

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Anna Zajícová

Perfuzní scintigrafie myokardu – metoda nukleární kardiologie

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MUDr. Iva Metelková, Ph.D

Olomouc 2019

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

Olomouc 12. dubna 2019

Podpis

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucí práce paní MUDr. Ivě Metelkové, Ph.D. za konzultace, cenné rady a připomínky, které mi poskytla při zpracování této bakalářské práce.

Anotace

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Téma práce: Nukleární kardiologie

Název práce: Perfuzní scintigrafie myokardu – metoda nukleární kardiologie

Název práce v AJ: Myocardial perfusion scintigraphy - method of nuclear cardiology

Datum zadání: 2018-11-30

Datum odevzdání: 2019-04-12

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

Autor práce: Zajícová Anna

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

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

Abstrakt v ČJ:

Přehledová bakalářská práce se zabývá problematikou nukleární kardiologie. Konkrétně cílem je sumarizovat a předložit publikované poznatky o dnes nejčastěji využívané metodě perfuzní scintigrafie myokardu. Jedná se o jednu z podmnožin všech neinvazivních funkčních kardiovaskulárních zobrazování, které jsou používány při vyšetřování pacientů s podezřením na, anebo s prokázanou ischemickou chorobou srdeční. Obsahem je popis jednotlivých kroků vyšetření, artefaktů a vyšetření viability. Poznatky jsou dohledány z databází (EBSCO, Google Scholar, Springerlink) a dále v knižních publikacích.

Abstrakt v AJ:

This summarizing bachelor thesis presents the problematics of nuclear cardiology. The concrete goal is to summarize and to show the published findings concerning today's most used method of myocardial perfusion imaging. It is one of the subsets of all the non-invasive functional cardiovascular imagings which are used during the examination of patients suspected or with already proven ischemic artery disease. The thesis contains the characterization of particular steps of examination, artefacts and viability examination. Findings used in this thesis were published on reviewed databases (EBSCO, Google Scholar, Sprinerlink) and were also found in printed publications.

Klíčová slova v ČJ: Perfuzní scintigrafie myokardu, gated SPECT, radiofarmaka, vyšetřovací protokoly, CZT kamery

Klíčová slova v AJ: Myocardial perfusion imaging, gated SPECT, radiopharmaceuticals, CZT camera

Rozsah: 43/5

Obsah

Úvod	7
1 Nukleární kardiologie	10
2 Perfuzní scintigrafie myokardu	13
2.1 Vyšetřovací protokoly	13
2.2 Zátěžové techniky	14
2.2.1 Fyzická zátěž.....	15
2.2.2 Farmakologická zátěž	16
2.3 Příprava pacienta na vyšetření	18
2.4 Systémy zobrazování	19
2.5 Provedení vyšetření	21
2.6 Indikace	22
2.7 Hodnocení perfuzní scintigrafie myokardu	24
3 Artefakty	26
4 Viabilita myokardu	28
Závěr.....	30
Referenční seznam	32
Seznam zkratk	36
Seznam tabulek	37
Seznam obrázků	38
Seznam příloh.....	38
Přílohy	39

Úvod

Nukleární medicína se obvykle definuje jako lékařský interdisciplinární obor, který se zabývá diagnostikou a léčbou některých patologických procesů pomocí otevřených radioaktivních zářičů. Vznik tohoto oboru je datován v padesátých letech 20. století a jeho rozvoj vychází z poznatků fyziky a patofyziologie. Nukleární medicína poskytuje informace o funkci různých tkání, orgánů a systémů. Vychází z indikátorového principu, kdy indikátorem je určitá radioaktivní látka (radiofarmakum), která vstupuje do fyziologického nebo patofyziologického procesu. Gama záření je pak následně detekováno pomocí mimotělní zevní detekce a sleduje se akumulace a rozložení radiofarmaka v těle pacienta. (Adámková, 2016, s. 92)

Radionuklidovým vyšetřením kardiovaskulárního systému se v oboru nukleární medicíny zabývá nukleární kardiologie. Kardiovaskulární onemocnění v současné společnosti patří k nejčastějším příčinám úmrtí v České republice, ale také ve světě (více než 50% úmrtí). Lze je proto označit jako tzv. civilizační choroby, které muže a ženy postihuje především po 50. roce života. Pro minimalizaci těchto onemocnění došlo v posledních letech k významnému rozvoji kardiologie a dalších metod, jako například radionuklidové zobrazování myokardu, prováděné na odděleních nukleární medicíny. (Nováková, 2016, s. 52) Neinvasivní funkční kardiovaskulární zobrazování je základním kamenem ve vyšetřování pacientů s podezřením, nebo prokázanou ischemickou chorobou srdeční, neboť je schopno předložit informace důležité ke stanovení diagnózy, prognózy a způsob léčby.

Dnes nejvyužívanější metodou v nukleární kardiologii je perfuzní scintigrafie myokardu, které se bude převážně tato bakalářská práce věnovat. Perfuzní vyšetření myokardu provedené pomocí jednofotonové emisní tomografie, lze označit za silnou stránku neinvasivních kardiovaskulárních vyšetření, které poskytnou fyziologické informace (perfuze, viabilita, kontraktilita atd.) (Nudí, 2018, s. 550)

V souvislosti s daným tématem bakalářské práce byly položeny tyto otázky:
Jaká metoda je v oboru nukleární kardiologie nejčastěji využívána?

Jak se tato metoda provádí?

Co může ovlivnit výsledky vyšetření?

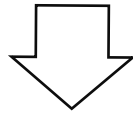
Vzhledem ke stanoveným otázkám byly vytyčeny následující cíle práce:

1. Sumarizovat dohledané informace o metodách nukleární kardiologie.
2. Hodnocení a prezentace informací o identifikované, nejčastěji využívané metodě vyšetření myokardu,
3. Sumarizace informací o podmínkách nezbytných k provedení vyšetření, možných artefaktech ovlivňujících průběh a výsledky vyšetření.
4. Shromáždění informací o technických prostředcích využívaných k zvolenému vyšetření.

Vstupní literatura, která byla použita pro bakalářskou práci:

1. KORANDA, Pavel. Nukleární medicína. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. 201 s. ISBN 978-80-244-4031-6.
2. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. 6. vydání. V Praze: P3K, 2015. 161 stran. ISBN 978-80-87343-54-8.
3. LANG, Otto, Milan KAMÍNEK a Helena TROJANOVÁ. Nukleární kardiologie. 1. vyd. Praha: Galén, c2008, 130 s. ISBN 978-80-7262-481-2.
4. TÁBORSKÝ, Miloš, Josef KAUTZNER a Aleš LINHART. Kardiologie. První vydání. Praha: Mladá fronta, 2017. 1350 stran. ISBN 978-80-204-4434-9.
5. HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. 138 s. ISBN 978-80-244-2350-0.

Rešeršní strategie



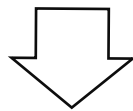
Vyhledávací kritéria:

Klíčová slova v ČJ: Perfuzní scintigrafie myokardu, gated SPECT, radiofarmaka, vyšetřovací protokoly, CZT detektory.

Klíčová slova v AJ: Myocardial perfusion imaging, gated SPECT, radiopharmaceuticals, imaging protocols, CZT cameras

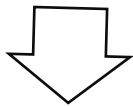
Jazyk: český, anglický

Období: 2007-2018

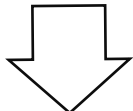


Databáze:

EBSCO, Springerlink, Google scholar



Nalezeno 237 článků

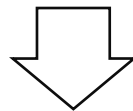


Vyřazovací kritéria:

Články, netýkající se nukleární kardiologie

Duplicitní dokumenty

Kvalifikační práce

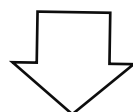


Použitá literatura:

19 dohledaných článků

7 knižní publikace

2 příspěvky na webových stránkách



Pro tvorbu teoretických východisek bylo použito celkem 28 zdrojů

1 Nukleární kardiologie

Nukleární kardiologii je jednoznačně možné zařadit k oborům, které zaznamenávají v posledních několika letech dynamický rozvoj v diagnostickém zobrazování. Patří mezi vzestupně se rozvíjející sektor nukleární medicíny. Obrazové informace pořizované za využití vhodných metod nukleární kardiologie jsou velmi často užity zejména při klinické diagnostice v kardiologickém oboru. Závěry vybraných postupů byly respektovány a použity jako vstupní měřítko výzkumných studií, které svým obsahem jsou zaměřeny na nové léčebné postupy kardiovaskulárních chorob.

K metodám nukleární kardiologie v současné době patří:

- zátěžová a klidová perfuzní scintigrafie myokardu,
- izotopová ventrikulografie a
- stanovení viability myokardu pomocí pozitronové emisní tomografie.

V omezeném využití jsou radionuklidová flebografie a postupy pozitivního zobrazení infarktu myokardu.

V praxi je v nukleární medicíně využíván základní princip zobrazení, který je založen na detekci záření vhodného indikátoru, k němu předurčeným detektorem a následně analýza dat získaných tímto způsobem. V nukleární kardiologii je zdrojem záření radionuklid. Indikátor, který tento radionuklid obsahuje, se nazývá radiofarmakum. (Lang, 2008, s. 10)

Radiofarmaka

Radiofarmaka jsou definována, jako chemické sloučeniny značené vhodným radionuklidem (zdroj radioaktivního záření gama se schopností proniknutí mimo tělo pacienta). Řadí se do kategorie léčivých přípravků, které bývají zpracovány do různých lékových forem k aplikaci (injekce, plyny, aerosoly, roztoky, kapsle atd.). Radiofarmakum obsahuje účinnou látku ve formě specifického radionuklidu a látku biologicky účinnou. Specifický radionuklid zajišťuje zobrazení požadovaného děje nebo léčebný účinek. Biologicky účinná látka zajišťuje vychytání farmaka v místě, které chceme zobrazit, či terapeuticky ovlivnit. Jinak řečeno, tato část radiofarmaka je odpovědná za zobrazení místa, které může být postiženo jakýmkoliv patologickým procesem. (Kubinyi, 2018, s. 188)

Pro účely nukleární medicíny jsou radionuklidy připravovány uměle v jaderném reaktoru nebo cyklotronu. (Koranda, 2014, s. 15) Využívají se také pro výrobu potřebného radionuklidu tzv. radionuklidové generátory. Ty pracují na principu rozpadu mateřského

radionuklidu (má delší poločas rozpadu) na radionuklid dceřiný, který se odděluje elucí a dále je využíván pro značení radiofarmak. (Kubinyi, 2018, s. 193)

Při perfuzní scintigrafii myokardu se využívá ^{201}Tl -chlorid thalný a látky značené pomocí $^{99\text{m}}\text{Tc}$. (Manabe, 2018, s. 1207)

^{201}Tl -chlorid thalný

^{201}Tl – chlorid thalný byl první radionuklid, který se využíval pro SPECT myokardu (od roku 1973). Jedná se o cyklotronový radionuklid a jeho poločas rozpadu je okolo 73 hodin, což je relativně dlouhá doba. Proto se aplikuje co nejnižší dávka, aby se minimalizovala radiační zátěž pacienta. (Manabe, 2018, s. 1208)

^{201}Tl je analog draslíku, který je do myocytu dopravován aktivním transportem přes buněčnou membránu sodno-draselných pump (Na^+/K^+). (Manabe, 2018, s. 1208) Šíření thalia je úměrné v dané oblasti krevnímu průtoku myokardem a viabilitě myokardiálních buněk. Rozložení radiofarmaka v myokardu není bez pohybu (nehybné), ale je zde v určité pohybové rovnováze s krví. Tomuto procesu se říká redistribuce. (Koranda, 2014, s. 62)

^{201}Tl emituje nízkoenergetické fotony o energii od 71 - 80 KeV a proto je zapotřebí nastavit delší dobu akvizice. To vede ke snížené kvalitě obrazu kvůli absorpci a rozptylu fotonů (zejména u obézních pacientů). Biodistribuce thalia je zpravidla úměrná průtoku krve v srdci. Přibližně 4 – 8% podané dávky se vyloučí močí v prvních 24 hodinách. (Manabe, 2018, s. 1208)

Thalium lze použít při zátěžovém perfuzním vyšetření. Toto radiofarmakum se pacientovi aplikuje na vrcholu zátěže a ze scintigramů, které jsou pořízené ihned po zátěži, zjistíme regionální perfuzi myokardu, tedy perfuzi na vrcholu zátěže. Následné scintigramy ve fázi redistribuce (tj 3-4 hod od aplikace) zobrazí distribuci klidovou. (Koranda, 2014, s. 62)

Ischemie se tímto vyšetřením prokáže, jestliže perfuzní defekt, který byl způsoben zátěží, se v pozdější klidové fázi normalizuje (tzv. reverzibilní defekt). Pokud defekt stále přetrvává i v klidové části, tak s největší pravděpodobností se bude jednat o jizvu po prodělaném infarktu myokardu. (Koranda, 2014, s. 62)

Použití tohoto radiofarmaka má své výhody, ale také nevýhody. Za výhody je možné uvést zobrazení perfuze myokardu v zátěži i v klidu při jedné intravenózní aplikaci radiofarmaka. (Koranda, 2014, s. 62) Při klidové perfuzi má vysokou extrakční frakci – 85%. Nevýhodou je relativně horší dostupnost – jedná se o cyklotronový produkt. (Lang, 2008, s. 15) Další nevýhodou je jednoznačně vyšší radiační zátěž pacienta způsobená

dlouhým poločasem rozpadu ^{201}Tl -thalia. Z tohoto důvodu musí být vyšetřované osobě aplikována nižší aktivita než u $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -preparátů a proto mají výsledné scintigramy horší kvalitu. Většina pracovišť dává tedy z těchto důvodů přednost Tc-preparátům. (Kupka, 2015, s. 39)

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

$^{99\text{m}}\text{Tc}$ Technecium je nejčastěji využívaný radionuklid při vyšetřeních v oboru nukleární medicíny z důvodu téměř ideálních fyzikálních vlastností. Získává se z ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generátoru a je to čistý monoenergetický gama zářič. Fyzikální poločas přeměny $^{99\text{m}}\text{Tc}$ je 6,03hod a energie 140KeV. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -sestamibi a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tetrofosmin jsou dvě radiofarmaka, které jsou v klinické praxi využívány. První využití $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -tetrofosminu bylo už v 90. letech 20. století. (Manabe, 2018, s. 2108) ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$ generátor lze využívat pouze dva týdny a musí být u něj zaznačena aktivita mateřského radionuklidu vztažená k danému datu. (Kubinyi, 2018, s. 194)

Distribuce těchto aplikovaných látek v myokardu závisí na myokardiální perfuzi. Vychytávání těchto látek v buňkách srdeční svaloviny je způsobeno pasivní difuzí a je ovlivněno přítomností neporušených mitochondrií. Po aplikaci se radiofarmakum vychytává také v játrech, odkud je vylučován žlučovými cestami. (Manabe, 2018, s. 1208)

Mezi výhody bychom mohli zařadit to, že ačkoli poločas rozpadu je 6 hodin a dávka je relativně velká, tak radiační zátěž pacienta je ve výsledku nižší než u ^{201}Tl . Techneciem značené radiofarmaka jsou také vhodné pro snímání gama kamerou a EKG gated SPECT myokardu, z důvodu vhodné aktivity. (Manabe, 2018, s. 1208) Mezi nevýhody patří relativně neměnná distribuce MIBI a tetrofosminu v myokardu, a proto pro posouzení perfuze při zátěži a v klidu jsou potřebné dvě samostatné intravenózní aplikace radiofarmaka v časovém odstupu. (Kupka, 2015, s. 39)

2 Perfuzní scintigrafie myokardu

Je nejrozšířenější vyšetřovací metodou nukleární medicíny. Správná diagnóza vyžaduje spolupráci mezi lékařem nukleární medicíny a kardiologem. Hlavním účelem scintigrafie je podávání informací o kvalitě prokrvení myokardu levé komory srdeční, a tím umožnit diagnostiku ischemické choroby srdeční. (Lang, 2008, s. 11) Toto vyšetření dokáže posoudit rezervu koronárního průtoku na rozdíl od invazivních koronarografií, které zobrazí stupeň zúžení koronární tepny. Perfuzní scintigrafie posoudí vliv stenózy na dodávku krve do srdeční tkáně během klidového a zátěžového vyšetření. (Koranda, 2014, s. 61)

2.1 Vyšetřovací protokoly

Pro klidové a zátěžové scintigrafické vyšetření myokardu pomocí techneciem značených radiofarmak (^{99m}Tc -sestamibi a ^{99m}Tc -tetrofosmin) máme na výběr z různých protokolů. A to buď jednodenní protokol, nebo dvoudenní (viz obrázek 1), přičemž pořadí jednotlivých částí může být buď zátěž-klid, nebo klid-zátěž. (Adámková, 2016, str. 101) Jak jednodenní tak i dvoudenní protokol má rovnocennou diagnostickou hodnotu. Volba protokolu, závisí pouze na preferencích nemocnice, která vyšetření provádí. (Czaja, 2017, s. 192)

Při zvolení jednodenního protokolu je dokončeno zátěžové i klidové zobrazování ve stejný den. K získání obrazu srdeční perfuze jak během zátěže, tak v klidu, je potřeba aplikovat ^{99m}Tc značené radiofarmakum dvakrát, pro každou část vyšetření zvlášť. Druhá zobrazovací část se obvykle provádí po 3 hodinách a vyžaduje aplikaci trojnásobně vyšší aktivity, aby byla překonána zbytková aktivita z předešlé studie. Pořadí studií během jednoho protokolu záleží do určité míry na indikaci pro vyšetření. Jestliže je indikací zjištění viability myokardu a posouzení reverzibility vady u pacienta po prodělaném infarktu myokardu, může být preferována nejprve klidová studie. Naopak, pokud se vyšetření provádí kvůli diagnostice ischemie myokardu, měla by být nejdříve provedena zátěžová studie, protože pokud je výsledek zhodnocen jako zcela normální, tak následná klidová část už nemusí být prováděna. To vede ke snížení radiační zátěže pacienta. (Perrin, 2015, s. 1005, Verbene, 2015, s. 42)

Dvoudenní protokol je využíván u pacientů po koronárních příhodách nebo po perkutánní, či chirurgické revaskularizaci. V těchto případech pořadí, v němž jsou vyšetření prováděna, je málo významné, protože vyšetření musí být provedeno jak v zátěži, tak i v klidu. (Czaja, 2017, s. 192) Nevýhodou dvoudenního protokolu je nutné dostavení se na vyšetření po pár dnech znovu a s tím související opoždění diagnózy. Jednodenní protokoly

mohou tyto nevýhody vyřešit, ale vyžadují dlouhou čekací dobu (3-4 hodin) mezi zátěžovými a klidovými studii a vyšší radiační zátěž pacienta. (Dey, 2014, s. 537)

Protokol používaný několik let před zavedením zobrazování pomocí ^{99m}Tc radiofarmak byl zátěžový/redistribuční protokol s využitím ^{201}Tl . Po intravenózní aplikaci 111-148MBq ^{201}Tl na vrcholu zátěže se alespoň 1 min pokračuje s cvičením. Gama kamera musí být k dispozici ihned po zátěžovém testu. Z důvodu redistribučních vlastností thalia musí být zobrazování pacienta započato během 10 až 15 minut po ukončení zátěže. Je zapotřebí dodržet interval (10 minut) mezi zátěží a vlastním zobrazením, protože dřívější zobrazování může potenciálně způsobit artefakty, které mohou vést k falešně pozitivním nálezům. Pacient se po 4 hodinách vrací na zobrazení redistribuce pomocí stejných obrazových parametrů. Toto zobrazení redistribuce odpovídá obrazu klidové perfuze. (Pagnanelli, 2010, s. 2)

Dual-izotopový protokol je někdy používán ke zkrácení trvání zátěžového-klidového a zátěžového-redistribučního protokolu a také k využití lepších vlastností ^{201}Tl oproti ^{99m}Tc , tj. posouzení životaschopnosti myokardu. Současně je pomocí ^{99m}Tc poskytnuta, ve srovnání s ^{201}Tl , lepší funkční informace, tzn. přesnější posouzení kinetiky a ejekční frakce levé komory při synchronizaci nahrávání s EKG. ^{201}Tl je obvykle aplikováno v klidové části a techneciem značená radiofarmaka jsou pak využita pro zátěžové zobrazování. Nevýhody tohoto protokolu jsou zvýšené náklady, radiační zatížení (z důvodu použití dvou odlišných radiofarmak) a porovnávání obrazů různých radionuklidů s různými technickými vlastnostmi. (Verbene, 2015, s. 44)

2.2 Zátěžové techniky

Pro zjištění rezervy koronárního průtoku se při zobrazování perfuze myokardu využívají dva typy zátěže a to buď fyzická zátěž, nebo farmakologická (viz tab. 1). Průtok krve v patologicky zúžených koronárních tepnách je u většiny pacientů, trpících ICHS, v klidu úplně normální. Tedy pokud se nejedná o kritické zúžení tepny. Myokardiální průtok u většiny zúžení je za klidových podmínek dostatečný, bývá zachována normální funkce myokardu, distribuce radiofarmaka je homogenní.

Při maximálním zatížení je zapotřebí zvýšení dodávky kyslíku do srdečního svalu a tudíž i vyšší průtok koronárním řečištěm. V řečišti bez jakýchkoli změn vzniká vazodilatace, která vede k odpovídajícímu zvýšení koronárního průtoku. Jestliže je povodí postiženo významnými stenózami (tj. nad 50% lumen), je vazodilatace přítomna již klidově a tak k další výrazné vazodilataci nedojde, z tohoto důvodu má zátěž malý efekt na zvýšení koronárního

průtoku. V distribuci myokardiální perfuze vzniká heterogenita, kterou je možné scintigraficky detekovat. Po aplikaci radiofarmaka na vrcholu zátěže lze sledovat tzv. perfuzní defekt na povodí zúžené tepny.

U některých pacientů může dojít ke změně zátěže (z fyzické na farmakologickou), jestliže nejsou schopni vykonat adekvátní fyzickou zátěž z určitého důvodu. Stále se ve většině případů dává přednost fyzické zátěži na bicyklovém ergometru nebo na běhátku, protože přináší mnoho důležitých informací, které u farmakologické zátěže chybí. Např. snášenlivost fyzické zátěže a doba trvání, symptomy, které se projeví v průběhu zátěže, změny na EKG atd. (Koranda, 2014, s. 63)

2.2.1 Fyzická zátěž

Při zátěžovém perfuzním vyšetření myokardu se nejčastěji využívá dynamická zátěž a to v podobě bicyklové ergometrie. Během zátěže dojde k nepřímé vazodilataci, z důvodu zvýšené spotřeby kyslíku v myokardu (krevní průtok koronárním řečištěm se zvýší asi 2x). V průběhu celého zátěžového testu je pacient monitorován na EKG, sleduje se krevní tlak a tepová frekvence. Snímání 12svodovým EKG probíhá před zahájením, v průběhu zátěže a také po jejím skončení, z důvodu včasného zjištění změn, svědčících pro akutní ischemii nebo arytmie. (Táborský, 2017 s. 384)

Pro zátěžové vyšetření je dnes využíváno mnoho vyšetřovacích protokolů s různě stupňovanou zátěží. Nejčastěji se ale využívá bicyklová ergometrie se začáteční zátěží 50W, která se postupně každou minutu zvyšuje o 10-20W. Zvyšování zátěže, je ale individuální. Záleží na výkonu pacienta. Radiofarmakum se aplikuje intravenózně na vrcholu zátěže. Při výskytu symptomů, např. výrazná dušnost, bolesti na hrudi, EKG změny v ST segmentu, komorová arytmie, pokles tlaku apod. je aplikováno radiofarmakum a v zátěži není dále pokračováno. Pokud ale se u pacienta žádné symptomy nevyskytují, pokračuje se v zátěži až do subjektivního maxima. Podání radiofarmaka je optimální při překročení 85% maximální tepové frekvence. Maximální tepová frekvence je rovna 220 – věk. Po aplikaci radiofarmaka je dobré v zátěži 1 – 1,5 minuty pokračovat.

Technické požadavky jsou stejné jako na ergometrickém pracovišti. A to: 12svodové EKG, ergometr, defibrilátor, laryngoskop, ambuvak a léky potřebné při kardiopulmonální resuscitaci (KPR). Personál je pravidelně školený v kardiopulmonální resuscitaci (KPR). (Koranda, 2014, s. 65)

Mezi úplné kontraindikace fyzické zátěže je možné zařadit akutní koronární syndrom, dokud pacient není stabilní (po dobu nejméně 48 hodin a riziko vyhodnoceno jako přijatelné),

dále pak akutní plicní embolii, těžkou plicní hypertenzi, akutní aortální disekci, symptomatickou aortální stenózu, hypertrofickou obstrukční kardiomyopatii, nekontrolované srdeční arytmie, které způsobují symptomy nebo hemodynamickou nestabilitu, akutní myokarditidu, perikarditidu, aktivní endokarditidu a další. K relativním kontraindikacím náleží např. dekompenzované nebo nedostatečně řízené městnavé srdeční selhání, aktivní hlubokou žilní tromboflebitidu nebo hlubokou žilní trombózu, hypertenzi, kdy klidový systolický nebo diastolický tlak krve je vyšší než 200/110 mmHg, dále nedávnou mrtvici nebo přechodný ischemický záchvat a střední až těžkou aortální stenózu. (Verbene, 2015, s. 27)

Pokud zátěž není dostatečná, může dojít ke vzniku falešně negativních nálezů. Z tohoto důvodu se obvykle přechází z fyzické zátěže na zátěž farmakologickou. Nejběžnější příčiny nedostatečné zátěže jsou: ortopedické problémy, bolesti páteře, ischemická choroba dolních končetin, diabetická neuropatie, nemožnost vysadit betablokátory, vyšší věk nebo nespolupráce pacientů. (Argulian, 2017, s. 556)

2.2.2 Farmakologická zátěž

Farmakologická zátěž se indikuje pacientům, kteří nejsou schopni adekvátní fyzické zátěže, nebo u pacientů s bloádou levého Tawarova raménka (LBBB). Využívají se látky, které mají přímý vazodilatační účinek (tj. dipyridamol, adenosin, nebo regadenoson). Pokud ale pacient má kontradikce k těmto látkám, tak je možné využít látky s pozitivně inotropním a chronotropním účinkem (dobudamin). (Táborský, 2017, s. 385)

Dipyridamol

Dipyridamol zamezuje zpětnému vychytávání adenosinu v buňkách, jelikož se jedná o pyrimidinovou bázi. Následkem je akumulace endogéního adenosinu v oběhu a také rozšíření cév, kdy se průtok zvýší cca 4x. (Koranda, 2014, s. 66)

Před vyšetřením pacient nesmí užívat látky, které obsahují kofein, nebo methylxantinové deriváty, jelikož tyto látky blokují adenosinový receptor. V průběhu vyšetření je zapotřebí monitorovat EKG, tepová frekvence a krevní tlak, stejně jako u fyzické zátěže. (Táborský, 2017, s. 385)

Tato vazodilatační látka se podává intravenózní infuzí v množství 0,56 mg/kg hmotnosti a to během 4 minut. Po 1-2 minutách od skončení infuze dipyridamolu se aplikuje radiofarmakum. Lze také provést současně fyzickou zátěž, kdy ale už nedojde k další dilataci koronárního řečiště. Kombinace fyzické a farmakologické zátěže se provádí z důvodu snížení četnosti výskytu nežádoucích účinků. (Koranda, 2014, s. 66)

Jestliže pacient má po podání dipyridamolu obtíže (např. nauzea, nevolnost, hypotenze, bolest hlavy), lze jeho účinek „vyblokovat“ 100-300 mg aminophyllinu, který je podáván intravenózně. Oproti dipyridamolu má aminophyllin kratší plazmatický poločas, a proto je lepší ho podávat po částech. Mezi kontraindikace podání dipyridamolu je možné zařadit kontraindikace, které byly popsány u fyzické zátěže, ale také navíc i hypotenzi, kdy systolický tlak je nižší než 90mm Hg, dále asthma bronchiale a plicní hypertenzi. (Táborský, 2017, s. 385)

Adenosin

Adenosin je přirozeně se vyskytující ligand ze čtyř různých podtypů (A1, A2A, A2B a A3) receptorů spojených s G proteiny buněčné membrány. Vyvolává vasodilataci koronárních arterií. Působení adenosinu na různé typy adenosinových receptorů může být spojeno s několika život ohrožujícími vedlejšími účinky. Aktivity na receptoru A1 mohou indukovat AV-blok, zatímco účinky na receptory A2B a A3 mohou indukovat bronchokonstrikci, zejména u pacientů s astmatem nebo těžkou chronickou obstrukční plicní chorobou. Adenosin se podává intravenózně infuzí v množství 0,14mg/kg/min. (Cho, 2017, s. 1) Častými nežádoucí účinky jsou návaly horka, bolest na hrudi, dyspnoe, závratě, nevolnost a symptomatická hypotenze. (Verbene, 2015, s. 31)

Regadenoson

Regadenoson je selektivní agonista A_{2A} receptoru, který se podává jako jednorázová injekce v koncentraci 0,4mg v 5ml. Dávku není třeba upravovat dle hmotnosti pacienta. Z důvodu, že se regadenoson selektivně váže pouze na receptory A_{2A} a jeho plazmatický poločas je 2,5 min, má méně nežádoucích účinků ve srovnání s adenosinem. Kontraindikace podání regadenosonu jsou nestabilní angina pectoris, hypotenze, příliš pomalý srdeční rytmus a AV-blok 1. stupně, jestliže pacient nemá implantován kardiostimulátor. (Táborský, 2017, s. 385)

Dobutamin

Dobutamin je látka, která se využívá u pacientů, kteří nemohou podstoupit fyzickou zátěž a také mají kontraindikace na vazodilatační látky. Podává se postupně infuzí a začíná se dávkou 10μg/kg/min, která je zvyšována v intervalu 3-5 minut až na 40 μg/kg/min. Radiofarmakum by mělo být aplikováno, jestliže srdeční frekvence je větší nebo rovna 85% věkové maximální tepové frekvence (věk - 220 let). Dobutaminová infúze by měla pokračovat po dobu 2 min po aplikaci radiofarmaka. (Verbene, 2015, s. 31) Dobutamin je beta-antagonista, který má pozitivně inotropní a chronotropní účinek. Proto vyvolá zvýšení spotřeby kyslíku v myokardu, což vede k nepřímému rozšíření cév. 48 hodin před vyšetřením

musí pacient vysadit všechny beta-blokátory, které užívá. V průběhu testu je zapotřebí monitorovat EKG, TK a TF. Kontraindikací jsou stavy, které jsou uvedeny u fyzické zátěže a také fibrilace síní, záchvatovitá supraventrikulární tachykardie, hypertrofická kardiomyopatie a závažná hypertenze. (Koranda, 2014, s. 66)

Tab. 1: Typy zátěžových testů používaných při zobrazování pomocí perfuze myokardu.

Farmakologická zátěž		Fyzická zátěž
Vazodilatační látky	Sympatomimetika	Bicyklová zátěž
Adenosin	Dobutamin	Běhací pás
Regadenoson	-	-
Dipyridamol	-	-

Zdroj: Verbene, 2015, s. 31

Překlad Anna Zajícová

2.3 Příprava pacienta na vyšetření

K uskutečnění scintigrafie myokardu je nutné, aby byl pacient informován a řádně připraven. Těsně před vyšetřením si pacient musí přečíst a vyplnit informovaný souhlas, kde je popsán účel vyšetření, povaha, alternativy vyšetření, jeho průběh, možná rizika, následky a propouštěcí informace. (Informovaný souhlas FNOL) Pacient by měl k vyšetření přijít nalačno. Diabetici dodrží svůj každodenní režim. Dvacet čtyři hodin před testem je zakázáno jakékoliv užívání nápojů a potravin obsahující kofein. (Miyamoto, 2007, s. 251) Dále pak je zakázáno požívání čajů nebo potravin, které obsahují xantinové deriváty (kakao, čokoláda, banány atd.). Při diagnostickém vyšetření by měl pacient na 48 hodin vysadit léky působící proti angíně pectoris (tj. beta-blokátory, blokátory vápníkového kanálu, nitráty) a také 48 hodin dopředu je nutné vysadit léky blokující účinek při farmakologické zátěži, či látky způsobující vazodilataci. (Kupka, 2015, s. 40) Seznamy léčiv proto musí být pečlivě a důkladně zkontrolovány. Pokud není stanoveno jinak, tak jsou beta-blokátory a nitráty vysazeny po dobu 24 hodin. Seznam všech těchto příslušných léků je uveden v písemných pokynech pro každého pacienta. (Miyamoto, 2007, s. 251)

Pacienti, kteří podstoupí zátěžovou scintigrafii, jsou informováni o možné změně zátěže (změna z fyzické na farmakologickou zátěž), z důvodu neschopnosti provést adekvátní zátěžový test na ergometru, eventuálně na běhacím pásu. Před samotným vyšetřením pacient nahlásí svou výšku a váhu, následně mu je zavedena intravenózně kanyla (většinou v kubitě), která se zkontroluje a opakovaně propláchne, aby se ověřila její průchodnost. Jestliže se jedná o zátěžové vyšetření, tak pacient se usadí na bicykl, následně je připojen na 12 svodové EKG

a je mu na paži nasazena manžeta pro měření krevního tlaku. Krevní tlak se měří na ruce, kde není zavedena kanyla. (Miyamoto, 2007, s. 251)

2.4 Systémy zobrazování

Pro perfuzní scintigrafii myokardu se využívá zobrazovací metoda nazývaná jako jednofotonová emisní výpočetní tomografie neboli SPECT. Touto metodou můžeme sledovat distribuci radiofarmaka v myokardu ve třech rovinách. K zobrazování se využívají tradiční gamakamery s rotujícími detektory, nebo kamery jednoúčelové, které jsou určeny pouze pro zobrazování srdce. (Adámková, 2016, s. 94)

Scintilační kamera se obecně skládá z detektorů a počítače (tj. zařízení pro vyhodnocování). Detektor je klíčovou součástí kamery a je odpovědný, za detekci záření gama. V praxi se obvykle využívají kamery s dvěma detektory, ale lze využít i kameru s detektorem jedním. V detektoru se nachází scintilační krystal z jodidu sodného, který je aktivovaný thaliem (NaI(Tl)), obvykle obdélníkového tvaru. Dále pak fotonásobiče, které jsou ke krystalu přilepeny světlovodivou hmotou a kolimátor. (Dorbala, 2018, s. 1787) Pro perfuzní scintigrafii myokardu se využívá kolimátor s paralelními otvory a nachází se před scintilačním krystalem. Umožňuje vymežit směr dopadajícího záření na krystal. Skrz kolimátor mohou přejít pouze ty fotony záření gama, které dopadají kolmo na detektor. Ostatní fotony, které se šíří v jiném směru, jsou pohlceny olověnými přepážkami mezi otvory kolimátoru. (Kubinyi, 2018, s. 206-207)

Principem SPECT je registrace gama záření, které je emitováno z těla pacienta po aplikaci radiofarmaka. Interakcí záření gama a scintilačního krystalu vznikají světelné záblesky, které jsou následně detekovány souborem fotonásobičů. Pokud světelný záblesk dopadne na fotokatody fotonásobičů, tak zde dojde k uvolnění fotoelektronů, které jsou následně systémem dynod násobeny, takže na anodě můžeme naměřit elektrický signál. Pokud energie fotonu spadá do předem určeného „energetického okna“, předpokládá se, že paprsek nebyl rozptýlen a jeho dopadová poloha je zaznamenána do výsledného obrazu. (Germano, 2013, s. 305)

Konvenční technologie s krystalem NaI(Tl) byla zavedena před více než 50 lety a je nejrozšířenější technikou, která se využívá k zobrazování v nukleární medicíně. Obvyklá perfuzní scintigrafie myokardu je spojena s časově náročnějším pořizováním snímků a pro dosažení adekvátní kvality obrazu je vyžadována relativně vysoká aktivita. V poslední době, byla ale zavedena nová generace systémů gama kamer, která je založena na nové

detekční technologii využívající polovodičové kadmium-zinek-telluridové detektory (CZT). (Oddstig, 2013, s. 38-39)

Na rozdíl od klasických scintilačních kamer využívají tyto CZT kamery princip přímé detekce, kdy interakce fotonu gama o velikosti 140 keV vytváří přibližně 30 000 elektronů, což je 20x více, než vytváří krystal NaI(Tl). Proto je tato technologie spojena s lepším energetickým rozlišením ve srovnání s obvyklou perfuzní scintigrafií myokardu s využitím technologie krystalu NaI(Tl). Nicméně kamery CZT byly také navrženy tak, aby optimalizovaly procesy pořizování, rekonstrukce a kolimačními systémy, což vedlo k výraznému zvýšení citlivosti a prostorového rozlišení.

Série detektorů je seřazena v pevném nerotujícím rámu, který má tvar podkovy a při nahrávání obklopuje levou stranu hrudníku pacienta a je možné uskutečnit nahrávání obrazů vsedě i vleže. Díky technologii CZT kamer je umožněno aplikovat pacientovi menší dávku radiofarmaka a tím snížit radiační zátěž pacienta. Na klasických gamakamerách je délka akvizice okolo 20 minut, zatímco gamakamery určené speciálně na kardiologické zobrazování umožnily snížit dobu nahrávání na 5 minut. (Adámková, 2016, s. 95-96)

Pro kardiologické zobrazování může být využita např. kamera Discovery NM530c (GE Healthcare) nebo D-SPECT. Tyto dvě kamery využívají stejný typ čtvercového detektoru CZT, nicméně obě kamery jsou založeny na odlišných kolimačních systémech.

Kamera Discovery NM530c je založena na stacionárním multi-pinhole kolimačním systému (průměr účinného otvoru je 5,1mm). Mezi výhody této kamery můžeme zařadit prostorové rozlišení, zatímco za nevýhodu můžeme považovat citlivost. Nicméně vysoké citlivosti může být dosaženo v tomto případě současným snímáním oblasti srdce pomocí 19 detektorů. Kamera D-SPECT používá velmi odlišný systém a to rotační kolimace paralelních otvorů. Zahrnuje 9 rotujících sloupců, které jsou spojeny pomocí širokoúhlého wolframového čtvercového dílu. Tento kolimátor pravděpodobně zvyšuje citlivost. (Imbert, 2016, s. 894)

Výsledkem nahrávání vyšetření je sada planárních projekcí, které jsou následně matematicky rekonstruovány. V současnosti se využívají dvě skupiny rekonstrukcí a to filtrovaná zpětná projekce (FBP, filtered back projection) a iterativní metody. Filtrovaná zpětná projekce je jednodušší a rychlejší způsob rekonstrukce obrazu. Tato rekonstrukce však limituje kvalitu obrazu. Typickým problémem je tzv. hvězdicový artefakt a také nemožnost zahrnutí složitější korekce. Z tohoto důvodu se dnes obvykle využívá iterativní metody rekonstrukce, která je výpočetně náročnější, ale přesnější. Ty poskytují o poznání lepší obraz včetně možnosti využití oprav na rušivé vlivy zobrazení (korekce zeslabení, rozptyl záření

atd.). Standardně se řezy rekonstruují v transverzální rovině (rovina je kolmá na osu rotace kamery) a z nich se data následně reformátují do řezů frontálních a sagitálních. (Lang, 2008, s. 30)

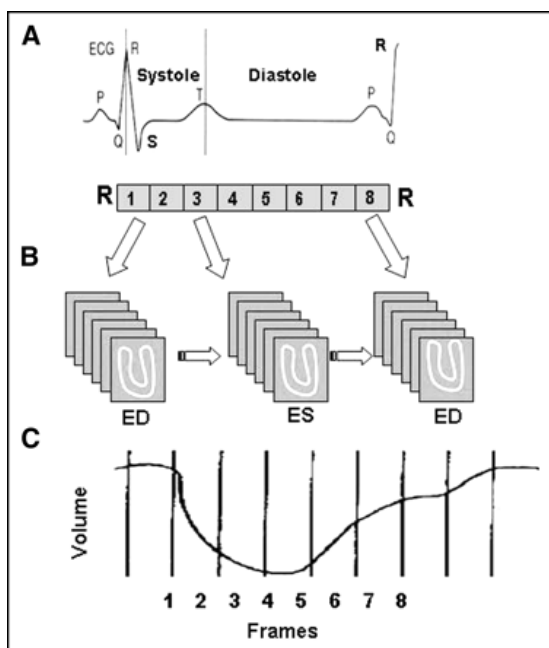
2.5 Provedení vyšetření

Faktory ovlivňující pozici pacienta jsou: typ kamery, minimalizace artefaktů, a komfort pacienta. Při využití dvoudetektorové kamery, obvykle pacient leží na zádech (supine) s rukama nataženými nad hlavou. Tato pozice je v současné době využívána pro většinu dostupných protokolů. Když pacient leží při vyšetření na zádech, tak mohou být zaznamenány atenuační artefakty (tzn. vlivem zeslabení záření) způsobené prsy, nebo nadměrným hrudním stěnovým tukem. Z toho důvodu se vyšetření nahrává i v druhé poloze, a to na břicho (prone). Porovnáním snímků v poloze na zádech a na břicho je zjištěno, že atenuační artefakty se upraví nebo jen změní polohu, zatímco skutečné vady perfuze zůstanou fixní. Je důležité, aby se srovnání studií klidu a při zátěži provedlo s pacientem ve stejné pozici. Bylo dokázáno, že snímání na břicho může být spojeno s artefakty, způsobené anteroseptálním postižením z důvodu útlaku srdce sternem. (Verbene, 2015, s. 48)

Nahrávání dat v průběhu perfuzní scintigrafie myokardu probíhá z pravé šikmé projekce 45° (RAO) do levé zadní šikmé 45° (LPO). Scintilační kamery s dvěma detektory umožňují nahrávání dat v L modu, tzn. detektory svírají úhel 90°. (Koranda, 2014, s. 69)

Pokud je vyšetření perfuze myokardu synchronizované s EKG, tak je tato metoda nazývána jako gated SPECT. Díky této synchronizaci můžeme posoudit jak distribuci radiofarmaka v myokardu, tak funkci levé komory (stanovení ejekční frakce, end-diastolického a end-systolického objemu atd.). Principem gated SPECT je synchronizace záznamu opakovaného srdečního cyklu se záznamem EKG. Začátek jednotlivých srdečních cyklů na EKG je určen R-kmitem. Srdeční cyklus obvykle bývá rozdělen při gated SPECT na 8, nebo 16 časových úseků, které zobrazují postupné změny tvaru a objemu srdce během cyklu. Jednotlivé obrazy jsou v tomto cyklu seřazeny od end-diastoly přes end-systolu k end-diastole dalšího cyklu (Viz obr. 1). Rekonstrukce gateovaných projekcí je provedena pomocí sečtení shodných časových úseků srdečního cyklu a to umožní trojrozměrné zobrazení pohybu srdce v reprezentativním cyklu srdce. Zároveň zobrazíme prostorovou distribuci radiofarmaka v myokardu. (Adámková, 2016, s. 95, Koranda, 2015, s. 67)

Obr. 1: Princip akvizice gated SPECT



Zdroj: Gated Myocardial Perfusion SPECT: Basic Principles, Technical Aspects, and Clinical Applications. In: *Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* [online]. Reston, Virginie, USA: Society of Nuclear Medicine and Molecular Imaging, 1 December 2004 [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://tech.snmjournals.org/content/32/4/179/F1.expansion.html>

2.6 Indikace

Perfuzní vyšetření myokardu může být indikováno buď za účelem diagnostiky, nebo určení prognózy. Mezi hlavní diagnostické důvody můžeme zařadit akutní koronární syndrom nebo chronickou ischemickou chorobu srdeční (ICHS). (Kupka, 2015, s. 44)

Akutní koronární syndrom (AKS) je zastřešující pojem zahrnující nestabilní anginu pectoris a akutní infarkt myokardu. (Yamazaki, 2016, s. 332) Toto onemocnění vyvolává ischemii myokardu s následným poškozením myokardiálních buněk. Poškození může také způsobit dysfunkci mitochondrií v buňkách myokardu a předpokládá se, že tato mitochondriální dysfunkce souvisí i s procesem smrti buněk myokardu. Včasný zákrok je velice významný pro ochranu myocytů, a proto je důležitá přesná detekce mitochondriální dysfunkce. (Masuda, 2016, s. 1) Klidová scintigrafie, ale nedokáže rozlišit, zdali se jedná o čerstvou, nebo starou myokardiální lézi. (Kupka, 2015, s. 44)

Druhým diagnostickým důvodem je podezření na chronickou ischemickou chorobu srdeční. Zde se využívá zejména zátěžová scintigrafie myokardu, která je spolehlivější než klasický EKG zátěžový test. Nejvýhodnější uplatnění perfuzního vyšetření myokardu je u pacientů se střední předtestovou pravděpodobností ICHS, určené podle klinických dat

a výsledků zátěžového EKG. Jestliže výsledek scintigrafie je negativní, tak pacient nemusí podstupovat koronarografii, pakliže předtestová pravděpodobnost je vysoká pacient podstupuje koronarografii, aniž by podstoupil scintigrafické vyšetření. (Kupka, 2015, s. 44)

V dnešní době je důležité nejen určení diagnózy ICHS, ale také stanovení rizika a prognózy. Pro předpověď rizika je perfuzní scintigrafie spolehlivou neinvazivní metodou. Obzvláště negativní scintigrafický nálezn má velkou výpovědní hodnotu. (Kupka, 2015, s. 44)

Zhodnocení rizika pomocí perfuzní scintigrafie se využívá hlavně u pacientů postižených suspektní chronickou ischemickou chorobou srdeční. Dále pak po koronarografii, kdy se například posuzuje funkční význam koronárního zúžení, funkční význam kolaterál, nebo ke specifikaci indikace k revaskularizaci. (Kupka, 2015, s. 44) Perfuzní scintigrafie myokardu je také vhodnou zobrazovací metodou pro hodnocení pacientů, kteří podstoupili perkutánní koronární intervence, protože můžeme ověřit úspěšnost léčby, nebo sledovat progresi onemocnění. Po angioplastice se restenóza objevuje během 3 až 9 měsíců a může se projevit bolestí na hrudi, ale přibližně u 50 % pacientů se nemusí projevit jakékoliv symptomy, které by na restenózu upozorňovali. Perfuzní scintigrafie myokardu nepředpovídá, kteří pacienti jsou vystaveni riziku vzniku restenózy, ale spíše identifikují ty, u kterých již k restenóze došlo. SPECT myokardu je indikován také po CABG (coronary artery bypass graft) pro zjištění funkčnosti bypassu anebo kvůli šíření ICHS. Acampa a kol (2013, s. 1276-1281) tvrdí, že vzhledem k nepříznivým důsledkům, které jsou spojené s tichou ischemií lze spekulovat, že všichni pacienti bez ohledu na klinický stav by měli podstoupit zátěžové testy později po revaskularizaci.

U pacientů s dysfunkcí a nízkou ejekční frakcí levé komory má velký význam zjištění viability myokardu. Intervenční kardiologie obvykle zajímá viabilita myokardu a také rozsah a závažnost ischemie v jednotlivých koronárních povodích. Zátěžové scintigrafické vyšetření poskytne odpovědi na oba dotazy, jestliže ale není pacient schopen zátěžového vyšetření, nebo je klinický dotaz jen na viabilitu, lze provést pouze vyšetření klidové. Zjištění viability myokardu lze také provést pomocí pozitronové emisní tomografie s využitím ^{18}F -FDG. (Koranda, 2014, s. 82)

2.7 Hodnocení perfuzní scintigrafie myokardu

Hodnocení vyšetření se obvykle provádí kvalitativně a kvantitativně. Hodnocení kvalitativní probíhá vizuálním posouzením jednotlivých řezů a kvantitativní hodnocení pomocí využití tzv. polárních map („bull’s eye, Viz přílohy 1-5). (Kupka, 2015, s. 41)

Při kvalitativním vizuálním hodnocení perfuze je posuzována distribuce radiofarmaka v rámci vyšetřovaného objektu a je hodnoceno umístění a povaha perfuzního defektu. Tomografické řezy jsou standardně orientovány levou komorou ve třech rovinách (řezy podél krátké osy srdeční, horizontální a vertikální řezy podél dlouhé osy srdeční), které jsou na sebe kolmé. Pouhým okem lze také rozpoznat tzv. transientní ischemickou dilataci levé komory, a to z odlišné velikosti dutiny levé komory po zátěži a v klidu. (Koranda, 2014, s. 70)

Základními typy nálezů při tomto vyšetření jsou normální nález, což je relativně homogenní distribuce radiofarmaka v myokardu levé komory, nebo defekt, který se může vyskytnout na stěně levé komory, kde se radiofarmakum vychytává méně, než v okolním normálním myokardu. Defekt může mít různé stupně od mírně snížené akumulace až po úplné chybění. Rozdělujeme jej při srovnávání zátěžového a klidového vyšetření na reverzibilní (vratný) defekt a fixní (stálý) defekt perfuze. Reverzibilní defekt se vyskytuje především na zátěžovém vyšetření. U klidového je nižšího stupně anebo úplně vymizí. Fixní defekt je identický jak při zátěži tak i v klidu a obvykle znamená myokardiální lézi. Nejčastěji se jedná o fibrózní tkáň po prodělaném infarktu myokardu. (Kupka, 2015, s. 43)

Při kvantitativním hodnocení perfuze při SPECT myokardu se posuzuje rozsah a závažnost perfuzních abnormalit. K tomu se využívají tzv. polární mapy, které jsou vytvořeny počítačovým převodem 3D obrazu levé komory do planárního kruhového obrazu. Tento obraz je rozdělen na 17 segmentů. Vnější segmenty odpovídají bázi levé komory a ve středu se vyskytuje hrot srdeční. Počítačový software pro kvantitativní vyhodnocování poruch perfuze umožňuje srovnání scintigrafických obrazů, získaných od pacienta s databází obsahujícími data od zdravých jedinců. (Czaja, 2017, s. 194)

Pro kvantitativní vyhodnocování perfuze levé komory se využívá software pro výpočet skóre perfuze, přičemž se hodnotí jak rozsah, tak závažnost ischemie ve vztahu k 17 segmentům polární mapy. Perfuze v každém segmentu je hodnocena podle akumulované aktivity pětistupňovou škálou. Normální perfuze (ve srovnání se specifickými průměrnými daty pro pohlaví z populace zdravých jedinců) je na stupnici označena jako skóre 0. Mírné a středně závažné poškození perfuze je hodnoceno 1 a 2 body. Skóre 3 bodů naznačuje

výraznou poruchu perfuze, zatímco skóre 4 bodů znamená prakticky žádnou perfuzi. (Czaja, 2017, s. 195)

Stanovuje se také tzv. sumační skóre, které se získává součtem bodů ze všech segmentů v levé komoře. Sumační skóre se rozděluje na sumační zátěžové skóre (SSS), sumační klidové skóre (SRS) a sumační rozdílové skóre (SDS). (Farzaneh-Far, 2015, s. 601)

SSS je součet jednotlivých bodů ze 17 segmentů polární mapy, které jsou získané během zátěže. Pokud je hodnota SSS menší než 4, tak je perfuze považována za normální nebo minimálně abnormální (žádné významné poruchy perfuze). Výsledek 4-8 bodů indikuje mírně abnormální poruchu, 9-13 středně abnormální poruchu perfuze a 13 nebo více - přítomnost významné rozsáhlé ischemie. Pokud je SSS mezi 0 až 3, je riziko infarktu nebo úmrtí minimální, jestliže ale SSS přesahuje 12 bodů, riziko je vysoké. (Czaja, 2017, s. 195)

SDS lze vypočítat odečtením SRS od SSS ($SDS = SSS - SRS$). Tento ukazatel se využívá k popisu, do jaké míry je ischemie reverzibilní. SDS skóre 0-1 nezaznamenává ischemii; 2-4 body ukazují na mírnou ischemii; 5-6 bodů indikuje středně závažnou ischemii; zatímco 7 nebo více bodů naznačuje závažnou ischemii. (Czaja, 2017, s. 196)

Totální perfuzní defekt (TPD) představuje procento hypoperfundovaného myokardu z celkového objemu LK. Bere v úvahu rozsah a závažnost sníženého prokrvení myokardu. Normální hodnota TPD je stanovena na <5%. (Adámková, 2016, s. 98)

U perfuzní scintigrafie myokardu také posuzujeme funkční parametry levé komory. Při vážné ICHS může u některých pacientů dojít k poischemickému omráčení myokardu. Toto omráčení může mít vliv na ejekční frakci (EF) a regionální hybnost stěn levé komory na pozátěžové studii a může trvat různě dlouhou dobu. (Koranda, 2014, s. 72)

V průběhu vyhodnocování hybnost odpovídá centripetálnímu pohybu stěny levé komory při smrštění srdce. Využívaný počítačový program kalkuluje s hodnotou pohybu endokardiální kontury v milimetrech. Vyčíslovací software poskytuje ohraničení endokardiální kontury obrazu a poskytuje hodnoty objemů levé komory v end-dia stole (EDV) a end-systole (ESV). Ejekční frakce se dále automaticky vypočítává ze vztahu (1):

$$EF = (EDV - ESV) / EDV * 100 \quad [\%] \quad (1)$$

EF ejekční frakce

EDV enddiastolický objem

ESV endsystolický objem

Zesílení stěny levé komory odpovídá systolickému ztlušťování, které se projevuje zvýšeným počtem impulzů, během systolickém stahu levé komory. (Koranda, 2014, s. 72)

3 Artefakty

V průběhu perfuzního vyšetření myokardu je možné se setkat s jevy/faktory, které mohou negativně více, či méně ovlivnit výsledek vyšetření. Artefakty se mohou vyskytnout kdykoli a v jakékoli části vyšetření. Obvykle se rozdělují na artefakty zapříčiněné pacientem, nebo související s pracovním postupem, se zpracováním dat, či přístrojem.

Nejběžnější příčinou vzniku artefaktů je pohyb pacienta. Důvodem pohybu bývá nepohodlí vyšetřované osoby, kašel, nebo hluboké dýchání. Dyskomfort pacienta je obvykle způsoben požadavkem udržet ruce, nebo alespoň levou ruku nad hlavou a relativně dlouhá doba ležení na zádech. Pro snížení rizika pohybu pacienta je důležité věnovat pozornost jeho správnému položení na vyšetřovací lůžko a zajištění pohodlí využitím např. podložení kolen, či rukou. Minimalizovat riziko lze také zkrácením akvizičního času a to využitím dvoudetektorové kamery, která je nastavena v L módu, nebo speciálních kardiologických gamakamer (CZT detektory). (Kuníková, 2016, s. 46)

Je také důležité při hodnocení perfuzních obrazů zohledňovat stavbu těla pacienta a především anatomické rozdíly, které jsou mezi oběma pohlavími. U mužů se často nachází zeslabení záření v oblasti spodní stěny srdce, z důvodu vlivu bránice a tukové tkáně. U žen je časté zeslabení na přední stěně srdce vlivem prsní tkáně. Při špatném zobrazení spodní stěny, můžeme doplnit vyšetření o snímání pacienta v pozici na břicho (prone). Artefakty lze dále rozpoznat pomocí korekce na zeslabení nebo gated SPECT. Jestliže je zobrazen fixní defekt, který vykazuje normální systolické ztlušťování, jedná se o artefakt a ne jizvu, po prodělaném infarktu myokardu. (Táborský, 2017, s. 388)

Při scintigrafii myokardu může dojít k extrakardiální akumulaci radiofarmaka, z důvodu převážného vylučování ^{99m}Tc značených radiofarmak hepatobiliárním systémem. Proto se s myokardem zobrazí také játra a různé části střeva. Tyto struktury mohou způsobit problém, v podobě překrytí části myokardu (obzvláště spodní stěny srdce, mimořádně stěny boční). Může tak dojít k překrytí místa se sníženou perfuzí (falešně negativní výsledek), nebo k tzv. umělému defektu. Řešením těchto artefaktů je eliminace radioaktivní látky z trávicího traktu, což je v praxi nedosažitelné. Pacientům je doporučováno, aby si s sebou na vyšetření přinesli tučné jídlo (čokoládu), které způsobí eliminaci radioaktivity ze žlučových cest. (Kuníková, 2016, s. 48-49)

Jestliže se u pacientů vyskytuje LBBB, tak je mnohdy zobrazena snížená akumulace radiofarmaka v oblasti septa srdce. To není způsobeno poruchou perfuze, ale abnormální kinetikou na tomto místě. Pokud kamera naměří méně impulzů v relativně menších objektech,

v tomto případě v tenčím septu s poruchou systolického ztlušťování, je tento fenomén nazýván tzv. „partial volume efekt“. (Táborský, 2017, s. 388)

Artefakty, mohou souviset také s pracovním postupem, konkrétně s aplikací radiofarmaka. Pokud je aplikována nízká aktivita radiofarmaka při druhé fázi jednodenního protokolu, není jasně viditelný rozdíl, mezi zátěžovými a klidovými obrazy. V souvislosti s pořadím, v jakém je protokol prováděn, mohou nastat tyto situace. U rest-stress protokolu může být nález vyhodnocen jako falešně pozitivní (ireverzibilní defekt místo reverzibilního) a stress-rest protokol může být vyhodnocen jako falešně negativní (bez defektu namísto reverzibilního defektu). Tomuto artefaktu lze předcházet aplikací 3x větší dávky aktivity radiofarmaka při druhé oproti první dávky.

Dalším důvodem artefaktů je tzv. paravenózní aplikace radiofarmaka. Ta může způsobit jak nekvalitní „zašumělé“ obrazy, tak distribuci radiofarmaka v ostatních tkáních např. v lymfatických cestách. Je-li zobrazena radioaktivita v mízních uzlinách, může dojít k podezření na přítomnost maligního onemocnění (negativní vliv na psychiku pacienta, v důsledku dalšího vyšetřování).

Nahromadění radiofarmaka v rezervoáru intravenózního portu, je dalším problémem, který způsobuje artefakty. Toto nahromadění může způsobovat problémy při počítačovém zpracování, stejně jako extrakardiální akumulace radiofarmaka, nebo může vyvolat podezření na přítomnost zhoubného procesu. Podezření na zhoubné onemocnění může být způsobeno také kontaminací kůže nebo oděvu pacient radiofarmakem.

Vznik artefaktů souvisí i se zpracováním dat např. filtrování, geometrie osy levé komory, oblast zájmu, kvantitativní hodnocení, registrace obrazů a v souvislosti s přístrojem je to homogenita zorného pole a centrum rotace. (Kuníková, 2016, s. 44)

4 Viabilita myokardu

Po prodělaném infarktu myokardu, se vyšetření metabolismu srdeční svaloviny nejčastěji využívá za účelem zjištění životaschopnosti (viability). Jestliže je po provedené revaskularizaci většina dysfunkčního myokardu viabilní, lze předpokládat, že funkce srdce se zlepší. Pokud ale je myokard stále i po tomto zákroku neviabilní, tak pravděpodobnost zlepšení funkce je minimální. Rizikovou skupinu představují pacienti s hibernovaným myokardem (afunkční, ale viabilní), u kterých se mohou častěji vyskytovat maligní arytmie, proto by měli být tito pacienti revaskularizováni. U pacientů po prodělaném infarktu myokardu zhojeném jizvou, se tyto arytmie vyskytují méně často.

Sledování viability myokardu může být provedeno i nepřímo a to využitím klidové perfuzní scintigrafie za použití ^{99m}Tc nebo ^{201}Tl značených radiofarmak. Za předpokladu, že myokardiální buňky akumulují „perfuzní radiofarmakum“, musejí mít zachovány integritu membrány buňky. Tzn., musí být viabilní. (Kupka, 2015, s. 46)

Pro zobrazování viability myokardu se také využívá radioaktivně značený analog glukózy, který se následně vychytává ve tkáních využívajících glukózu, jako energetický zdroj. Obecně platí, že pouze životaschopné tkáně vykazují metabolismus glukózy, takže pozitronová emisní tomografie (PET) pomocí ^{18}F -FDG může být použita pro hodnocení životaschopnosti. (Rischpler, 2013, s. 4) Mastné kyseliny a v závažnějších případech anaerobní glykolýza jsou hlavními zdroji energie myokardu. Tzv. hibernace myokardu může nastat u závažné chronické hypoperfuze. Tento stav znamená, že bude zachován bazální metabolismus myokardu se zajištěním nejdůležitějších buněčných pochodů, ale myokard nebude schopen provádět svou funkci. Dojde ke snížení až vymizení kontraktility. Bazální metabolismus lze zhodnotit pomocí FDG. (Koranda, 2014, s. 82)

Myokard se sníženým krevním průtokem a současně sníženou akumulací ^{18}F -FDG je označován jako „perfuzně-metabolický match“, který je považován za avitální (neživý). Tomu odpovídá jizva po infarktu myokardu. Zatímco při sníženém krevním průtoku a současně dostačující akumulací FDG se tento stav nazývá „perfuzně-metabolický mismatch“, který je interpretovaný jako ischemický, ale viabilní myokard („hibernující myokard“). (Rischpler, 2013, s. 4-5) Jelikož existuje také tzv. „reverzní mismatch“, nelze vyšetřovat metabolismus FDG separátně bez znalosti perfuze myokardu. Tento reverzní mismatch se projevuje standardní, nebo téměř standardní perfuzí se současným metabolickým defektem glukózy (Viz tab. 2). (Koranda, 2014, s. 82)

Tab. 2: Hodnocení perfuze a metabolismu v dysfunkčním myokardu pomocí ¹⁸F-FDG.

Perfuze	Metabolizmus	Hodnocení
Normální	Normální	Omráčený myokard
Snížená	Normální	Perfuzně-metabolický mismatch
Defekt (<50% max.)	Výpadek (<50% max.)	Perfuzně-metabolický match
Normální nebo lehce snížená	Výpadek (<50% max.)	Reverzní mismatch (omráčený myokard)

Zdroj: Koranda, 2014, str. 82

Pozitronová emisní tomografie ve srovnání s klasickou scintilační gamakamerou má lepší rozlišovací schopnost a vyšší citlivost. PET také umožňuje sledování některých radiofarmak, které snímat scintilační kamerou nelze. (Kubinyi, 2018, s. 212) Díky své výborné rozlišovací schopnosti se pro diagnostiku životaschopnosti myokardu poslední dobou využívá magnetická rezonance. Ta umožňuje posoudit transmuralitu myokardiální léze a detekovat subendokardiální postižení. (Kupka, 2015, s. 46)

Závěr

Kardiovaskulární onemocnění patří mezi onemocnění, která jsou příčinou více než 50% úmrtí a to nejen v České republice. Je proto logické, že odborná veřejnost k tomuto problému nemůže být lhostejná. V rámci výzkumu a rozvoje a především snahy o minimalizaci těchto onemocnění došlo v posledních desetiletích k významnému rozvoji samostatného lékařského oboru kardiologie a metod, které jsou při diagnostice i při vlastním léčení pacienta používány v praxi.

V předložené bakalářské práci jsou na základě rešerše zvolených zdrojů a analýzy získaných informací prezentovány závěry o neinvazivních vyšetřovacích metodách, které jsou v současnosti nejvíce využívány na odděleních nukleární medicíny při diagnostice onemocnění a formulování prognóz a strategií léčby u pacientů.

Dnes nejvyužívanější metodou v nukleární kardiologii je perfuzní scintigrafie myokardu, které je věnována převážná část bakalářské práce. Jedná se o jednu z podmnožin všech neinvazivních funkčních kardiovaskulárních zobrazování, které jsou používány při vyšetřování pacientů s podezřením na, anebo s prokázanou ischemickou chorobou srdeční. Základem tohoto vyšetření je intravenózní aplikace radiofarmaka, které se následně distribuuje v myokardu v závislosti na jeho prokrvení. Základem tohoto vyšetření jsou právě již uvedená radiofarmaka a z těchto důvodů jsou podrobně charakterizovány v úvodní kapitole bakalářské práce. Jejich vlastnosti jsou v nukleární medicíně využívány nejméně od roku 1973, kdy ^{201}Tl – chlorid thalný byl prvním radionuklidem, který byl v praxi využit. V práci jsou popisnou formou prezentovány jeho základní charakteristiky (poločas rozpadu, způsoby transportu, doba akvizice apod.) a jeho komparace s následně v praxi využívanými radiofarmaky značenými jako $^{99\text{m}}\text{Tc}$.

Významným předpokladem úspěšného vyšetření pacienta je i jeho vlastní aktivní spolupráce při vyšetření. V práci je popsána příprava pacienta, která předchází plánovanému vyšetření myokardu. Nezbytným předpokladem je, aby byl pacient řádně informován a připraven (informace o plánovaném vyšetření, způsobu chování pacienta před vyšetřením apod.). K tomuto slouží předpřipravené formuláře. Z nich se pacient dozví účel, povahu, průběh, alternativy vyšetření i vlastní rizika, která plánované vyšetření přináší. Podepsáním tohoto formuláře pacient projeví svůj souhlas s provedením vyšetření. Po administrativních nezbytných formalitách a splnění vstupních podmínek vyšetření je pacient připraven k provedení vlastního vyšetření. Jsou zde popsány také vyšetřovací protokoly, jejich vzájemné porovnání a identifikace přínosů a záporů k danému vyšetření.

V další části bakalářské práce jsou publikovány informace, vztahující se k vlastnímu provedení vyšetření. Popsány jsou faktory ovlivňující jak komfort pacienta při vyšetření tak i technické prostředky a postupy, které významným způsobem ovlivňují průběh vyšetření i získaná data k provedení vyhodnocení.

Nezbytným předpokladem odpovědné roviny pochopení daného (popisovaného) vyšetření je i vlastní popis, technická charakteristika využívaných prostředků a způsoby hodnocení závěrů vyšetření. Z těchto důvodů jsou v práci hodnoceny systémy využívaného zobrazování a kvalitativní a kvantitativní způsoby vyhodnocení vyšetření.

Ne vždy jsou v průběhu vyšetření dosažena ta nejlepší zobrazení, která by se předpokládala a očekávala. Existuje určité množství možných artefaktů, které průběh vyšetření mohou ovlivnit. Ne všechny jsou způsobené pouze pacientem. Existují určité, které mohou být způsobeny chybou například v průběhu vyšetření.

Cílem předložené práce bylo provedení rešerše odborné literatury a otevřených dostupných zdrojů ke zvolenému tématu práce a publikace analyzovaných informací k identifikované a nejčastěji v praxi využívané metodě vyšetření myokardu. Soubor prostudované literatury je uveden v části referenčního seznamu. Nezbytným předpokladem odpovědné analýzy informací byly i zjištěné poznatky a konzultace s vedoucí práce i na odborných pracovištích, které byly v průběhu studia a odborných praxí navštíveny.

Referenční seznam

1. ACAMPA, Wanda, Maria Piera PETRETTA, Stefania DANIELE, et al., 2013. Myocardial perfusion imaging after coronary revascularization: a clinical appraisal. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* [online]. 40(8), 1275-1282 [cit. 2019-01-27]. DOI: 10.1007/s00259-013-2417-8. ISSN 1619-7070. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00259-013-2417-8>
2. ADÁMKOVÁ, Věra, 2016. *Hodnocení vybraných metod v kardiologii a angiologii pro praxi*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-5763-6.
3. ARGULIAN, Edgar, Jose Ricardo F. PO, Seth URETSKY, et al., 2017. Comparison of the current reasons for undergoing pharmacologic stress during echocardiographic and radionuclide stress testing. *Journal of Nuclear Cardiology* [online]. 24(2), 546-554 [cit. 2019-02-20]. DOI: 10.1007/s12350-016-0398-2. ISSN 1071-3581. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12350-016-0398-2>
4. CZAJA, Monika;wygoda, 2017. Interpreting myocardial perfusion scintigraphy using single-photon emission computed tomography. Part 1. *Polish Journal of Thoracic* [online]. 14(3), 192-199 [cit. 2019-01-22]. DOI: 10.5114/kitp.2017.70534. ISSN 17315530. Dostupné z: <http://web.a.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=16&sid=e534898e-7831-4781-a4e5-cd1cf60d15f3%40sdc-v-sessmgr04>
5. DEY, Thomas, Barbra E. BACKUS, R. Leo et al. 2014. Low-dose single acquisition rest 99mTc/stress 201Tl myocardial perfusion SPECT protocol: phantom studies and clinical validation. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* [online]. 41(3), 536-547 [cit. 2019-01-26]. DOI: 10.1007/s00259-013-2551-3. ISSN 1619-7070. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00259-013-2551-3>
6. DORBALA, Sharmila, Karthik ANANTHASUBRAMANIAM, Ian S. ARMSTRONG, et al., 2018. Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) Myocardial Perfusion Imaging Guidelines: Instrumentation, Acquisition, Processing, and Interpretation. *Journal of Nuclear Cardiology* [online]. 25(5), 1784-1846 [cit. 2019-02-10]. DOI: 10.1007/s12350-018-1283-y. ISSN 1071-3581. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12350-018-1283-y>
7. FARZANEH-FAR, Afshin, Linda K. SHAW, Allison DUNNING, et al., 2015. Comparison of the prognostic value of regadenoson and adenosine myocardial perfusion imaging. *Journal of Nuclear Cardiology* [online]. 22(4), 600-607 [cit. 2019-02-26]. DOI: 10.1007/s12350-015-0155-y. ISSN 1071-3581. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12350-015-0155-y>

8. GERMANO, Guido, Piotr J. SLOMKA a Daniel S. BERMAN, 2013. New Hardware Solutions for Cardiac SPECT Imaging. *Current Cardiovascular Imaging Reports* [online]. 6(4), 305-313 [cit. 2019-02-11]. DOI: 10.1007/s12410-013-9206-4. ISSN 1941-9066. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12410-013-9206-4>
9. CHO, Sang-Geon, Zeenat JABIN a Henry Hee-Seung BOM, 2017. Safer stress tests for myocardial perfusion imaging. *Journal of Nuclear Cardiology* [online]. 1-4 [cit. 2019-02-23]. DOI: 10.1007/s12350-017-1083-9. ISSN 1071-3581. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12350-017-1083-9>
10. IMBERT, Laetitia a Pierre-Yves MARIE, 2016. CZT cameras: A technological jump for myocardial perfusion SPECT. *Journal of Nuclear Cardiology* [online]. 23(4), 894-896 [cit. 2019-03-10]. DOI: 10.1007/s12350-015-0216-2. ISSN 1071-3581. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12350-015-0216-2>
11. Informovaný souhlas pacienta (zákonného zástupce pacienta) s perfuzní scintigrafií myokardu (SPECT). In: Fakultní nemocnice Olomouc [online]. Olomouc: Klinika nukleární medicíny [cit. 2019-03-11]. Dostupné z: https://www.fnol.cz/klinika-nuklearni-mediciny-zakladni-informace-sekce_818.html
12. KORANDA, Pavel, 2014. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-4031-6.
13. KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK, 2018. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0168-9.
14. KUNÍKOVÁ, Ivana a Lang OTTO, 2016. Artefakty u perfuzní scintigrafie myokardu. *Nukleární medicína*. Praha: Česká lékařská společnost JE Purkyně, 5(3), 44-54. ISSN 1805-1146.
15. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL, 2015. *Nukleární medicína*. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). V Praze: P3K. ISBN 978-80-87343-54-8.
16. LANG, Otto, Milan KAMÍNEK a Helena TROJANOVÁ, c2008. *Nukleární kardiologie*. Praha: Galén. Klinická kardiologie. ISBN 978-807-2624-812.
17. MANABE, Osamu, Tatsuya KIKUCHI, Arthur J. H. A. SCHOLTE, et al., 2018. Radiopharmaceutical tracers for cardiac imaging. *Journal of Nuclear Cardiology* [online]. 25(4), 1204-1236 [cit. 2019-01-16]. DOI: 10.1007/s12350-017-1131-5. ISSN 1071-3581. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12350-017-1131-5>

18. MASUDA, Atsuro, Keiichiro YOSHINAGA, Masanao NAYA, et al., 2016. Accelerated ^{99m}Tc-sestamibi clearance associated with mitochondrial dysfunction and regional left ventricular dysfunction in reperfused myocardium in patients with acute coronary syndrome. *EJNMMI Research* [online]. 6(1) [cit. 2019-01-23]. DOI: 10.1186/s13550-016-0196-5. ISSN 2191-219X. Dostupné z: <http://ejnmires.springeropen.com/articles/10.1186/s13550-016-0196-5>
19. MIYAMOTO, M, S VERNOTICO, H MAJMUNDAR et al., 2007. Pharmacologic stress myocardial perfusion imaging: A practical approach. *Journal of Nuclear Cardiology* [online]. 14(2), 250-255 [cit. 2019-01-24]. DOI: 10.1016/j.nuclcard.2007.01.006. ISSN 10713581. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1016/j.nuclcard.2007.01.006>
20. NOVÁKOVÁ, Drahoslava, Jaroslav ŠIPULA, Radoslava DROZDKOVÁ, et al., 2015. Dobutaminový test a SPECT myokardu. *Nuclear Medicine / Nukleární Medicína* [online]. 4(3), 51-59 [cit. 2019-03-03]. ISSN 18051146. Dostupné z: <http://web.b.ebscohost.com/ehost/pdfviewer/pdfviewer?vid=4&sid=618ecb48-d24d-4b65-9672-2750697cad36%40sessionmgr120>
21. NUDI, Francesco a Giuseppe BIONDI-ZOCCAI, 2018. Cadmium-zinc-telluride myocardial perfusion imaging: The dream of a single test gets nearer. *Journal of Nuclear Cardiology* [online]. 25(2), 550-554 [cit. 2019-03-06]. DOI: 10.1007/s12350-017-0833-z. ISSN 1071-3581. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12350-017-0833-z>
22. ODDSTIG, Jenny, Fredrik HEDEER, Jonas JÖGI, et al., 2013. Reduced administered activity, reduced acquisition time, and preserved image quality for the new CZT camera. *Journal of Nuclear Cardiology* [online]. 20(1), 38-44 [cit. 2019-03-10]. DOI: 10.1007/s12350-012-9634-6. ISSN 1071-3581. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s12350-012-9634-6>
23. PAGNANELLI, R. A. a D. A. BASSO, 2010. Myocardial Perfusion Imaging with ²⁰¹Tl. *Journal of Nuclear Medicine Technology* [online]. 38(1), 1-3 [cit. 2019-01-26]. DOI: 10.2967/jnmt.109.068593. ISSN 0091-4916. Dostupné z: <http://tech.snmjournals.org/cgi/doi/10.2967/jnmt.109.068593>
24. PERRIN, Mathieu, Wassila DJABALLAH, Frédéric MOULIN, et al., 2015. Stress-first protocol for myocardial perfusion SPECT imaging with semiconductor cameras: high diagnostic performances with significant reduction in patient radiation doses. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging* [online]. 42(7), 1004-1011 [cit. 2019-01-26]. DOI: 10.1007/s00259-015-3016-7. ISSN 1619-7070. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s00259-015-3016-7>

25. RISCHPLER, Christoph, Stephan NEKOLLA a Markus SCHWAIGER, 2013. PET and SPECT in Heart Failure. *Current Cardiology Reports* [online]. 15(3) [cit. 2019-03-04]. DOI: 10.1007/s11886-012-0337-z. ISSN 1523-3782. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11886-012-0337-z>
26. TÁBORSKÝ, Miloš, Josef KAUTZNER a Aleš LINHART, 2017. *Kardiologie*. Praha: Mladá fronta. ISBN 978-802-0444-349.
27. VERBERNE, Hein J. Wanda Acampa, Constantinos Anagnostopoulos, et al., 2015. EANM procedural guidelines for radionuclide myocardial perfusion imaging with SPECT and SPECT/CT. In: European Association of Nuclear Medicine [online]. Amsterdam: EANM [cit. 2019-01-26]. Dostupné z: https://eanm.org/publications/guidelines/2015_07_EANM_FINAL_myocardial_perfusion_guideline.pdf
28. YAMAZAKI, Motohiko, Takeshi HIGUCHI, Toshikazu SHIMOKOSHI, et al. 2016. Acute coronary syndrome: evaluation of detection capability using non-electrocardiogram-gated parenchymal phase CT imaging. *Japanese Journal of Radiology* [online]. 34(5), 331-338 [cit. 2019-01-23]. DOI: 10.1007/s11604-016-0527-5. ISSN 1867-1071. Dostupné z: <http://link.springer.com/10.1007/s11604-016-0527-5>

Seznam zkratek

AKS	Akutní koronární syndrom
CABG	Coronaryartery bypass graft
EF	Ejekční frakce
EKG	Elektrokardiograf
FDG	Fluorodeoxyglukóza
ICHS	Ischemická choroba srdeční
LBBB	Blokádou levého Tawarova raménka
MIBI	Methoxyisobutyl-isonitril
PET	Pozitronová emisní tomografie
SDS	Sumační rozdílové skóre
SPECT	Jednofotonová emisní tomografie
SRS	Sumační klidové skóre
SSS	Sumační zátěžové skóre
TF	Tepová frekvence
TK	Tlak krve
TPD	Totální perfuzní defekt

Seznam tabulek

Tab. 1: Typy zátěžových testů používaných při zobrazování pomocí perfuze myokardu.	18
Tab. 2: Hodnocení perfuze a metabolismu v dysfunkčním myokardu pomocí ^{18}F -FDG.	29

Seznam obrázků

Obr. 1: Princip akvizice gated SPECT	22
--------------------------------------	----

Seznam příloh

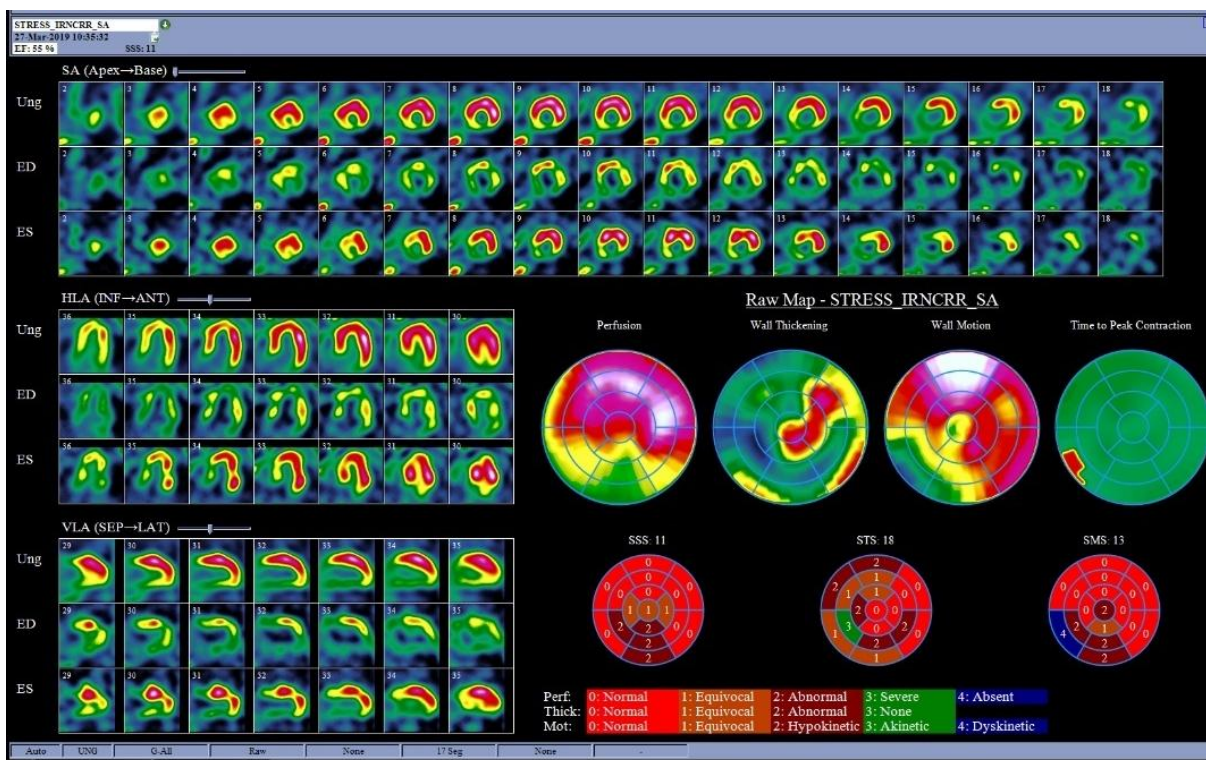
Příloha 1: Scintigrafické zobrazení perfuze a funkce levé komory	39
Příloha 2: Scintigrafické zobrazení perfuze a funkce levé komory	40
Příloha 3: Scintigrafické zobrazení perfuze a funkce levé komory	41
Příloha 4: Scintigrafické zobrazení perfuze a funkce levé komory	42
Příloha 5: Scintigrafické zobrazení perfuze a funkce levé komory	43

Přílohy

Příloha 1

Pacient 1.: Scintigrafické zobrazení perfuze a funkce levé komory

Zátěžový ^{99m}Tc -MIBI SPECT v poloze na zádech (supine): defekt depozice radiofarmaka v oblasti spodní stěny -skutečný defekt nebo artefakt vlivem zeslabení záření bránicí?

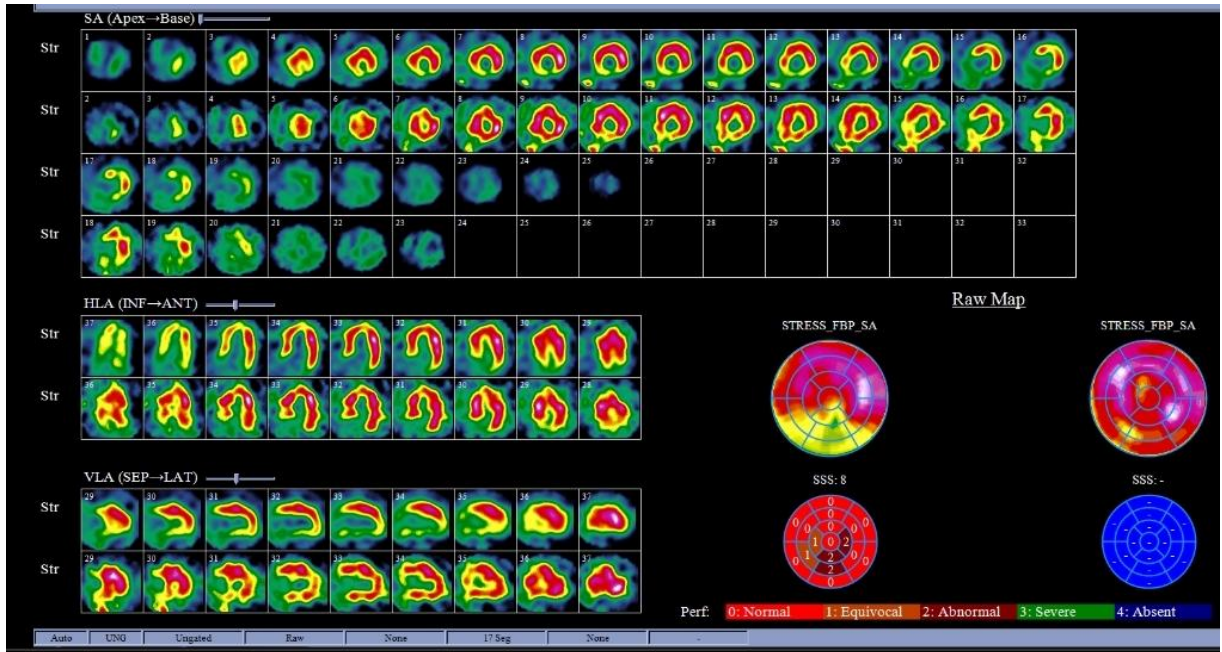


Zdroj: archiv KNM FN Olomouc

Příloha 2

Pacient 1.: Scintigrafické zobrazení perfuze a funkce levé komory

Zátěžový ^{99m}Tc -MIBI SPECT v poloze na zádech (supine) a v poloze na břiše (prone):
došlo k úpravě výše uvedeného defektu na spodní stěně, jedná se tedy o artefakt a normální
pozátěžovou perfuzi myokardu levé komory

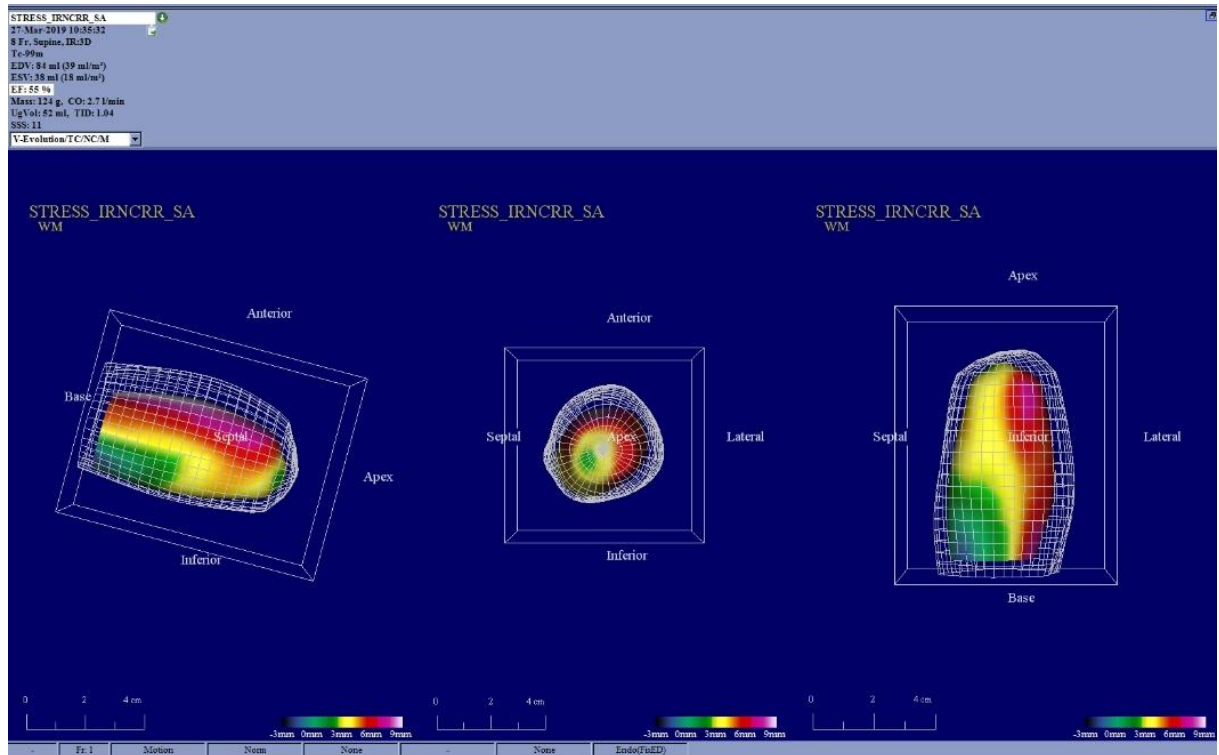


Zdroj: archiv KNM FN Olomouc

Příloha 3

Pacient 1.: Scintigrafické zobrazení perfuze a funkce levé komory

Gated SPECT 3D zobrazení - bílá mřížka reprezentuje end-diastolu, barevný povrch reprezentuje end-systolu (rozdíl mezi nimi = kinetika): normální kinetika ve všech segmentech levé komory, normální ejekční frakce - 55%.

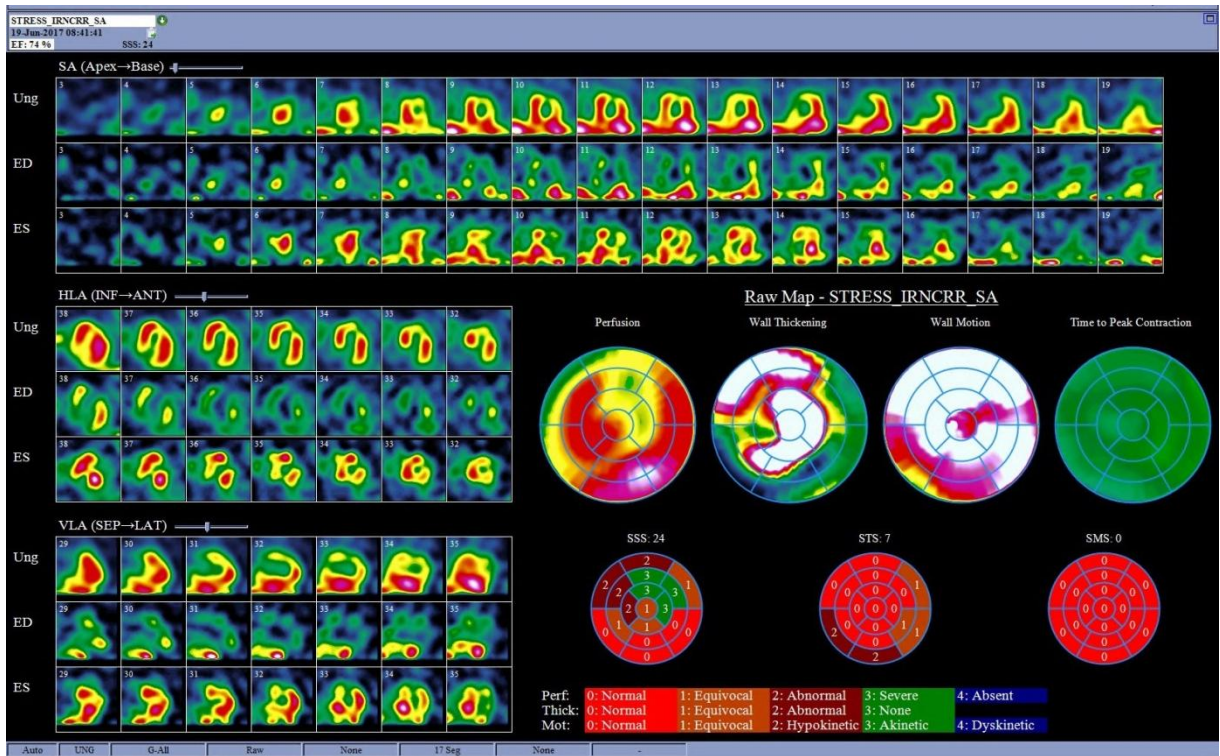


Zdroj: archiv KNM FN Olomouc

Příloha 4

Pacient 2.: Scintigrafické zobrazení perfuze a funkce levé komory

Zátěžový ^{99m}Tc -MIBI SPECT: defekt perfuze anteriorně a apikolaterálně.

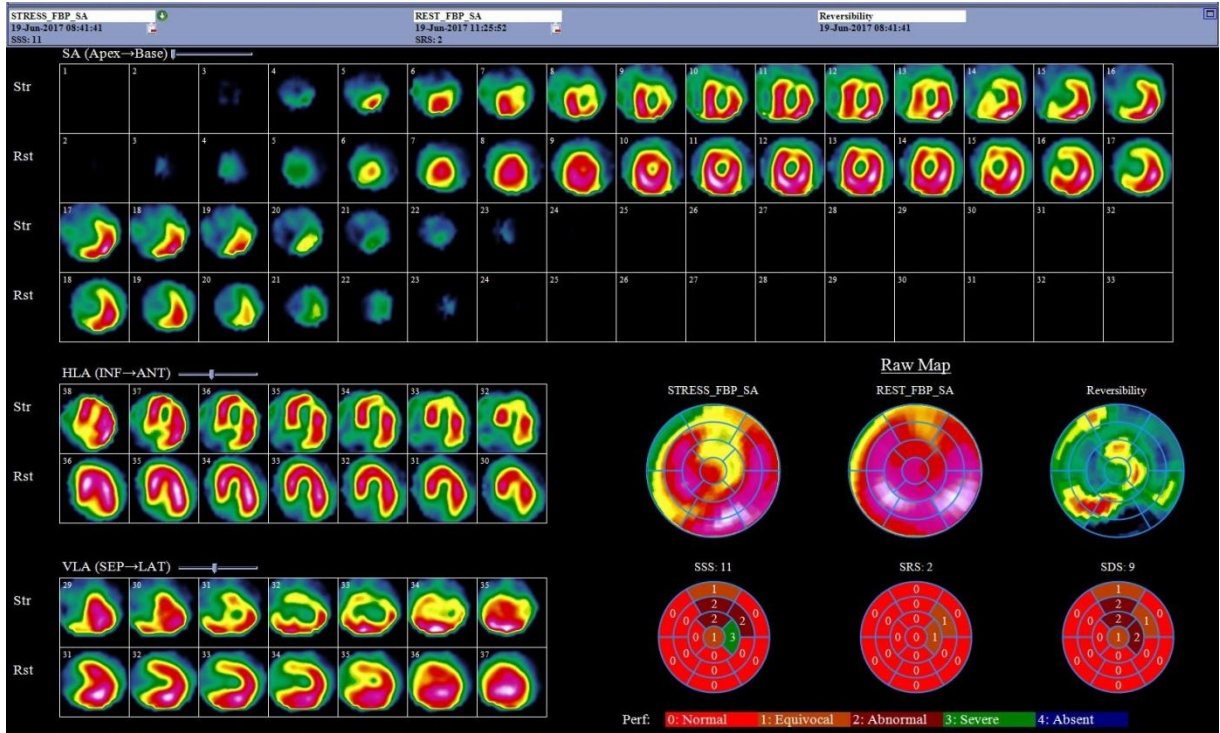


Zdroj: archiv KNM FN Olomouc

Příloha 5

Pacient 2.: Scintigrafické zobrazení perfuze a funkce levé komory

Zátěžový ^{99m}Tc -MIBI SPECT: zátěží navozený defekt perfuze anteriorně a apikolaterálně, při klidovém zobrazení téměř úplná úprava defektu – sumační zátěžové skóre = 11, což odpovídá středně závažné perfuzní abnormalitě



Zdroj: archiv KNM FN Olomouc