšetření s podstatně nižší dávkou záření. K nevýhodám metody patří jednoznačně výrazně vyšší časová a výpočetní náročnost. Princip iterativní rekonstrukce spočívá v hledání nejvěrnějšího obrazu postupnými iteracemi výchozího hrubého odhadu, kterým může být například obraz získaný filtrovanou zpětnou projekcí. Každý nový obraz je zrekonstruován aplikací korekčních faktorů na zpětné projekce a slouží jako vstupní odhad do dalšího iteračního cyklu. Opakovaným výpočtem projekcí, porovnáváním a úpravami odhadu objektu vzniká finální obraz. (Žižka, 2011, s. 169 – 176)

3.5 Obrazové artefakty

V průběhu nahrávání a zpracování dat mohou vzniknout situace, v důsledku kterých by mohlo dojít ke zkreslení nálezu a tím k falešně pozitivnímu vyhodnocení celého vyšetření. Znalost těchto situací je tedy nezbytná. Zdroje obrazových artefaktů

se dělí na faktory dané samotným pacientem a na faktory vyplývající z techniky vyšetření a zpracování informací.

Pohyb pacienta během střádání dat se může projevit jako perfuzní defekt. Před zahájením studie je tedy nutné upravit polohu pacienta tak, aby bylo zajištěno co největší pohodlí během snímání. Obvykle se používají klíny k vypodložení rukou a nohou, pacientům trpícím bolestí se s dostatečným předstihem podají analgetika, u nemocných s kašlem antitusika. Pokud nastane situace, že i přes tato opatření dojde k pohybu pacienta, je možné použít software, který posun koriguje. Pokud je pohyb příliš velký, je nutné záznam opakovat.

Dalším problémem se mohou stát artefakty způsobené zeslabením záření při průchodu tkání. Aby byla vrstva tukové tkáně co nejtenčí, je nutné u žen s objemnými prsy použít gumové pásy. Předchází se tak artefaktům v oblasti přední stěny myokardu. Na spodní stěně myokardu může být porucha prokrvení způsobena interferencí břišních orgánů a častěji se vyskytuje u obézních mužů. K odlišení tohoto artefaktu od skutečného perfuzního defektu se provádí vyšetření pacienta vleže na břiše, tzv. prone. (Kuníková, Lang, 2007, s. 28)

Podrobněji se o korekci na zeslabení vyjadřuje Janeba a kol., který připomíná, že nositelem informací v nukleární kardiologii jsou fotony ionizujícího záření a kvalita zobrazení je ovlivňována absorpcí záření. Určité množství záření gama je během průchodu tkání od místa svého vzniku směrem k detektoru absorbováno při interakci s tkáněmi fotoefektem a Comptonovým rozptylem. V důsledku absorpce záření dochází k poklesu hustoty toku fotonů emitovaných z pacientova těla a při hodnocení vyšetření by mohlo dojít k podhodnocení emise z hlouběji uložených struktur a naopak k nadhodnocení emise z míst blíže k povrchu těla. Zeslabení záření absorpcí se nazývá atenuace. Pokles četnosti fotonů závisí na délce dráhy, energii záření gama a absorpčním koeficientu. V oblasti hrudníku se absorpční koeficienty výrazně mění z důvodu přítomnosti tkání jak s nízkou, tak s vyšší absorpcí. Aby při interpretaci nálezů nedocházelo k chybám, může se k odlišení artefaktů od skutečných perfuzních defektů použít na tuto absorpci korekci. Pro provedení korekce absorpce je nutné znát rozložení absorpčních koeficientů v pacientově těle. Při použití transmisní metody korekce na atenuaci je pacient prozářen vnějšími zdroji záření gama nebo X a na základě zeslabení se stanoví absorpční koeficienty, což jsou mapy lineárního součinitele zeslabení, pomocí nichž se pak provede korekce emisních dat. Jako zdroj

transmisního záření nám mohou posloužit jak gadoliniové zářiče, tak u hybridních přístrojů CT. (Janeba a kol., 2001, s. 262 – 263)

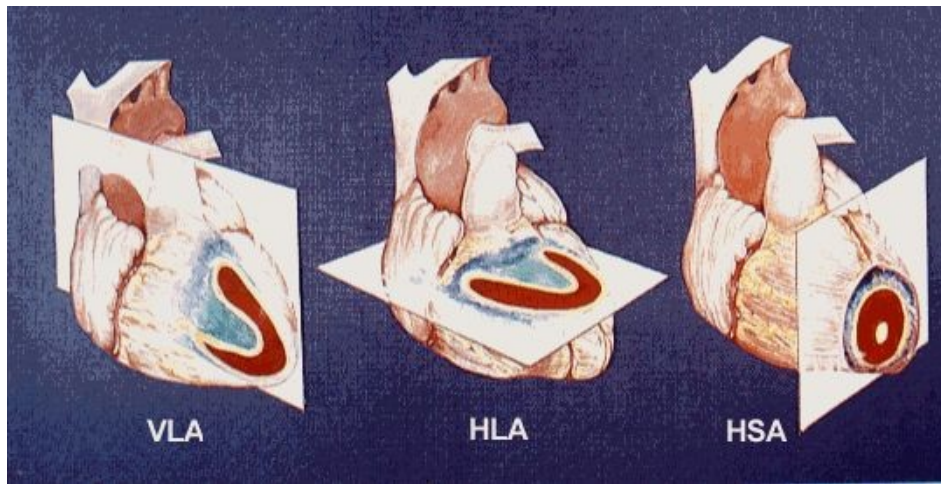
Další artefakty mohou způsobit techneciová radiofarmaka, která se vylučují játra do žlučových cest a střeva. Vlivem anatomického uspořádání mohou játra překrývat spodní stěnu myokardu a mohlo by dojít ke vzniku perfuzních defektů ve zbylých oblastech. U takových pacientů se volí snímkování s delším časovým odstupem. U pacientů s duodenogastrickým refluxem se může díky refluxu dostat radioaktivita z duodena do žaludku a opět může dojít k překrytí spodní stěny myokardu.

Pro výpočet tomografických řezů bývají používány algoritmy, které umí vytvářet obrazy řezů pouze v základních tělesných rovinách, proto se musí dlouhá osa LKS nejprve rotovat, aby byla vodorovná a směřovala ventrálně. Při přítomnosti velkých defektů může počítač chybně vymezit oblast, z níž mají být tvořeny řezy. U takových pacientů je nutná manuální korekce. Pro vytvoření polárních map, které jsou nezbytné pro kvantifikaci, je potřeba nejprve zkontrolovat polohu hrotu LKS. K chybnému stanovení polohy může dojít u pacientů s perfuzním defektem v oblasti hrotu. Automatické nastavení vymezení polohy hrotu do oblasti, kde končí tkáň akumulující radiofarmakum, proto je potřeba hranici posunout na místo, kde by se měl hrot nacházet. (Kuníková, Lang, 2007, s. 28 – 29)

Pravidelná kontrola scintilačních kamer je jedním z předpokladů, jak lze předejít chybné interpretaci výsledků. Pro ověřování kvality scintilačních kamer jsou vypracovány postupy kontrol jednotlivých parametrů přístroje. Provádění těchto testů je nezbytnou součástí provozu scintilačních kamer. K těmto testům patří měření homogenity zorného pole, což znamená hledání odezvy detekčního systému na homogenní ozáření tohoto pole. U moderních kamer je hodnota homogenity pod hranicí 3%. Každý měsíc je vytvářena nová korekční mapa citlivosti, která koriguje nehomogenity v obraze. K dalším zkoumaným parametrům patří citlivost detektoru s kolimátorem a je vyjádřena poměrem mezi četností impulzů radioaktivního zdroje a aktivitou daného zdroje. Citlivost je měřena pro každý typ kolimátoru a je nepřímo úměrná prostorovému rozlišení. Celkové rozlišení SPECT kamery je dáno rozlišením detektoru, které u moderních kamer dosahuje 3 - 4 mm a rozlišením kolimátoru, které závisí na jeho konstrukci. Ta určuje, jaký bude mít výsledný obraz vlastnosti. Se zvětšující se vzdáleností objektu od čela kolimátoru klesá rozlišovací schopnost. (Fiala a kol., 2008, s. 11 – 16)

3.6 Hodnocení vyšetření

Data získaná z mnoha projekcí jsou ukládána v paměti počítače a následnou rekonstrukcí převedena na trojrozměrný obraz. Postprocessingovým zpracováním dat jsou vytvořeny řezy LKS ve třech na sebe kolmých rovinách reorientovaných dle podélné osy LKS. VLA je řez ve vertikální dlouhé ose, HLA je řez v horizontální dlouhé ose a HSA je řez v horizontální krátké ose. Tyto řezy jsou zobrazeny na obr. 2.



Obr. 2: Schematické znázornění tomografických řezů: VLA, HLA, HSA. In: Kamínek, *Perfúzní scientigrafie myokardu: normální nález* [online]. © 1999-2010.

Na těchto řezech se vizuálně hodnotí rozložení radioaktivity po zátěži a za klidových podmínek. Regionální distribuce myokardiální perfuze je posuzována dle barevné škály podle počtu naměřených impulzů. Nálezy jsou tříděny na normální pozátěžovou perfuzi a na nálezy s reverzibilním defektem odpovídající ischemii nebo s fixním defektem svědčící pro jizvu po prodělaném infarktu myokardu. (Kamínek a kol., 2012, s. 69) Na obr. 3 jsou zobrazeny řezy při zátěži a v klidu.



Obr. 3: Perfuzní scintigrafie myokardu-SPECT, zátěžové a klidové zobrazení, řezy HLA, VLA a HSA. In: Kamínek, *Prognostický význam SPECT myokardiální perfuze (fatální kardiální příhoda u pacienta s ischemií po PTCA)* [online]. © 1999-2010.

Nestačí pouze zjistit defekt, důležitá je jeho kvantifikace. K té se používá konstrukce polárních map, na kterých se porovnávají polární mapy nemocného s databází zdravé populace. Rozsah defektu může být kvantifikován pomocí tzv. defekt blackout map, kdy je při zhoršení perfuze o více než 2,5 standardních odchylek ve srovnání s normálovou databází popsán perfuzní defekt.

Pro současnou kvantifikaci rozsahu a závažnosti perfuzních defektů se používá segmentární skórovací systém, vycházející ze 17 – ti segmentového modelu LKS a perfuze v jednotlivých segmentech je opět porovnávána s normálovou databází. Po sečtení bodů v jednotlivých segmentech se stanoví sumační zátěžové skóre, které podává informaci o rozsahu a závažnosti perfuzních abnormalit a sumační rozdílové skóre, které je ukazatelem množství samotné ischemie.

Při hodnocení funkčních parametrů levé komory se vizuálně sleduje 3D zobrazení LKS, na kterém je endokard v end-dia stole zobrazen mřížkou, endokard v end-systole zobrazen barevně a lékař hodnotí regionální kinetiku srdečního svalu

v jednotlivých segmentech. Pomocí gated SPECT software vypočítá objemy pozátěžové a klidové ejekční frakce LKS, objemy komory v end – diastole a end – systole. Ejekční frakce LKS patří mezi nejdůležitější funkční parametry a představuje poměr tepového objemu a objemu LKS na konci diastoly a je ukazatelem výkonnosti srdce. Bylo prokázáno, že riziko závažné kardiální příhody u pacientů s normálním nálezem na SPECT je menší než 1% ročně. Pacienti s průkazem ischemie do 10% z levé komory mají větší prospěch z medikamentózní léčby a naopak pacienti se závažnější ischemií profitují z revaskularizace. (Kamínek, Fikrle, 2008, s. 7 – 10)

4 POROVNÁNÍ SPECT A ZÁTĚŽOVÉ ECHOKARDIOGRAFIE

Zátěžová echokardiografie a zobrazování myokardiální perfuze jednofotonovou emisní tomografií vykazují vysokou citlivost v diagnostice ICHS. Při srovnání obou metod vykazuje vyšší senzitivitu SPECT, neboť v ischemické kaskádě nastupuje heterogenita perfuze jako první, což lze zobrazit právě na SPECT. Ve studiích byla vyšší senzitivita u SPECT ve srovnání se zátěžovou echokardiografií 85% vs 75%. Vyšší senzitivita byla prokázána u pacientů s nemocí jedné tepny i u rizikových pacientů s nemocí více tepen. Mírně vyšší specifická byla prokázána u zátěžové echokardiografie, kde je vizualizována porucha systolické funkce při vyšším stupni zátěže.

Při srovnání obou metod je důležité vzít v úvahu jejich výhody a nevýhody. Obě metody s vysokou přesností detekují ICHS. Výhodou echokardiografie je zejména absence ionizujícího záření a také nižší cena, metoda je však vysoce závislá na zkušenostech vyšetřujícího lékaře. SPECT umožňuje přesnější lokalizaci defektu, kvantifikaci rozsahu a závažnosti perfuzních abnormalit, stanovení sumačního zátěžového a rozdílového skóre, pomocí EKG – gated SPECT výpočet ejekční frakce LKS objemů v end – systole a end – diastole. Poskytuje také informace o regionální kinetice.

Z výsledků vyšetření byla prokázána vysoká shoda mezi kvantifikací perfuze a funkcí LKS. U některých pacientů, například při posuzování viability myokardu, je přínosem kombinace obou vyšetřovacích modalit. Při volbě vyšetřovacích metod pro detekci ICHS záleží na celé řadě faktorů, zejména na samotném pacientovi a jeho schopnosti podstoupit zátěž a na regionální dostupnosti vyšetřovacích metod. (Kamínek, 2007, s. 1245 – 1246)

V klinické praxi se nejvíce v zátěžové echokardiografii uplatnila farmakologické zátěž s dobutaminem. Při retrospektivní analýze ve skupině 96 pacientů byla porovnána diagnostická citlivost zátěžové echokardiografie pomocí dobutaminu a jednofotonové emisní výpočetní tomografie. Obě metody vykázaly v diagnostice ICHS vysokou shodu, která byla hodnocena stanovením hodnoty k , jak je uvedeno v tab. 3.

Tab. 3: Diagnostická citlivost zátěžové echokardiografie dobutaminem (DZE) v porovnání se SPECT. In: Valočík a kol., 2007, s. 1305.

	Senzitivita (%)	Specifická (%)	Pozitivní prediktivní hodnota (%)	Negativní prediktivní hodnota (%)	Shoda (κ)
DZE spolu	78	93	89	85	0,71
DZE muži	83	92	95	73	0,70
DZE ženy	69	93	79	89	0,64

Hodnota $\kappa < 0,2$ znamenala malou shodu, hodnota $\kappa 0,2 - 0,4$ vyjadřovala uspokojivou shodu, hodnota $\kappa 0,4 - 0,6$ středně velkou shodu, hodnota $\kappa 0,6 - 0,8$ dobrou shodu a hodnota $\kappa > 0,8$ velmi dobrou shodu mezi vyšetřovacími metodami.

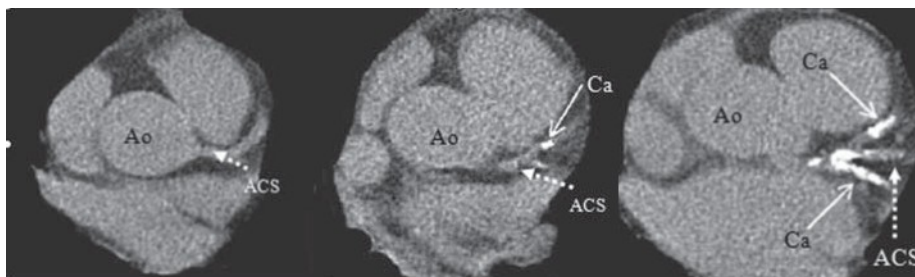
Vzhledem k vysoké ekonomické zátěži zobrazovacích metod je znalost citlivosti a jejich správného využití v klinické praxi velmi důležitá. Pokud by byly využívány pouze levnější vyšetřovací metodiky s nižší diagnostickou validitou, mohlo by dojít k poškození pacienta. Při porovnání finančních nákladů byla zátěžová ergometrii určena hodnota 1, dobutaminová zátěžová echokardiografie představuje 2,1 krát vyšší finanční náklady a u SPECT je finanční zátěž až 5,7 krát vyšší. (Valočík a kol., 2007, s. 1306 – 1307)

V současné době se neinvazivní zobrazování myokardu stalo důležitou součástí vyšetřování pacientů s ICHS a lékař tak může volit mezi řadou vyšetřovacích modalit. Zobrazování myokardiální perfuze jednofotonovou emisní výpočetní tomografií a zátěžová echokardiografie však nadále zůstávají nejčastěji používanými metodami. Pokrok v technologii výpočetní tomografie umožnil další zobrazování, ke kterým patří stanovení kalciového skóre a zobrazení koronárních tepen pomocí neinvazivní CT koronarografie. Stále více přibývá důkazů o zlepšení přesnosti diagnostiky ICHS při začlenění CT do metodiky zobrazování perfuze myokardu. (Kamínek, 2007, s. 1245) Přestože je koronarografie považována za zlatý standart při hodnocení ICHS, bylo potvrzené, že koronarografie často podhodnocuje koronární nemoc srdce, neboť nehodnotí perfuzi myokardu a stupeň stenózy zjištěný při koronarografii není schopen vypovídat o hemodynamické významnosti stenózy. Často je potvrzen rozpor mezi nálezy z koronarografie a metodikami, které hodnotí perfuzi myokardu. Až v 50% případů stenóz hodnocené při angiografii jako nevýznamné ($< 50\%$ zúžení lumen tepny) byla prokázána souvislost s ischemií myokardu. (Valočík a kol., 2007, s. 1306 – 1307)

5 KORONÁRNÍ KALCIOVÉ SKÓRE

K hlavním příčinám ischemické choroby srdeční patří ateroskleróza. Proces aterosklerózy je akcelerován poruchou kalcium-fosfátového metabolismu, který vede ke zvýšenému ukládání vápníku v tepnách, což je spojeno s jejich přestavbou. (Metelková a kol., 2010, s. 1123) Existuje významná závislost mezi tíží ischemické choroby srdeční a kalcifikacemi v koronárních tepnách. Vápník se ve zvýšené míře vyskytuje v aterosklerotických plátech. Zdravá cévní stěna je bez kalcifikací. Proto průkaz kalcifikací v koronární tepně svědčí pro aterosklerotické postižení, které je zřejmé na obr. 4. (Neumann a kol., 2011, s. 280)

Stanovení kalciového skóre se provádí pomocí výpočetní tomografie bez nutnosti aplikovat kontrastní látku, je neinvazivní a nevyžaduje žádnou přípravu. Šochman upozorňuje, že vyšetření nenahrazuje koronární angiografii, ale zpřesňuje představu o kardiovaskulárním riziku pacientů a pomáhá při rozhodování o volbě dalších vyšetřovacích metod v kardiologii nebo při rozvaze o indikaci k invazivnímu vyšetření. Se zvyšující se hodnotou kalciového skóre roste riziko závažných kardiálních příhod. (Šochman a kol., 2006, s. 714)



Obr. 4: CT srdce – příčný řez v úrovni aorty a levé věnčité tepny, A – absence kalcia, B – malé množství kalcia v ACS, C – velké množství kalcia v ACS. In: Branny, *Kalciové skóre* [online]. Copyright 200.

Přestože byl jednoznačně prokázán prognostický význam stanovení koronárního kalcia, je určitým omezením skutečnost, že ani jeho vysoká hodnota nevyovídá o přítomnosti obstrukční či neobstrukční ICHS. A nelze proto oddiferencovat, kteří pacienti budou více profitovat z medikamentózní léčby a kteří z koronární revaskularizace. Proto se v případě asymptomatických pacientů s významnými

kalcifikacemi doporučuje provedení zátěžového SPECT zobrazení perfuze myokardu. (Budíková a kol., 2011, s. 700)

Protože tedy průkaz kalcifikací v koronárních tepnách nevypovídá o hemodynamické významnosti koronární stenózy, je výhodné toto morfologické vyšetření kombinovat s funkčním vyšetřením, což umožňuje právě SPECT zobrazení perfuze myokardu. (Metelková a kol., 2010, s. 1128)

Zaváděním hybridních přístrojů pro jednofotonovou emisní tomografii vybavených CT nižší až střední kvality se začalo používat kalciové skóre jako součást SPECT vyšetření. Jedno CT slouží ke korekci na atenuaci i pro měření kalciového skóre. Efektivní dávka je u tohoto vyšetření nižší než 1 mSv. Průkaz extenzivních kalcifikací může být i při normálním nálezu na SPECT důvodem k odeslání pacienta k invazivní koronarografii. (Kamínek a kol., 2012, s. 71)

V průběhu vyšetření leží pacient na zádech, ruce složené nad hlavou a je připojen na EKG CT přístroje. Podle topogramu se vymezi vyšetřovaná oblast. Následuje vlastní vyšetření podle protokolu v nádechu. Střádání dat se provádí v určité fázi EKG cyklu. Šířka řezu je obvykle 3 mm a při jedné rotaci se získá 6 obrazů, následuje posun stolu s pacientem o 18 mm a další scan.

Během vyšetření se získá kolem 60 ti obrazů řezů srdce. Čím tenčí řezy, tím vyššího skóre by bylo možné dosáhnout. Pro identifikaci kalcifikovaných lézí se používá hranice 130 Hounsfieldových jednotek. Pomocí speciálního programu se kalcifikace barevně označí podle anatomické příslušnosti ke koronární tepně.

Dle hodnot kalciového skóre jsou pacienti následně zařazeni do kategorií s příslušným rizikem kardiovaskulárního onemocnění. Do kategorie s minimálním rizikem jsou zařazeni vyšetřovaní, u kterých byla naměřena hodnota kalciového skóre pod 10. Hodnota 11 – 100 poukazuje na mírné riziko kardiovaskulární příhody s předpokladem významné obstrukce aterosklerotickými pláty nižší než 20%. Pacienti jsou nabádáni ke zdravému životnímu stylu a ke kontrolám hladin cholesterolu a glykémie. Do kategorie se středním stupněm koronární aterosklerózy a vyšší pravděpodobností koronární nemoci jsou řazeni nemocní s hodnotami 101 – 400. U těchto pacientů by se měla zvážít indikace k zátěžovému testu s cílem prokázat případnou zátěží vyvolanou ischemií. Kalciové skóre nad 400 dává představu o závažném stupni koronárních kalcifikací a vždy představuje indikaci k dalším vyšetřením. (Šochman a kol., 2006, s. 714 - 716)

6 CT KORONAROGRAFIE

Aplikace nové zobrazovací metody, CT angiografie (CTA), umožňuje neinvazivním způsobem vyšetřit cévní struktury různých orgánů. Pro rozšíření této metody bylo zásadní využití multidetektorových akvizičních systémů výpočetní tomografie – MDCT s 64 i více řadami detektorů. Zásadním pokrokem bylo uvedení nejpokročilejšího akvizičního systému CT se dvěma zdroji a dvěma detektory, tzv. dual source – DSCT, které při rekonstrukci využívá záznamy ze dvou projekcí, což přispívá ke značnému zkrácení časového rozlišení získaných dat. Technologický vývoj společně s používáním nových softwarů přináší pokrok v získávání dat, velmi dobré je jejich časové a prostorové rozlišení. Zobrazování struktur je vysoce kvalitní, bez pohybových artefaktů.

Pro zobrazování srdce a koronárních tepen je základním principem synchronizace dat se záznamem EKG, která může být jak retrospektivní, tak i prospektivní. (Aschermann, 2008, s. 474) Za účelem výrazného snížení radiační zátěže je využívána prospektivní metoda, při které je expozice záření X spuštěna jen v daném úseku R – R intervalu a tímto postupem lze získat obrazy pouze v jediné fázi srdečního cyklu. Výhodou zpětné retrospektivní metody je načtení dat v celém intervalu R – R a možnost následného zvolení nejvhodnější doby k potlačení pohybových artefaktů, ale za cenu větší radiační zátěže pro pacienty.

U kvalitnějších typů přístrojů odpadá nutnost podání betablokátorů za účelem zpomalení tepové frekvence, premedikací je v současnosti podání nitrátů navozujících vasodilataci, dochází ke zlepšení náplně koronárních tepen. Ke kvalitnímu zobrazení cévních struktur je nezbytná intravenózní aplikace kontrastní látky pomocí přetlakového injektoru v objemu 80 – 120 ml dle hmotnosti pacienta. Rychlost průtoku kontrastní látky je 4ml/s, poté následuje proplach fyziologickým roztokem. Data jsou zaznamenávána v době optimálního plnění cílového místa.

Po proběhlé akvizici následuje počítačová multiplanární rekonstrukce dat. Při použití 64 řadového přístroje je možné hodnotit morfologii hlavních kmenů, arteria coronaria dextra, ramus interventricularis anterior i ramus circumflexus. Posuzování sekundárních větví je velmi kvalitní při použití DSCT. (Ferda, Baxa, 2008, s. 29 – 30)

Aschermann shrnuje indikace pro neinvazivní CTA. Optimální indikací pro CTA jsou koronární anomálie, kde jsou přesně zobrazeny například anomální odstupy koronárních tepen nebo vrozené aneurysma. U akutních stavů bolestí na hrudníku s prokázanou akutní ischemií je využití menší, neboť takoví pacienti jsou jednoznačně indikováni k intervenčnímu zákroku. K pacientům s chronickou formou ischemické choroby srdeční patří dvě podskupiny pacientů, u kterých je optimální indikace k CTA. Do první jsou řazeni nemocní s bolestí hrudníku a současnou střední pravděpodobností koronární nemoci, u kterých je výsledek zátěžového testu nejednoznačný nebo je test neproveditelný. Ke druhé podskupině se řadí pacienti s intermitentními bolestmi na hrudníku a současnou malou pravděpodobností koronární nemoci, u kterých může CT koronarografie vyloučit významné koronární stenózy. MDCT také odliší ischemický a neischemický původ dysfunkce levé komory srdeční. U pacientů po revaskularizačních výkonech se dnes běžně používá CTA k vyšetření bypassů. Při diagnostice významného nálezu může následovat intervence katetrizační, případně chirurgická.

Indikace k CT koronární angiografii budou zcela jistě stále častější, na místě je tedy otázka zhodnocení radiační zátěže u pacientů, která je při MDCT přibližně třikrát větší než při konvenční koronarografii a efektivní dávka u MSCT je 14 mSv. Riziko spojené se vznikem nádorového onemocnění je u těchto dávek odhadováno na 0,07 %, resp. 0,02 %. U invazivního přístupu je nutné počítat i s dalšími riziky, která tato vyšetření mohou provázet. Součet radiačního a neradiačního rizika se tak odhaduje na 0,13 %, což představuje zhruba dvakrát více než u neinvazivního MDCT. (Aschermann, 2008, s. 474 – 476) MDCT tedy umožňuje z jediné akvizice zatím nejkompexnější zobrazení srdce. Pokud je použita metoda EKG synchronizace, poskytuje informace o morfologii srdce a věnčitých tepen a kromě hodnocení krevního toku zobrazuje i kinetiku myokardu. Toto vyšetření je samozřejmě zatíženo radiační zátěží a aplikací kontrastní látky a riziko by mělo význam, pokud by vyšetření bylo nesprávně a především opakovaně indikováno. (Ferda, Baxa, 2008, s. 32)

ZÁVĚR

V této bakalářské práci byl předložen přehled dohledaných informací o vyšetření perfuze a funkce levé komory srdeční jednofotonovou emisní tomografií a integraci neinvazivního CT vyšetření do metodiky zobrazování perfuze myokardu.

Prvním cílem této práce bylo předložit poznatky o výhodách a limitacích jednotlivých metod zátěže. Zátěž je nedílnou součástí vyšetření u pacientů s pravděpodobnou nebo již prokázanou ICHS. Většinou je preferována fyzická zátěž, protože je fyziologická, přesto řada pacientů není schopna adekvátní fyzickou zátěž podstoupit. U těchto pacientů je nutné zvolit zátěž farmakologickou. Protože s sebou farmakologická zátěž přináší častější výskyt nežádoucích účinků, je pozornost věnována přípravku, který se na našem trhu objevil teprve nedávno a do praxe na odděleních nukleární medicíny je v současné době zaváděn. Jedná se o přípravek s názvem Rapiscan, jehož výhodou je jednoduché dávkování, lepší tolerance než u dipyridamolu a nižší výskyt nežádoucích účinků. Tento selektivní agonista působí selektivně pouze na A_2A receptory a má minimální stimulaci pro receptory ostatní, proto je také výskyt nežádoucích účinků, ke kterým je řazena hypotenze, bronchokonstrikce nebo arytmie, minimální. Byla dohledána frekvence výskytu nežádoucích účinků při použití dipyridamolu, adenosinu a dobutaminu.

Ve druhé části jsem se zabývala zobrazováním perfuze myokardu pomocí SPECT a přínosem tohoto funkčního zobrazení, které podává informaci o dopadu koronární stenózy na tkáňovou mikrocirkulaci. Zjištění míry ischemie je poté vodítkem při rozvaze, kteří pacienti budou mít větší prospěch z medikamentózní léčby a kteří z revaskularizace. Nález z tohoto vyšetření dává také představu o možném kardiiovaskulárním riziku. Limitací vyšetření je skutečnost, že metoda posuzuje pouze relativní a nikoliv absolutní perfuzi myokardu. Tyto nevýhody by mohla překonat nová kardiologická kamera ultrafast SPECT s extrémě rychlou akvizicí dat. Pozornost je věnována i obrazovým artefaktům, jejichž zdrojem může být jak samotný pacient, tak důsledek vyplývající z techniky vyšetření a zpracování informací. Nedílnou součástí vyšetření je následná rekonstrukce dat, kde je možné vybrat si mezi filtrovanou zpětnou projekcí a iterativní rekonstrukcí. Výhodou iterativní rekonstrukce je redukce obrazového šumu, což umožňuje provést vyšetření s redukovanou dávkou záření. Při

hodnocení vyšetření lékař pátrá po perfuzních defektech, které jsou dále kvantifikovány za použití polárních map. K současnému zjištění závažnosti perfuzních defektů lze využít segmentární skórovací systém. Pro velmi blízkou senzitivitu a specifickou SPECT s echokardiografií v detekci ICCHS byly dohledány informace o citlivosti jednotlivých metod v diagnostice ICCHS.

Třetím cílem práce bylo předložení poznatků o přínosu integrace neinvazivního CT vyšetření myokardu do metodiky zobrazování perfuze myokardu, který umožnil významný pokrok v technologii výpočetní techniky. Výše koronárního kalciového skóre odráží postižení koronárních tepen aterosklerotickými pláty. Lze jej použít při screeningu jako cenného ukazatele rizika v rámci možného dopadu koronární nemoci. Absence koronárního kalcia ICCHS zcela nevylučuje, naopak vysoké hodnoty kalcia v koronárních tepnách i přes normální nález na SPECT by měly být důvodem k odeslání pacienta k invazivní koronarografii. Přestože jsou SPECT i CT koronarografie nezávislými metodami v diagnostice ICCHS, je spojení morfologické a funkční informace v některých případech velmi důležité, neboť výrazně zvyšuje senzitivitu a specifickou vyšetření. Přínos této kombinace byl prokázán zejména u pacientů s nemocí více tepen, kdy začlenění CT koronarografie zlepšilo významně senzitivitu SPECT. Tato hybridní vyšetření jsou samozřejmě zatížena vyšší radiční zátěží, proto je na rozhodnutí lékařů, kteří pacienti budou mít z těchto komplexních vyšetření větší prospěch.

BIBLIOGRAFICKÉ A ELEKTRONICKÉ ZDROJE

1. ASCHERMANN, M., 2008. Využití CT angiografie a magnetické rezonance v kardiologii. *Cor at vasa*. Roč. 50, č. 12, s. 473-479. ISSN 0010-8650.
2. BRANNY, M. *Kalciové skóre* [online]. Copyright 200, Solen s.r.o. Intervenční a akutní kardiologie: open access journal, 2012, roč. 11, č. 3-4[cit. 23.3.2013]. Obrázek ve formátu PDF. Dostupné z:<http://www.iakardiologie.cz/pdfs/kar/2012/03/04.pdf>.
3. BUDÍKOVÁ, M., M. KAMÍNEK, E. SOVOVÁ, M. KALETOVÁ, I. METELKOVÁ, L. HENZLOVÁ, E. BURIÁNKOVÁ a R. FORMÁNEK, 2011. Prognostický význam koronárního kalciového skóre a zátěžového zobrazení myokardu pomocí jednofotonové emisní tomografie u asymptomatických rizikových pacientů. *Cor et vasa*. Roč. 53, č. 12, s. 698-702. ISSN 0010-8650.
4. FERDA, J. a J. BAXA, 2008. Výpočetní tomografie srdce. *Kardioforum*. Roč. 6, č. 3, s. 29-32. ISSN 1214-2255.
5. FIALA, P., J. PTÁČEK, P. KORANDA a I. PŘIDAL, 2008. Kontrola kvality scintilační kamery SPECT zkušenosti na NM ve FN Olomouc. *Praktická radiologie*. Roč. 13, č. 1, s. 11-17. ISSN 1211-5053.
6. HRDINA, R., P. MLADĚNKA, Z. BOBROVOVÁ a M. HÜBL, 2007. Farmakoterapie ischemické choroby srdeční. *Praktické lékařství*. Roč. 3, č. 2, s. 62-66. ISSN 1801-2434.
7. HUTYRA, M., T. SKÁLA, M. KAMÍNEK, D. HORÁK a J. LUKL, 2008. Význam stanovení viability myokardu před revaskularizací u pacientů s ischemickou kardiomyopatií a systolickou dysfunkcí levé komory srdeční. *Vnitřní lékařství*. Roč. 54, č. 4, s. 395-401. ISSN 0042-773X.
8. JANEBA, D., K. TÁBORSKÁ a O. BĚLOHLÁVEK, 2001. Transmisní korekce absorpce záření při vyšetřování perfuze myokardu v nukleární medicíně. *Česká radiologie*. Roč. 55, č. 4, s. 262-265. ISSN 1210-7883.
9. KAMÍNEK, M. *Perfúzní scintigrafie myokardu: normální nález* [online]. © 1999-2010, KC SOLID. [cit. 23.3.2013]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z:http://www.kcsolid.cz/zdravotnictvi/klinicka_kapitola/kar/kar-4/kar-4-text.htm.

10. KAMÍNEK, M. *Prognostický význam SPECT myokardiální perfuze (fatální kardiální příhoda u pacienta s ischemií po PTCA)* [online]. © 1999-2010, KC SOLID. [cit. 23.3.2013]. Obrázek ve formátu JPG. Dostupné z:http://www.kcsolid.cz/zdravotnictvi/klinicka_kapitola/kar/kar-8/kar-8-text.htm.
11. KAMÍNEK, M., 2007. Srovnání zátěžové echokardiografie a SPECT myokardiální perfuze - editorial. *Vnitřní lékařství*. Roč. 53, č. 12, s. 1245-1247. ISSN 0042-773X.
12. KAMÍNEK, M. a A. FIKRLE, 2008. Vyšetření perfuze a funkce levé komory srdeční jednofotonovou emisní tomografií. *Kardioforum*. Roč. 6, č. 3, s. 5-14. ISSN 1214-2255.
13. KAMÍNEK, M., I. METELKOVÁ, M. BUDÍKOVÁ, L. HENZLOVÁ, E. BURIÁNKOVÁ a R. FORMÁNEK, 2012. Zobrazování myokardu pomocí SPECT a hybridního SPECT/CT a PET/CT vyšetření. *Intervenční a akutní kardiologie*. Roč. 11, č. 2, s. 68-74. ISSN 1213-807X.
14. KAMÍNEK, M., I. METELKOVÁ, M. BUDÍKOVÁ a O. LANG, 2010. Pokroky v zobrazování perfuze a funkce levé srdeční komory jednofotonovou emisní tomografií. *Cor et vasa*. Roč. 52, č. 9, s. 513-522. ISSN 0010-8650.
15. KAMÍNEK, M., M. MYSLIVEČEK, J. KUBINYI, O. LANG, J. ZÁHLAVA a V. HUŠÁK, 2000. Metody zátěže používané v nukleární kardiologii. *Cor et vasa*. Roč. 42, č. 1, s. 40-46. ISSN 0010-8650.
16. KAMÍNEK, M., M. MYSLIVEČEK a V. HUŠÁK, 2003. Kvantitativní hodnocení myokardiální perfuze, funkce a viability pomocí jednofotonové emisní výpočetní tomografie. *Intervenční a akutní kardiologie*. Roč. 2, č. 4, s. 190-197. ISSN 1213-807X.
17. KASALICKÝ, J., 1999. Nukleární kardiologie. *Forum medicinae*. Roč. 1, 5/6, s. 56-67. ISSN 1212-4230.
18. KUNÍKOVÁ, I. a O. LANG, 2007. Záznam a následné počítačové zpracování obrazů SPECT myokardu - jak se vyhnout riziku artefaktů. *Praktická radiologie*. Roč. 12, č. 1, s. 28-30. ISSN 1211-5053.
19. KUNÍKOVÁ, I. a O. LANG, 2009. Nejčastěji používané metody nukleární kardiologie. *Praktická radiologie*. Roč. 14, č. 4, s. 8-15. ISSN 1211-5053.

20. KUNÍKOVÁ, I., O. LANG a H. SYSLOVÁ, 2012. Kvalita prováděných zátěžových testů u perfuzní scintigrafie myokardu. *Nukleární medicína*. Roč. 1, č. 1, s. 13-16. ISSN 1805-1146.
21. METELKOVÁ, I., M. KAMÍNEK, E. SOVOVÁ, M. HUTYRA, M. BUDÍKOVÁ, E. BURIÁNKOVÁ, R. FORMÁNEK, L. HENZLOVÁ a R. METELKA, 2010. Stratifikace rizika pomocí zátěžového SPECT zobrazení myokardu v kombinaci se stanovením koronárního kalciového skóre u rizikových pacientů s diabetem a/nebo ledvinným selháním. *Vnitřní lékařství*. Roč. 56, č. 11, s. 1122-1129. ISSN 0042-773X.
22. NEUMANN, A., Š. BOHATÁ, M. KEŘKOVSKÝ a T. PAVLÍK, 2011. Vliv přítomnosti vápníku v koronárním řečišti na srdeční funkce. *Česká radiologie*. Roč. 65, č. 4, s. 279-288. ISSN 1210-7883.
23. STAŇKOVÁ, J., 2010. Nukleárně kardiologická praxe na Klinice nukleární medicíny Fakultní nemocnice Olomouc. *Praktická radiologie*. Roč. 15, č. 3, s. 7-10. ISSN 1211-5053.
24. ŠOCHMAN, J., D. VEDLICH a J. H. PEREGRIN, 2006. Význam koronárního kalciového skóre ve spektru vyšetřovacích metod. *Praktický lékař*. Roč. 86, č. 12, s. 714-717. ISSN 0032-6739.
25. VALOČIK, G., I. MAJERČÁK, P. MITRO, V. TÓTHOVÁ a I. MARIN, 2007. Dobutamínová zátěžová echokardiografia vs SPECT pri diagnostikovaní ischemickej choroby srdca. *Vnitřní lékařství*. Roč. 53, č. 12, s. 1303-1309. ISSN 0042-773X.
26. VIŽDA, J. a P. KAFKA, 1996. Radiofarmaka. *Remedia*. Roč. 6, č. 6, s. 349-352. ISSN 0862-8947.
27. ZOGHBI, G.J. a A.E. ISKANDRIAN, 2012. Selective adenosine agonists and myocardial perfusion imaging. *Journal of Nuclear Cardiology*. Roč. 1/2, s. 126-140. ISSN 1071-3581.
28. ŽIŽKA, J., 2011. Iterativní rekonstrukce CT obrazu - revoluční krok ve vývoji výpočetní tomografie?. *Česká radiologie*. Roč. 65, č. 3, s. 169-176. ISSN 1210-7883.

SEZNAM ZKRATEK

CT	počítačová tomografie
CTA	CT angiografie
DSCT	dvouzdrojové CT
EKG	elektrokardiografie
FDA	Úřad pro kontrolu potravin a léčiv
HLA	horizontální dlouhá osa
HSA	horizontální krátká osa
CHOPN	chronická obstrukční plicní nemoc
ICHS	ischemická choroba srdeční
keV	kilo-elektronvolt
LBBS	blok levého Tawarova raménka
LKS	levá komora srdeční
MBq	mega Becquerell
MDCD	multidetektorové CT
MIBI	metoxy-isobutyl-isonitril
PET	pozitronová emisní tomografie
SPECT	jednofotonová emisní tomografie
TF	tepová frekvence
TK	tlak krevní
VLA	vertikální dlouhá osa

SEZNAM OBRÁZKŮ

- Obr. 1: Rozdělení adenosinových receptorů. In: Zoghbi, Iskandrian, 2012, s. 127. .. 20
- Obr. 2: Schematické znázornění tomografických řezů: VLA, HLA, HSA. In: Kamínek, *Perfúzní scintigrafie myokardu: normální nález* [online]. © 1999-2010. 26
- Obr. 3: Perfúzní scintigrafie myokardu-SPECT, zátěžové a klidové zobrazení, řezy HLA, VLA a HSA. In: Kamínek, *Prognostický význam SPECT myokardiální perfuze (fatální kardiální příhoda u pacienta s ischemií po PTCA)* [online]. © 1999-2010. 27
- Obr. 4: CT srdce – příčný řez v úrovni aorty a levé věnčité tepny, A – absence kalcia, B – malé množství kalcia v ACS, C – velké množství kalcia v ACS. In: Branny, *Kalciové skóre* [online]. Copyright 200..... 31

SEZNAM TABULEK

Tab. 1: Frekvence obtíží při farmakologické zátěži dipyridamolem, adenosinem a dobutaminem (vyjádřeno v procentech z celkového počtu vyšetřených osob). In: Kamínek a kol., 2000, s. 41.....	18
Tab. 2: Účinky binodensonu, apadenosonu a regadenosonu. In: Zoghbi, Iskandrian, 2012, s. 129.....	19
Tab. 3: Diagnostická citlivost zátěžové echokardiografie dobutaminem (DZE) v porovnání se SPECT. In: Valočík a kol., 2007, s. 1305.	30