

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

Kateřina Špačková

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Název práce

SPECT zobrazení perfúze myokardu u pacientů s ischemickou chorobou srdeční

2023

Kateřina Špačková

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2021/2022

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Kateřina Špačková**
Osobní číslo: **Z20116**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Téma práce: **SPECT zobrazení perfúze myokardu u pacientů s ischemickou chorobou srdeční**
Téma práce anglicky: **SPECT imaging of myocardial perfusion in patients with ischemic heart disease**
Zadávací katedra: **Katedra klinických oborů**

Zásady pro vypracování

1. Studium literatury, sběr informací a popis současného stavu řešené problematiky.
2. Stanovení cílů a metodiky práce.
3. Příprava a realizace výzkumného šetření dle stanovené metodiky.
4. Analýza a interpretace získaných dat.
5. Zhodnocení výsledků práce.

Rozsah pracovní zprávy: **35 stran**
Rozsah grafických prací: **dle doporučení vedoucího**
Forma zpracování bakalářské práce: **tištěná/elektronická**

Seznam doporučené literatury:

- BULAVA, Alan, 2017. Kardiologie pro nelékařské zdravotnické obory. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-271-0468-0.
ČIHÁK, Radomír, 2016. Anatomie 3. Praha: Grada. ISBN 978-80-247-5636-3.
KORANDA, Pavel, 2014. Nukleární medicína. Olomouc: Univerzita Palackého. Skripta. ISBN 978-80-244-4031-6.
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.
STANĚK, Vladimír, 2020. Kardiologie v praxi. 2. aktualizované a rozšířené vydání. Mlečice: Axonite s.r.o., nakladatelství lékařské literatury. ISBN 978-80-88046-21-9.

Vedoucí bakalářské práce: **doc. MUDr. Jiří Doležal, Ph.D.**
Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: **1. prosince 2021**
Termín odevzdání bakalářské práce: **27. dubna 2023**

doc. Ing. Jana Holá, Ph.D. v.r.
děkanka

L.S.

Mgr. Zuzana Červenková, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 2. března 2023

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji, že práci s názvem SPECT zobrazení perfúze myokardu u pacientů s ischemickou chorobou srdeční jsem vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., o právu autorském, o právech souvisejících s právem autorským a o změně některých zákonů (autorský zákon), ve znění pozdějších předpisů, zejména se skutečností, že Univerzita Pardubice má právo na uzavření licenční smlouvy o užití této práce jako školního díla podle § 60 odst. 1 autorského zákona, a s tím, že pokud dojde k užití této práce mnou nebo bude poskytnuta licence o užití jinému subjektu, je Univerzita Pardubice oprávněna ode mne požadovat přiměřený příspěvek na úhradu nákladů, které na vytvoření díla vynaložila, a to podle okolností až do jejich skutečné výše.

Beru na vědomí, že v souladu s § 47b zákona č. 111/1998 Sb., o vysokých školách a o změně a doplnění dalších zákonů (zákon o vysokých školách), ve znění pozdějších předpisů, a směrnicí Univerzity Pardubice č. 7/2019 Pravidla pro odevzdávání, zveřejňování a formální úpravu závěrečných prací, ve znění pozdějších dodatků, bude práce zveřejněna prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 12.4.2023

Kateřina Špačková v.r.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych ráda poděkovala vedoucímu bakalářské práce, doc. MUDr. Jiřímu Doležalovi, Ph.D. za vedení práce, cenné rady a konstruktivní kritiku, které mi pomohly při zpracování.

ANOTACE

Perfúzní scintigrafie myokardu je vyšetření diagnostikující ischemickou chorobu srdeční. Vyšetřuje se na oddělení nukleární medicíny, za pomoci radiofarmak. Využívá možnosti využití stres testu a klidového testu.

KLÍČOVÁ SLOVA

Perfúzní scintigrafie myokardu, radiofarmaka, vyšetřovací protokoly, SPECT, ICHS

TITLE

SPECT imaging of myocardial perfusion in patients with ischemic heart disease

ANNOTATION

Myocardial perfusion scintigraphy is an examination used to diagnose ischemic heart disease. Examinations take place at the nuclear medicine department with utilization of radiopharmaceuticals. It utilizes the stress test and rest test.

KEYWORDS

Myocardial perfusion scintigraphy, radiopharmaceuticals, examination protocols, SPECT, CAD

OBSAH

Úvod	15
1 Cíle a metody práce	16
1.1 Cíl práce.....	16
Teoretická část	17
2 Teoretické základy pro bakalářskou práci	17
2.1 Nukleární medicína	17
2.2 Radiologický asistent	18
2.3 Základní fyzikální pojmy.....	18
2.3.1 Atom.....	18
2.3.2 Radioaktivita.....	18
2.3.3 Ionizující záření	19
2.3.4 Aktivita a poločas přeměny	20
2.3.5 Biologické účinky ionizujícího záření.....	20
2.3.6 Radionuklid.....	21
2.4 Zásady radiační ochrany.....	22
2.4.1 Radiační limity.....	23
2.4.2 Klasifikace zdrojů a kategorizace pracovišť.....	24
2.4.3 Kontrolované a sledované pásmo	25
2.4.4 Kategorizace radiačních pracovníků	25
2.5 Zobrazovací technika v nukleární medicíně	25
2.5.1 Gamakamery	26
2.5.2 SPECT kamera.....	26
2.5.3 Hybridní SPECT/CT kamera.....	27
2.5.4 PET skener.....	27
2.5.5 PET/CT skener.....	27
2.6 Anatomie srdce	27

2.6.1	Cévní zásobení srdce.....	29
2.6.2	Srdeční nervy.....	30
2.6.3	Převodní systém srdeční.....	30
2.7	ICHS.....	31
2.7.1	Rizikové faktory.....	31
2.7.2	Stabilní a nestabilní aterosklerotické pláty.....	32
2.7.3	Akutní koronární syndrom.....	32
2.7.4	Léčba akutního koronárního syndromu.....	33
2.7.5	Stabilní ischemická choroba srdeční.....	34
2.7.6	Stabilní angina pectoris.....	34
	Výzkumná část.....	36
3	SPECT perfúze myokardu.....	36
3.1	Indikace.....	36
3.2	Kontraindikace.....	36
3.1	Radiofarmakum.....	37
3.2	Příprava pacienta na vyšetření.....	38
3.2.1	Příprava.....	38
3.3	Vlastní vyšetření.....	39
3.3.1	Protokoly vyšetření.....	42
3.3.2	Zátěžové techniky.....	44
3.3.3	Farmakologická zátěž.....	44
3.3.4	Fyzická zátěž.....	46
3.3.5	Předčasné ukončení zátěže.....	47
3.3.6	Artefakty.....	47
3.4	Hodnocení perfúzní scintigrafie myokardu.....	48
4	Diskuze.....	50
5	Závěr.....	53

6	Použitá literatura.....	54
7	Přílohy.....	57

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1- Kryt na radioaktivní látku (vlastní zdroj, 2022).....	23
Obrázek 2- Převodní systém srdeční (Habásko, 2023).....	31
Obrázek 3- Infarkt myokardu (Nemocnice České Budějovice, 2013).....	33
Obrázek 4- ICHS (Nemocnice České Budějovice, 2013).....	34
Obrázek 5- Lůžko SPECT s EKG svody (vlastní zdroj, 2022).....	40
Obrázek 6- Umístění EKG svodů (Habásko, 2023)	41
Obrázek 7- Gamakamera (vlastní zdroj, 2022)	41
Obrázek 8- Lůžko určené k aplikaci farmakologické zátěže, resuscitační vozík (vlastní zdroj, 2022)	46
Obrázek 9- Ergometr (vlastní zdroj, 2022)	47

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

^{111}In	$^{111}\text{Indium}$
^{11}C	$^{11}\text{Uhlík}$
^{131}I	$^{131}\text{Jód}$
^{13}N	$^{13}\text{Dusík}$
^{15}O	$^{15}\text{Kyslík}$
^{18}F	$^{18}\text{Fluor}$
^{201}Tl	201 Thallium Chlorid
^{235}U	$^{235}\text{Uran}$
2D	dvourozměrný
^{32}P	$^{32}\text{Fosfor}$
3D	trojrozměrný
^{51}Cr	$^{51}\text{Chróm}$
$^{81\text{m}}\text{Kr}$	$^{81\text{m}}\text{Krypton}$
$^{81\text{m}}\text{Kr}$	$^{81\text{m}}\text{Krypton}$
^{81}Rb	$^{81}\text{Rubidium}$
^{99}Mo	$^{99}\text{Molybden}$
$^{99\text{m}}\text{Tc}$	$^{99\text{m}}\text{Technecium}$
ADP	adenosinbifosfát
Aj.	A jiné
ALARA	"as low as reasonably achievable" systém optimalizace radiační ochrany
Apod.	Apodobně
ATP	adenosintrifosfát

Bq	Becquerel
Cm ²	Centimetr čtvereční
CT	Výpočetní tomografie
č.	číslo
ČR	Česká republika
DNA	deoxyribonukleová kyselina
FZS	Fakulta zdravotnických studií
Gy	Gray
kBq	Kilobecquerel
keV	kiloelektron volt
LK	levá komora
MBq	Megabecquerel
MeV	Megaelektron volt
mGy	miliGray
mmHg	milimetr rtuťového sloupce
MRI	Magnetická rezonance
mSv	miliSievert
např.	například
NPK	Nemocnice Pardubického kraje, a.s.
PET	Pozitronová emisní tomografie
s.	strana
SAM	sadenosylmethionin
Sb.	Sbírky
SPECT	Jedno-fotonová emisní výpočetní tomografie

SÚJB Státní úřad pro jadernou bezpečnost

Tzv. Takzvaně

UPCE Univerzita Pardubice

ÚVOD

Bakalářská práce je zaměřená na téma SPECT zobrazení perfúze myokardu při ischemické chorobě srdeční a na úlohu radiologického pacienta, kterou plní při tomto vyšetření.

Nemoc koronárních tepen byla hlavní příčinou úmrtí od roku 1960. Úmrtí vedla k velké motivaci k hledání a vyvíjení metod k vyšetření srdeční perfúze. Nové metody pomáhají s brzkou diagnózou a včasnou léčbou (Klein, 2020).

Jednofotonová emisní výpočetní SPECT vyšetření perfúze myokardu je důležité neinvazivní vyšetření. Hlavně u pacientů s podezřením nebo s již známým onemocněním koronárních tepen. Má vynikající diagnostickou přesnost pro detekci nemocí koronárních tepen v kombinaci s fyzickým cvičením a farmakologickým stresem. Prognóza vyšetření má při zátěžovém a klidovém testování výborné výsledky (Widimský, 2020).

V teoretické části jsou základní informace o nukleární medicíně, anatomii srdce a radiační ochraně. Dodržování pravidel nukleární medicíny je velmi důležité jak pro zaměstnance, tak pro pacienty. Zároveň jsou tam informace o využívaných radiofarmakách a o přístrojích, které se v rámci vyšetření používají.

V praktické části je popsán samotný postup vyšetření. Jsou v ní popsány důvody k indikaci a případné kontraindikace, které mohou být důvodem k tomu proč, není možné vyšetření provést. Je zde popsána příprava k vyšetření a následné vyhodnocování vyšetření.

1 CÍLE A METODY PRÁCE

Cílem bakalářské práce bylo popsat úlohu radiologického asistenta při vyšetření perfúze myokardu pomocí SPECT. Vysvětlit možnosti vyšetření a jeho přínos při diagnostice ischemické choroby srdeční. Zároveň by měla ukázat jeho nevýhody a případná rizika.

1.1 Cíl práce

Porovnání vyšetření SPECT perfúze myokardu u pacientů s ICHS ve více nemocničních zařízeních. Popsání průběhu vyšetření.

Průzkumné otázky

Jak se vyšetření provádí?

Jaký má vyšetření přínos?

Co může ovlivnit výsledky vyšetření?

TEORETICKÁ ČÁST

2 TEORETICKÉ ZÁKLADY PRO BAKALÁŘSKOU PRÁCI

2.1 Nukleární medicína

Nukleární medicína je lékařský obor, využívající radionuklidové zdroje ionizujícího záření ve formě otevřených zářičů (kapalin, tuhých látek, kapalin, aerosolů nebo plynů). Stavy, které se mohou sledovat pomocí diagnostických metod jsou funkční stavy orgánů, zobrazování distribuce nádorových antigenů, jejich metabolická aktivita i na molekulární úrovni, hormonálních receptorů, aktivity zánětu a zobrazování různých patologických lézí. Terapeutické metody umožňují úspěšně léčit nádorová i nenádorová onemocnění. Diagnostické metody jsou rozdělené na in vivo a in vitro (Koranda, 2014).

In vivo je metoda, při které se radioaktivní látka aplikuje přímo do těla pacienta. Intravenózní injekce je jedním z nejčastějších aplikačních metod. Většina aplikačních metod je relativně neinvazivní (Koranda, 2014).

Při scintigrafii a dalších diagnostických in vivo vyšetřeních se používají radionuklidy emitující fotony elektromagnetického záření (záření gama, charakteristické rentgenové záření nebo záření vznikající při anihilaci pozitronů). Je to záření pronikavé, v těle se absorbuje jen částečně. Je možné ho zaregistrovat do vnějších detektorů. Při scintigrafickém vyšetření se zobrazí obraz radiofarmaka, které je přítomno v těle pacienta. Díky tomuto vyšetření je možné zhodnotit a sledovat fyziologické a patofyziologické procesy v těle. Také se hodnotí patologická ložiska a jejich uložení (Koranda, 2014).

In vitro je metoda, která se využívá při stanovení koncentrace látek v tělních tekutinách. Odebírá se vzorek plazmy nebo jiné tekutiny a provádí se velmi citlivá analýza. Umožní tak, že pacient vůbec nepříjde do styku s radioaktivní látkou (Koranda, 2014).

Zobrazovací metody, které jsou prováděny na radiodiagnostickém oddělení (např. MRI, sonografie, CT) jsou mnohem více vhodné na zachycení anatomických detailů. Na druhou stranu, při získávání informací o funkci, průběhu fyziologických a patologických dějů, je mnohem výhodnější využít nukleární medicínu. K ještě přesnějšímu zobrazení je možné využít hybridní přístroje. Tyto přístroje kombinují rentgenové, tomografické a nukleární medicínské zobrazování (SPECT/CT, PET/CT, PET/MRI). Obrazy jsou vytvořené

anatomicko-funkční fúzi dvou metod, umožňují přesnější interpretaci výsledků nukleárně medicínských vyšetření (Koranda, 2014).

2.2 Radiologický asistent

Radiologický asistent patří mezi nelékařské zdravotnické profese a uplatňuje se v oborech radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny. Podmínky pro uznání způsobilosti jsou popsány v ustanovení § 8 zákona č. 96/2004 Sb.

Radiologický asistent je nejméně tříletý akreditovaný zdravotnický bakalářský program, po jehož uznání smí vykonávat radiologické zobrazovací i kvantitativní postupy, léčebné aplikace ionizujícího záření a poskytovat specifickou ošetrovatelskou péči v souvislosti s radiologickými výkony. Zajišťuje radiační ochranu a ve spolupráci s lékařem se podílí na diagnostické a léčebné péči (Národní soustava povolání, 2023).

Povinnost o celoživotním vzdělávání nelékařských pracovníků je stanovena zákonem č.96/2004 Sb., o nelékařských oborech (Národní soustava povolání, 2023).

Radiologický asistent musí umět řešit úkoly samostatně, v souvislosti s výkony na radiodiagnostickém oddělení, radioterapii a oddělení nukleární medicíny. Ovládá základní praktické postupy a specifické činnosti při poskytované péči v souvislosti s radiologickými výkony za použití příslušných přístrojových technologií (Ministerstvo Zdravotnictví České republiky, 2022).

2.3 Základní fyzikální pojmy

2.3.1 Atom

Atom je složený z těžkého jádra. Jádro obsahuje kladně nabitě částice (protony) a částice bez náboje (neutrony). Protony a neutrony nazýváme nukleony. Částice se záporným nábojem, neboli elektrony, se pohybují okolo jádra po vlastní ose. Hmotnostně se proton rovná neutronu a je asi 2000krát větší než hmotnost elektronu. Počet elektronů v atomovém obalu se rovná počtu protonů v jádře, proto je elektricky neutrální (Kupka, 2015).

2.3.2 Radioaktivita

Radioaktivita je fyzikální jev, který souvisí s přeměnou (rozpadem) nestabilních jader na jádra jiného prvku. Při každé přeměně dochází k emisi jedné nebo více částic nebo fotonů. Cílem emise je dosáhnout stabilnějšího jádra. Radioaktivní rozpad může v atomovém jádře probíhat třemi základními přeměnami (Koranda, 2014).

Přeměna alfa je nejčastější přeměna, při níž mateřské jádro emituje částici alfa. Ta emituje dva protony a dva neutrony. Patří mezi přirozené radioaktivní prvky, a proto většina přirozených rozpadových řad jsou alfa zářiče. Vyskytuje se jen u radioaktivních izotopů prvků s protonovým číslem větším než 82 (Koranda, 2014).

Přeměna beta se rozlišuje na přeměnu beta-, doprovázenou emisí elektronů z atomového jádra. A přeměnu beta+, která emituje částici beta plus neboli pozitron a elektronový záchyt doprovázený emisí charakteristického rentgenového záření z elektronového obalu (Koranda, 2014).

Přeměna gama často doprovází přeměnu beta. V některých případech se totiž dceřiné jádro nenachází v základním energetickém stavu. Je ve stavu s přebytečnou energií. Při přestupu ze vzbuzeného stavu do stavu základního dojde k vyzáření přebytečné energie ve formě elektromagnetického vlnění – fotonů gama (Koranda, 2014).

2.3.3 Ionizující záření

Lidé žijí v prostředí, ve kterém jsou neustále vystaveni záření. Ionizující záření může mít několik zdrojů. Několik z nich je například kosmické záření a záření z přírodních zdrojů. Umělé zdroje se využívají v různých oblastech jako jsou průmysl, věda a medicína. V oblasti medicíny se využívají k aplikaci, která je přínosná pro člověka i společnost. Na druhou stranu je nutné počítat i s negativními důsledky v podobě přidaného ozáření osob. Z tohoto důvodu je velice důležitá přísná kontrola, která má za cíl minimalizovat jejich nepříznivý dopad (Kubinyi, 2018).

V nukleární medicíně se zdroje ionizujícího záření dají rozlišit do tří hlavních skupin. Jedny z nejvýznamnějších zdrojů jsou otevřené radionuklidové zářiče. Říká se jim radiofarmaka. Radiofarmaka jsou chemické sloučeniny značené specifickým radionuklidem podle druhu vyšetření. Další skupinou jsou generátory ionizujícího záření, jako například rentgenky a lineární urychlovače. Poslední skupinou jsou jaderné reaktory. V urychlovačích a jaderných reaktorech se vyrábí příslušný radionuklid (Kubinyi, 2018).

Jako radiofarmakum označujeme chemickou sloučeninu značenou specifickým radionuklidem. Často spadají do skupiny léčivých přípravků. Musí obsahovat účinnou látku ve formě určitého radionuklidu s vyhovujícími léčebnými účinky a správnými fyzikálními vlastnostmi pro zobrazování požadovaného děje. Radiofarmakum dále obsahuje i biologicky účinnou složku, její přítomnost určuje přítomnost radiofarmaka v místě biologicky/medicínsky důležitého procesu, který je třeba zobrazit nebo terapeuticky

ovlivnit. Liberace, absorpce, distribuce, metabolismus a eliminace to všechno jsou farmakokinetické děje, které se s pomocí radiofarmak studují (Kubinyi, 2018).

2.3.4 Aktivita a poločas přeměny

Aktivita uvádí množství radioaktivní látky, která se ve vzorku přemění za jednotku času. Jednotkou je 1 becquerel (Bq). Při diagnostice se aplikují radiofarmaka o aktivitě od stovek kBq až po stovky MBq. Pokles aktivity radioaktivních látek se řídí zákonem přeměny a mění se exponenciálně s časem. Za jeden poločas rozpadu klesne aktivita na polovinu, za dva poločasy rozpadu klesne na čtvrtinu (Koranda, 2014).

V diagnostické nukleární medicíně se využívají radiofarmaka, jejichž poločasy přeměny se řádově rovnají délce vyšetření. Při metodě in vitro se využívají radionuklidy s délkou poločasu rozpadu od několika desítek až stovek dnů. U metody in vivo se používají radionuklidy s poločasem rozpadu od několika desítek sekund až do několika dnů (Koranda, 2014).

Je důležité vybrat správné radiofarmakum, aby bylo umožněno vyšetřit veškeré parametry sledovaného děje v organismu (např. změny v akumulaci nebo pozdní akumulaci). Nepřiměřeně dlouhý poločas rozpadu (desítky až stovky dnů) je velmi nežádoucí z důvodu dlouhodobé přítomnosti zářiče v organismu. Při delším časovém intervalu je pacient vystaven vyšší dávce ionizujícího záření. A tím vzniká neúměrně vysoká radiační zátěž vyšetřované osoby (Koranda, 2014).

Jako optimální fyzikální poločas rozpadu se považuje ^{99m}Tc 6,03 hodiny. V případě radionuklidů s delším poločasem rozpadu (desítky hodin) je výhodou možnost bezproblémově dopravit z výrobního centra až na pracoviště nukleární medicíny. U radionuklidů s krátkým poločasem přeměny (hodiny a kratší) se využívají radionuklidové generátory (např. ^{99m}Tc , ^{81m}Kr) (Koranda, 2014).

2.3.5 Biologické účinky ionizujícího záření

Z praktického hlediska rozdělujeme účinky ionizujícího záření na stochastické a deterministické. Deterministické účinky začínají v buňkách a ovlivňují tkáň. Vznikají po překročení určitého dávkového prahu. S jejich rostoucí prahovou dávkou roste závažnost poškození. Může to být například akutní nemoc z ozáření, akutní lokalizované poškození, katarakta, potlačení krvetvorby, sterilita aj... Stochastické účinky jsou takzvané pravděpodobnostní. Vzhledem k tomu, že již jediná ionizace může způsobit poškození DNA. Již při nízké dávce rentgenového nebo gama záření probíhají miliony ionizací. Proto

se dá předpokládat, že stochastické účinky nemají dávkový práh. S rostoucí dávkou se zvyšuje pravděpodobnost stochastických změn. Ovšem nemusí se i zvyšovat jejich závažnost. U jednotlivců nelze určit, zda se účinky projeví. Není možné přesně určit souvislost mezi ozářením a jeho případnými následky. Mohou to být například nádory (leukémie, sarkomy aj.) a genetická poškození (Koranda, 2014).

Po aplikaci radiofarmak v diagnostice se radiační zátěž pohybuje v rozmezí od 1 mGy až zhruba do 100 mGy. Efektivní dávka je v rozmezí od 1 mSv do 2 mSv. U této radiační zátěže se nemohou u vyšetřovaných osob objevit deterministické účinky. Prahová dávka pro vznik deterministických účinků je nad 1 Gy. Je ovšem nutné uvažovat nad celoživotním radiačním rizikem stochastických účinků. Protože se dávky ionizujícího záření sčítají za celý život (Koranda, 2014).

2.3.6 Radionuklid

Radionuklid, který je specificky nebo nespecificky vychytáván různými orgány, tkáněmi a případně se účastní i některých patologických procesů se nazývá biologicky účinná látka. Biologicky účinné látky mají široké farmako-chemické spektrum. S ohledem na jejich použití se volí jejich vlastnosti a složení. Výběr je ovlivněn hlavně výpovědní hodnotou vyšetření, cenou a dostupností radiofarmaka (Kubinyi, 2018).

Vybrání radiofarmaka budou ovlivňovat také fyzikální vlastnosti příslušného radionuklidu. Zejména to bude jeho aktivita, fyzikální poločas přeměny, druh emitovaného záření nebo fotonů a jejich energie (Kubinyi, 2018).

Na rozdíl od jiných léčiv je při výrobě, přípravě a používání radiofarmak nezbytné dodržovat určité specifické zásady. Při všech úkonech s radiofarmaky je povinnost dodržovat zásady radiační ochrany dle znění atomového zákona a příslušné aktuální vyhlášky SÚJB. Tato povinnost je určena pracovníkům, pacientům i veřejnosti (KRS, 2019).

Důležitou skutečností je, že množství radionuklidu v radiofarmaku se snižuje s časem v důsledku radioaktivní přeměny (Kubinyi, 2018).

2.3.6.1 Zdroje radionuklidů

Pro účely nukleární medicíny jsou radionuklidy připravovány uměle v jaderném reaktoru nebo cyklotronu. Jako sekundární zdroj pro radionuklidy s krátkým poločasem rozpadu se používá radionuklidový generátor. V těchto zdrojích vzniká z mateřského prvku dceřiný prvek, který má vhodné vlastnosti pro použití v nukleární medicíně (Koranda, 2014).

2.3.6.2 Výroba v jaderných reaktorech

Radionuklidy mohou v jaderném reaktoru vznikat dvěma procesy. Izolací ze štěpných produktů ^{235}U . Ozářením terčového materiálu v reaktoru neutronovým svazkem, který aktivuje dosud stabilní jádra. Díky tomuto způsobu se získává například ^{99}Mo , ^{131}I , ^{51}Cr a ^{32}P . V reaktoru lze ozařovat velké množství materiálu proto je produkce poměrně levná (Koranda, 2014).

2.3.6.3 Výroba v urychlovači

V cyklotronech se vhodný terčový materiál ozařuje protony, neutrony a částicemi alfa. Při tomto procesu vzniká např. ^{111}In a pozitronové zářiče ^{15}O , ^{18}F , ^{13}N , ^{11}C . Tato výroba je nákladnější než výroba v reaktorech. Některé prvky se kvůli svému extrémně krátkému poločasu rozpadu připravují v tzv. lékařském cyklotronu. Ten bývá umístěn přímo na pracovišti PET na oddělení nukleární medicíny (Koranda, 2014).

2.3.6.4 Získávání radionuklidů z generátorů

Radionuklidový generátor je zařízení, ve kterém se radionuklid s delším fyzikálním poločasem rozpadu (mateřský) mění na radionuklid s krátkým poločasem rozpadu (dceřiný). Dceřiný radionuklid má vhodné podmínky pro použití v nukleární medicíně. Nejběžněji používaný generátor je ^{99}Mo - $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Po promytí generátoru sterilním fyziologickým roztokem vzniká v generátoru $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Tento proces se nazývá eluce. Tento generátor, vzhledem k jeho aktivitě, se většinou používá týden, poté musí být nahrazen novým generátorem (Koranda, 2014).

Další často používaný generátor je ^{81}Rb - $^{81\text{m}}\text{Kr}$., ve kterém vzniká radioaktivní krypton v plynném stavu. Tento radionuklid se využívá pro vyšetřování ventilace plic. Mateřský radionuklid má krátký poločas rozpadu, a to 4,58 hodin. Proto všechna vyšetření musí být provedena v rámci několika hodin od dodání. Dceřiný produkt má velmi krátký poločas rozpadu (13 vteřin). Proto je pacient vystaven jen nízké dávce záření (Koranda, 2014).

2.4 Zásady radiační ochrany

Z důvodu udržení akceptovatelné radiační zátěže je nezbytná monitorace dávky záření. Ta kontroluje stanovené úrovně ozáření, a hlavně jejich překročení. Důležité je to zejména kvůli nepříznivým účinkům, jejichž hlavním projevem je indukce nádorového bujení. U několika epidemiologických studií bylo prokázáno, že osoby, které již prošly ozářením, mají vyšší incidenci k případům rakoviny než osoby, které nikdy nebyly ozářeny (Kubinyi, 2018).

Zásady radiační ochrany jsou zavedeny z důvodu, aby bylo umožněno používat radiační technologie. Ty jsou nezbytné a potřebné. Proto je nutné zajistit, aby bylo riziko stochastických účinků tak nízké, jak je rozumně dosažitelné a předejít deterministickým účinkům (Kubinyi, 2018).

Jako základní způsoby radiační ochrany se využívá ochrana časem, vzdáleností a stíněním. Ochrana časem se zakládá na tom, že dávka roste s časem, po který jsme u zdroje záření. Způsoby, jak snížit čas, který je potřeba u zdroje záření, závisí na kvalifikaci, zkušenostech a dovednostech personálu. Pracovníci, kteří pracují s vyšší expozicí radiačního záření, se musí pravidelně střídat. U ochrany vzdáleností platí, že dávkový příkon záření klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje. Proto je potřeba používat pomůcky na zvětšení vzdálenosti od zdroje záření (peány), dodržovat co největší možnou vzdálenost od zdrojů a zbytečně nepobývat v blízkosti pacienta, kterému bylo aplikováno radiofarmakum. U ochrany stíněním se umístí mezi zdroj záření a personál vhodný stínící materiál, který výrazně zeslabuje svazek záření. Nejčastěji se využívá olovo, použít se může i wolfram (Koranda, 2014).

Princip radiační ochrany je ztotožňován s principem ALARA („as low as reasonably achievable“). Cílem radiační ochrany je, aby velikost individuálních dávek, počet ozářených osob a pravděpodobnost ozáření tam, kde je prakticky jisté že k němu dojde, byly tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout. Důležité je ovšem i to, aby se respektovala ekonomická i sociální hlediska (Státní Ústav Radiační Ochrany, 2023).



Obrázek 1- Kryt na radioaktivní látku (vlastní zdroj, 2022)

2.4.1 Radiační limity

Obecné limity pro obyvatele platí dle K § 63 odst. 6 atomového zákona. Dávka 1 mSv se nesmí u obyvatelstva překročit u součtu efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků

efektivních dávek z vnitřního ozáření. Ekvivalentní dávka na oční čočku nesmí překročit 15 mSv a limit pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže je 50 mSv bez ohledu na velikost ozářené plochy (Česko, 2021).

Limity pro radiačního pracovníka jsou zavedené z důvodu omezení profesního ozáření. Proto radiační pracovník nesmí překročit 20 mSv v součtu efektivních dávek za kalendářní rok, nejvýše však 100 mSv za 5 po sobě jdoucích let a současně 50 mSv za kalendářní rok. Ekvivalentní dávka na oční čočku je 100 mSv za 5 let a 50 mSv za jeden rok (Česko, 2021).

Dodržování limitů pro žáky a studenty posuzuje držitel povolení na pracovišti, kde student v průběhu svého studia pracuje se zdrojem ionizujícího záření. Tyto limity platí pro osoby od 16 do 18 let za jeden kalendářní rok. Efektivní dávka nesmí překročit 6 mSv a limit pro ekvivalentní dávku na oční čočku je 15 mSv a pro průměrnou ekvivalentní dávku na každý 1 cm² kůže je 150 mSv (Česko, 2021).

Lékařské ozáření nepodléhá dávkovým limitům. Rozhodnutí o zdůvodnění ozáření dochází ve zdravotnictví při indikaci vyšetření nebo léčení s pomocí zdrojů ozáření pacienta (Státní Ústav Radiační Ochrany, 2023).

Zvláštní limity jsou stanoveny pro ozáření dobrovolníků, kteří pečují o pacienty, návštěvníky nebo spolubydlící. U osob do 18let je to 1 mSv. U zbylých osob je to po dobu vyšetřování nebo léčení pacienta 5 mSv (Státní Ústav Radiační Ochrany, 2023).

2.4.2 Klasifikace zdrojů a kategorizace pracovišť

Zdroje ionizujícího záření se klasifikují do pěti kategorií dle míry ohrožení zdraví a životního prostředí. První kategorií jsou nevýznamné zdroje, mezi které se zařazují generátory emitující ionizující záření, které nepřevyšují 5keV. Drobné zdroje zahrnují kostní denzitometry a laboratorní rentgen. V jednoduchých zdrojích jsou rentgeny využívané ve veterinárních ordinacích, zubní rentgen a kabinové zařízení. Mezi významné zdroje se řadí zdroje pro radioterapii, radiodiagnostiku a nukleární medicínu. Jako velmi významný zdroj se označuje jaderný reaktor (Česko, 2021).

Každé pracoviště se zdrojem ionizačního záření se rozděluje do kategorií I., II., III., nebo IV. V kategorii I. se nachází drobné zdroje ionizujícího záření, jako je kostní denzitometrie, kabinový rentgen nebo zubní rentgen. Ve II. kategorii jsou zdroje jednoduchého záření využívané pro radiodiagnostiku nebo radioterapii. Jsou zde také pracoviště s mobilním defektoskopem a kompaktním mimo tělovým ozařovačem s uzavřeným radionuklidovým

zářičem. Urychlovač částic spolu s uzavřeným radionuklidovým zářičem využívaným pro radioterapii včetně brachyterapie se už zařazují do III. kategorie. Ve IV. kategorii se nachází jaderné zařízení společně s úložištěm radioaktivního odpadu a skladu jaderného paliva (Česko, 2021).

2.4.3 Kontrolované a sledované pásmo

Dle § 73 odst. 1 zákona č. 263/2016 Sb., atomového zákona jsou stanovena kritéria, dle kterých je každý držitel s povolením k nakládání se zdroji ionizujícího záření, povinen vymezit kontrolované pásmo tam, kde se dá předpokládat, že by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně. Dále v případě že by ekvivalentní dávka mohla být vyšší než tři desetiny limitu pro radiačního pracovníka na kůži a končetiny nebo 15 mSv na oční čočku. Držitel povolení je povinen dokumentovat provoz a zajistit radiační ochranu pro osoby, které vstupují do kontrolovaného pásma. Sledované pásmo se vymezuje tam, kde se předpokládá, že by efektivní dávka mohla být vyšší než 1mSv ročně anebo překročit jednu desetinu limitu ozáření radiačního pracovníka na kůži, končetiny a oční čočku (Česko, 2021).

2.4.4 Kategorizace radiačních pracovníků

Na základě očekávaného ozáření jsou radiační pracovníci rozděleni do skupin A nebo B. Dle očekávaného ozáření za normálních podmínek, ale i se zohledněním případného rizika a odchylek od běžného provozu. Do kategorie A jsou zařazeni pracovníci, kteří by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv za rok nebo ekvivalentní dávku vyšší než 15 mSv pro oční čočku. Při ozáření kůže a končetin by se mohlo překročit tři desetiny limitu. Zbývající pracovníci se řadí do kategorie B. Pracovníci kategorie A jsou vybaveni osobními dozimetry, které jsou v pravidelných měsíčních intervalech vyhodnocovány. (Petrová, 2014).

2.5 Zobrazovací technika v nukleární medicíně

V nukleární medicíně může být zobrazení planární (2D), tomografické (3D), hybridní ve spojení s výpočetní tomografií nebo v kombinaci s magnetickou rezonancí. Při zobrazovacích metodách, které se využívají v nukleární medicíně je jedna z velkých výhod, že lze pořídit libovolný počet snímků a projekcí dle potřeby. Přitom radiační zátěž zůstává stejná. Je určena zdrojem záření. Pacient se může vyšetřovat v celém rozsahu opakovaně nebo průběžně při sledování akumulace radiofarmaka v čase bez dalšího nárůstu radiační zátěže pacienta (Kubinyi, 2018).

V planárním zobrazení nelze získat žádné informace o hloubce a některé detaily mohou být nad sebou superponovány nebo částečně zakryty. V nukleární medicíně tak mohou vzniknout zakrytím patologické léze. Překrývat se mohou například denzní kostní strukturou nebo přirozenou akumulací radiofarmaka v orgánu (ledviny, játra, slezina apod.) (Kubinyi, 2018).

2.5.1 Gamakamery

Při diagnostice je velmi důležitá distribuce aplikovaného radiofarmaka po těle. Množství potřebného radiofarmaka pro daný diagnostický výkon určuje kvalita použité zobrazovací techniky. Čím kvalitnější je technika, tím menší množství radiofarmaka je potřeba použít. Tím se i zmenšuje radiační zátěž personálu (Kubinyi, 2018).

Používají se gamakamery se scintilačním krystalem a se sadou fotonásobičů. Princip gamakamery spočívá v detekci, zpracování a vyhodnocení signálu ze souboru fotonásobičů, které snímají světelné záblesky ze scintilačního krystalu. Záření gama je emitováno z těla pacienta a vyvolává světelné záblesky interakcí se scintilačním detektorem. Záření se z těla pacienta rozšiřuje do všech směrů. Abychom věděli přenou lokalizaci, musíme vymežit směr záření. Toho dosáhneme kolimátorem. Kolimátorů je několik typů. Základním typem kolimátoru je paralelní kolimátor. Paralelní kolimátor se skládá z olověné nebo wolframové desky s velkým počtem paralelních otvorů. Jako scintilační krystal se používá silný monokrystal jodidu sodného, který je aktivovaný thaliem. Jeho úlohou je převod fotonového záření na světelný záblesk, který po průchodu světlo-vodičem dopadá na povrch fotokatody fotonásobičů, kde dochází k uvolnění fotoelektronů. Následně jsou násobeny tak, že lze obdržet měřitelný signál. Elektrické impulzy jsou zpracovány počítačem (Kubinyi, 2018).

2.5.2 SPECT kamera

SPECT kamera pořizuje série snímků pod mnoha různými úhly detektorem kamery obíhajícím okolo pacienta. Tímto systémem je získán trojrozměrný obraz rozložení radionuklidu. Princip kamery je velmi podobný gamakameře s tím rozdílem, že detektory rotují okolo těla pacienta. Často obsahuje jeden až dva detektory. Po matematickém zpracování lze dosáhnout 3D zobrazení. Tento systém zobrazuje radionuklidy, které emitují jednotlivé fotony. Nejčastěji se k tomu používají radionuklidy ^{99m}Tc , ^{111}In a ^{123}I (Kubinyi, 2018).

2.5.3 Hybridní SPECT/CT kamera

Hybridní kamera je kombinací SPECT kamery a CT skeneru. Kolimovaný svazek rentgenového záření projde vyšetřovaným objemem a po dopadu na detektor se zaznamená intenzita svazku. Záření se nejvíce absorbuje v kostech, v měkkých tkáních méně a nejméně v plicích a tuku (Kubinyi, 2018).

Kvůli kvalitě a správnosti vyšetření je velmi důležité prověřovat požadavky, které musí přístroj splňovat. Kontrola se provádí řadou testů a měření, dle jejich předepsané četnosti a pravidelnosti. Tyto testy smí provádět pouze osoba s potřebnou kvalifikací a pověřením. Nesprávnost vyšetření může vést k chybné diagnostice, nečitelnosti obrazu nebo nutnosti opakovat vyšetření (Kubinyi, 2018).

2.5.4 PET skener

Druhým nejčastějším přístrojem využívaným v nukleární medicíně je emisní tomografie. Zobrazuje dva fotony gama záření, které letí ze stejného místa anihilace v přímé lince na opačné směry a dopadne na detektory současně. Je to citlivější metoda a umožňuje zobrazení některých radiofarmak, které scintilační kamerou nelze snímat. Používáme ji k zobrazení fyziologických a biochemických procesů v lidském těle. Zejména zobrazuje procesy metabolismu glukózy a aminokyselin, rozložení hormonálních receptorů, perfuze tkání a dalších. PET skener je zapojen v koincidenčním obvodu tak, aby reagoval pouze na současnou detekci dvou anihilačních fotonů. Každý z nich má energii 0,511 MeV. Nejvíce používaným radiofarmakem při onkologické diagnostice je ^{18}F -Fluoro-Deoxy-Glukóza. Dále se využívá i ^{68}Ga . Na základě získaných dat je vytvořen obraz (Kubinyi, 2018).

2.5.5 PET/CT skener

Hybridní přístroj umožňuje získávat informace o anatomii. Pomocí kombinace CT a PET. Díky totožné poloze pacienta a identických časových podmínkách je vyšetření přesnější. Následná fúze obrazu umožňuje následnou lokalizaci místa patologických změn v rozložení radiofarmaka (Kubinyi, 2018).

2.6 Anatomie srdce

Srdce je dutý svalový orgán, který pod tlakem pohání krev v oběhu krevním tím, že se rytmicky smršťuje a ochabuje. Při srdečním pohybu se nejdříve srdce stáhne, tomuto ději se říká systola. Poté následuje diastola, takzvané ochabnutí či uvolnění stahu. Uvnitř srdce se nachází srdeční chlopně, které jsou upravené tak, aby při průtoku krve srdcem bylo zabráněno zpětnému toku krve (Čihák, 2016).

Chlopně mitrální a trikuspidální zajišťují jednosměrný proud krve ze síní do komor. Anatomicky i elektricky oddělují síně od komor. Trikuspidální chlopeň má tři různě velké cípy. Dvojcípá chlopeň má větší cíp přední, který je uložen anteromediálně, menší cíp je uložen posteroseptálně. Ze svaloviny levé komory vystupují dva papilární svaly, které se upínají vždy na oba cípy chlopně (Dylevský, 2023).

Hmotnost srdce dospělého člověka je 230 až 340 g. Hmotnost srdce závisí věku. Je udáváno, že během 17. až 20. roku života je srdce oproti průměru větší až o 20 %. Naopak od 60 let věku klesá jeho hmotnost až o 10 %. Dále je hmotnost závislá na objemu srdeční svaloviny, která se odvíjí od množství a intenzity dlouhodobé svalové činnosti člověka.

Srdce se nachází v mediastinu, za sternem a je uloženo jednou svou třetinou vpravo od středové čáry, dvěma třetinami je uloženo vlevo od střední čáry a je uloženo v hrudi tak, že směřuje svou delší osou doleva dolů (Čihák, 2016).

Osrdečník, neboli perikard, je obal, ve kterém je srdce uloženo. Tvoří jej dva listy-(lamina parietalis) zevní list, který je tvořený plochým epitelem krytým blánou a (lamina visceralis) vnitřní list, srostlý s povrchem srdce (Čihák, 2016).

Srdeční stěna má tři vrstvy. První z nich se nazývá funkční endokard. Ten je tvořen vrstvou endotelových buněk. Je podložený různě silným vazivem a vystýlá nitro srdce. Druhá vrstva se nazývá myokard a jde o srdeční svalovinu, tvořenou příčně pruhovanou svalovinou srdeční. Poslední vrstva je epikard, povrchový povlak srdeční stěny spjatý s myokardem pomocí tenké vrstvy elastického vaziva. Srdeční výstelka je hladká a nestejněmálně vystýlá srdeční dutinu (Čihák, 2016).

Pravá srdeční síň je tenkostěnný útvar o kapacitě asi 80 ml. Ústí do ní horní a dolní dutá žíla i koronární sinus. Koronární sinus je hlavní žíla odvádějící krev z koronárních tepen, které vyživují srdeční svalovinu levé komory. Levá síň má o něco menší kapacitu, asi 60ml. Svoji polohou naléhá na levý bronchus a na levou plicní tepnu. Volná stěna tvoří dutinu, do které ústí dvě plicní žíly (Dylevský, 2023).

Síňové septum má mezikomorovou a mezisíňovou část. Síňokomorová část odděluje pravou síň od levé komory. Pravá srdeční komora je uložena převážně za sternem a vpravo. Má vtokovou a výtokovou část. Patří mezi struktury tenkostěnné stejně jako pravá síň, a to s tloušťkou volné stěny 4-6 mm. Tloušťka přední části se pohybuje okolo 2-4 mm.

Levá komora je uložena nalevo a vzadu. Na rozdíl od pravé strany je stěna levé komory až 3-4x silnější (Dylevský, 2023).

2.6.1 Cévní zásobení srdce

V lidském těle jsou cévy systém uzavřených trubic, které mají odlišnou stavbu a propustnost. Jsou zprostředkovatelem látkové výměny a spojují místa, jimž dodávají kyslík a živiny. Odvádějí z tkání oxid uhličitý, který je následně vyloučen plicemi. Krví jsou také odváděny další látkové zplodiny přeměny. Zplodiny jsou následně vyloučeny ledvinami. Cévy jsou rozděleny na arterie neboli tepny, jež vedou krev okysličenou. Tepny se postupně větví a ztenčují svůj průměr, až se z nich stanou kapiláry (vlásečnice). Vlasečnice představují konečnou síť cév. Kapiláry se následně mění na vény (žíly), které odvádějí krev zpátky do srdce. Hranice mezi tepnami a žilami není přesná. Znak, díky kterému můžeme rozlišit úsek obou systémů, je obsah kyslíku v krvi (Čihák, 2016).

Vnitřní vrstva cév je tvořena výstelkou složenou z plochých endotelových buněk. Endotelové buňky způsobují, že je povrch cév hladký a nesmáčivý. Ve střední vrstvě se nachází hladká svalovina, která reguluje krevní průtok a tlak. Zevní obal je tvořen vazivem. Při větší vrstvě vaziva je větší pružnost cévy (Čihák, 2016).

Srdce je cévně zásobované tepennou krví vycházející z úvodního úseku aorty. Dělí se na pravou a levou věnčitou tepnu. Pravá koronární tepna probíhá mezi plicním kmenem a pravým ouškem a zásobuje spodní stěnu levé komory a horní zadní část komorového septa. Tepna zásobuje také celou pravou komoru a pravou předsíň. Levá koronární tepna prochází mezi plicním kmenem a levým ouškem. Zásobuje stěnu levé předsíně, stěnu levé komory a pás stěny pravé komory, která přiléhá k mezikomorovému žlábků na zadní ploše srdce (Kachlík, 2019). Koronární průtok se v klidu pohybuje okolo 250ml/min. (Staněk, 2020).

Věnčité tepny vytvářejí mnoho spojek a větvení dle potřeby. Z fyziologického hlediska to jsou tepny konečné. Z tohoto důvodu vzniká při uzávěru některé z tepen rozpad myokardu (srdeční mrtvice neboli infarkt myokardu) (Kachlík, 2019).

Srdeční žilní systém se skládá ze soustavy tří na sobě nezávislých bezchlopných žil. Věnčitá žila probíhá na zadní straně srdce zleva doprava. Přejímá odkysličenou krev z přední a dolní části srdce a z přítoků provázejících hlavní tepny a následně ústí do pravé síně. Tímto způsobem odvede až 60 % krve. Dalším žilním systémem jsou žíly pravé komory, které odvádí krev do pravé síně. Posledním systémem jsou nejmenší srdeční žíly, které probíhají srdeční stěnou a ústí do všech dutin (Kachlík, 2019).

2.6.2 Srdeční nervy

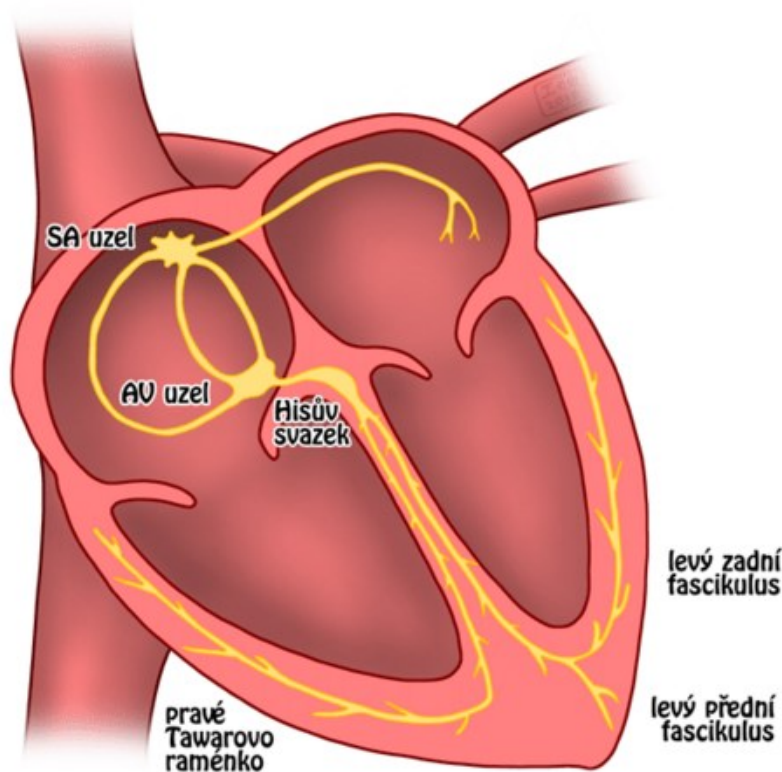
Převodní systém srdeční je zcela autonomní, je ovšem také významně ovlivňován nervy. Stahy srdeční svaloviny jsou posilovány sympatikem (truncus sympaticus), který taky zrychluje srdeční akci, zvyšuje vodivost a dráždivost. Zároveň rozšiřuje věnčité tepny. Na druhou stranu zvýšený tonus parasympatiku (nervus vagus) srdeční akci naopak zpomaluje a zužuje průsvit věnčitých tepen (Kachlík, 2019).

2.6.3 Převodní systém srdeční

Převodní systém srdeční je soustava uzlů, svazků a vláken, které se skládají ze stavebně odlišných srdečních svalových buněk (Kachlík, 2019).

V převodním systému srdečním vznikají impulzy vedoucí k rytmické kontrakci srdeční svaloviny. Tento systém systematicky aktivuje rytmickou aktivitu. Srdce má vícestupňový regulační systém zajišťující pravidelnost srdečního rytmu, následnost systol a diastol předsíní a komor a schopnost srdečního svalu přizpůsobit srdeční akci měnícím se potřebám organismu (Kachlík, 2019).

Převodní systém srdeční je složen ze dvou uzlů, předsíňového svazku a sítě konečných vláken. V pravé předsíni, při ústí horní duté žíly je uložen síňový uzel. Ze síňového uzlu se vějířovitě rozšiřují vlákna do svaloviny pravé předsíně. Převodní systém srdeční má největší význam pro srdeční rytmus, protože vytváří vzruch o frekvenci až 90 za minutu. Následně je regulován do normálního počtu 72/min parasympatickým nervem. Síňokomorový uzel se nachází ve stěně pravé síně na jejím dolním okraji. Jeho aktivita je nižší kolem 50 vzruchů za minutu a slouží k synchronizaci převodu vzruchu ze síní na komory. Poté začíná síňokomorový Hisův svazek, který probíhá pod endokardem pravé komory. Následně se dělí na pravé a levé raménko. Rozpadá se do sítě Purkyňových vláken. Následně končí u svaloviny komor a papilárních svalů (Kachlík, 2019).



Obrázek 2- Převodní systém srdeční (Habásko, 2023)

2.7 ICHS

Ischemická choroba srdeční je způsobena aterosklerózou věnčitých tepen. Ateroskleróza je chronické poškození cévní stěny. Je charakterizována ukládáním tuků. To způsobuje poruchy cévní stěny, při níž dochází k porušení funkce i struktury výstelky cév. Výstelka, neboli endotel, má zabránit úniku krve z cévy a podílí se na srážení krve. Význam má i při zánětu. Přes poškozený endotel pak procházejí makrofágy. Makrofágy se následně mění na pěnové buňky. Následně se na endotel přichycují trombocyty, které následně uvolňují tkáňové působky. Zejména to bývá růstový faktor, ten způsobuje následnou tvorbu nové tkáně a vaziva. Dochází k migraci a růstu fibroplastů, které utvářejí fibroateromatózní pláty. Při rozpadu buněk uvnitř v plátu vzniká kašovitý základ. Do něj se ukládá vápník a s tím vzniká kalcifikovaný plát. Pokud se v plátu objeví ruptura, tak se do oběhu vyplaví vysoce trombogenní hmota. Ta aktivuje hemostázu a stojí za vznikem trombu (Bulava, 2017).

2.7.1 Rizikové faktory

Rizikové faktory můžeme rozdělit na ovlivnitelné a neovlivnitelné. Osobnostní rizikový faktor může být vyšší věk, mužské pohlaví, pozitivní rodinná anamnéza, stres a deprese.

Jako faktory fyziologické a biochemické můžeme označit například arteriální hypertenzi, diabetes mellitus, zvýšený cholesterol, hormonální dysbalanci a další. Velmi důležitý je i zdravý životní styl. Nejvýznamnější rizikové faktory jsou nikotin, spolu s kouřením, nadměrným pitím alkoholu a obezitou. Dále je diskutováno o vlivu bakterií a virů. Velké riziko představuje metabolický syndrom, který představuje kombinaci několika rizikových faktorů. Důležité je vědět, že při kombinaci několika rizikových faktorů se rizika nescítají, ale násobí (Bulava, 2017).

Ischemická choroba srdeční je zodpovědná až za 50 % všech úmrtí. Pokud pacient prodělá infarkt myokardu tak to závažným způsobem ovlivňuje následující prognózu pacienta. Obzvláště, když vede ke snížení ejekční frakce levé komory pod 35-40 %. Ejekční frakce ukazuje množství vypuzené krve ze srdce za jeden stah (Bulava, 2017).

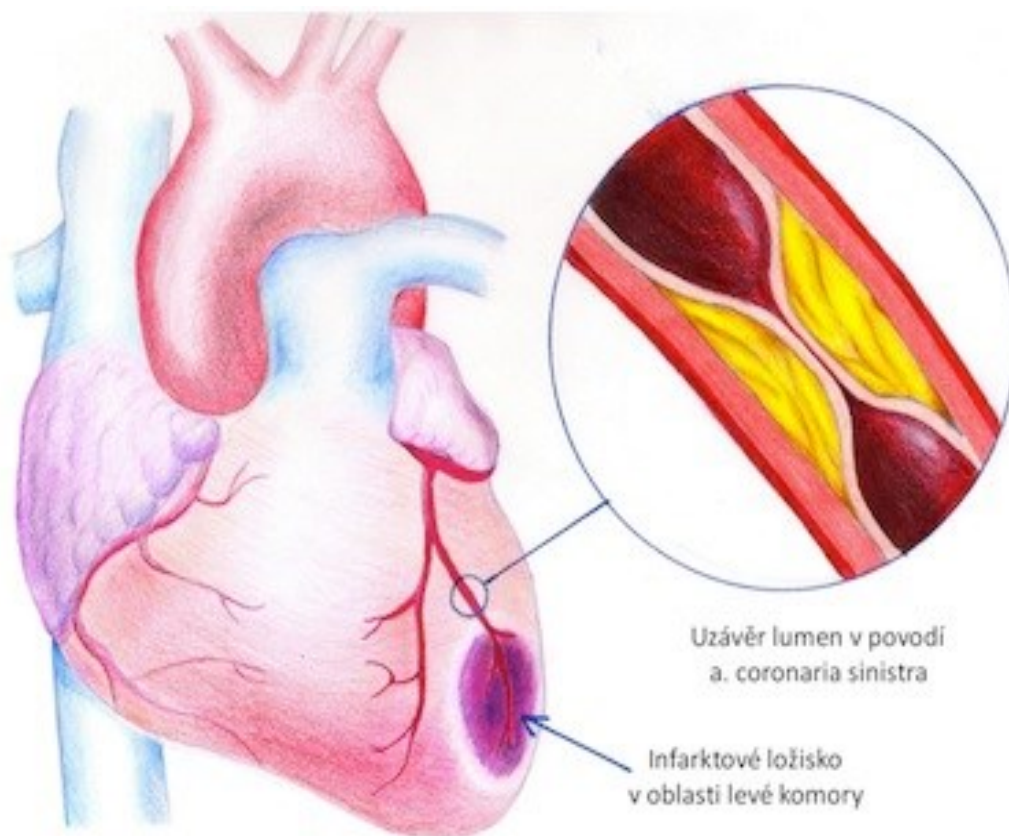
2.7.2 Stabilní a nestabilní aterosklerotické pláty

Rozdíl mezi stabilním a nestabilním plátem je důležitý pro rozlišení mezi patofyziologií akutní a neakutní. Stabilní plát obsahuje málo makrofágů, neutrofilů a tkáňových působků. Také je pokryt velkou vrstvou fibroplastů, proto je tuhý a pevný. Pacienta omezuje v případě, že naroste do takové velikosti, že ucpává cévu a tím omezuje průtok krve. To vede k ischemii tkáně. Nejdříve se ischemie projeví při fyzické zátěži. Zúžení cév již nezvládá kompenzovat požadavky myokardu na zásobení kyslíkem. Následně se nedostatečnost začne projevovat i v klidovém stavu a projevuje se bolestí na hrudi. Tato bolest se označuje jako angina pectoris. Angina pectoris se rozděluje na námahovou a klidovou. Nestabilní plát má velké lipidové jádro a je pokryt tenkou vrstvou fibroplastů. Obsahuje mnoho aktivovaných makrofágů, neutrofilů, T-lymfocytů, řadu prozánětlivých tkáňových působků. Takovýto plát je nestabilní a křehký. Je velká pravděpodobnost, že praskne a vypustí do oběhu trombogenní kašovitou hmotu. Následně se začnou okamžitě srážet destičky a vzniká bílý trombus, který může způsobit nestabilní anginu pectoris. Ta se projevuje jako nově vzniklé nebo námahou se zhoršující bolesti na hrudi. Pokud se stane, že se srazí mnoho destiček a vznikne červený trombus, pak se může ucpat tepna a vzniknout akutní koronární syndromy (Bulava, 2017).

2.7.3 Akutní koronární syndrom

Mezi akutní formy ICHS patří nestabilní angina pectoris a akutní infarkt myokardu. Akutní infarkt myokardu je způsoben uzávěrem věnčité tepny a následnou nekrózou. Z 90 % je způsoben nestabilním aterosklerotickým plátem. Zbýlých 9 % je způsoben sevřením nestabilního plátu bez přítomnosti trombu na podkladu otoku plátu nebo krvácením do plátu.

Na 1 % případů připadá vzácná příčina, a to vmetek krevní sraženiny, arteritida, spasmus věnčité tepny nebo vrozená vývojová vada. Pro akutní infarkt myokardu je typická ostrá šokující bolest svíravého nebo pálivého charakteru. Bolest vzniká náhle a většinou v klidu nebo krátce nad ránem. Neustává ani po aplikaci nitroglycerinu a trvá déle než 20 minut. Tyto příznaky mohou být doprovázeny zvracením, pocením a nevolností. Akutní infarkt myokardu může být zcela bezpříznakový. Ovšem první příznak může být i náhlá srdeční smrt. Nestabilní angina pectoris se může projevit obdobně jako akutní infarkt myokardu, nebo se projevuje jako náhlé zvýšení četnosti záchvatů anginy pectoris, zvýšení intenzity bolesti nebo prodloužení intervalu bolesti. Rozlišit akutní infarkt myokardu a nestabilní anginu pectoris lze jen kardio-specifickými biomarkery (Bulava, 2017).



Obrázek 3- Infarkt myokardu (Nemocnice České Budějovice, 2013)

2.7.4 Léčba akutního koronárního syndromu

Léčba akutního koronárního syndromu se rozděluje na předhospitalizační fázi a fázi hospitalizační. V předhospitalizační péči je největší důraz na symptomatickou léčbu. Podávají se léky na tlumení bolesti, oxygenoterapie a další. V případě poruchy rytmu je důležitá možnost provedení zevní defibrilace. U pacientů s průkazem poruchy rytmu, by měl

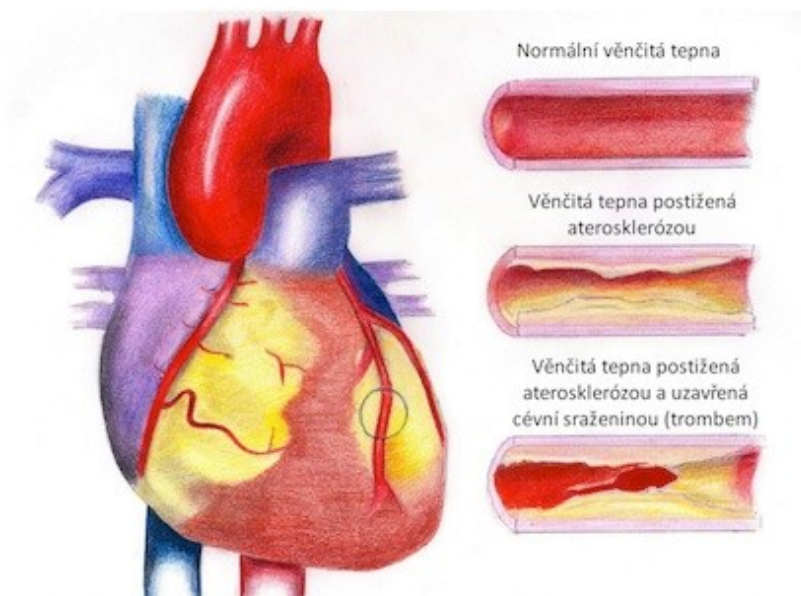
být pacient převezen zdravotnickou záchranou službou do kardiocentra, kde by byla provedena akutní revaskularizace (obnovení krevního průtoku) (Bulava, 2017).

U hospitalizační fáze je cílem co nejrychlejší zprůchodnění uzavřené cévy. Tím se omezí velikost infarktové nekrózy. Z tohoto důvodu je nejdůležitější rychlost obnovení prokrvení. U pacientů, kterým se krevní průtok obnoví do 2 hodin od začátku příznaků, je poškození minimální (Bulava, 2017).

2.7.5 Stabilní ischemická choroba srdeční

Stabilní ischemická choroba srdeční se může obecně charakterizovat dle opakovaného nepoměru mezi potřebou srdečního svalu po kyslíku a jeho nabídkou. Často je spojený s ischemií nebo hypoxií, která se objeví při fyzické nebo psychické námaze. Projevuje se jako přechodná bolest nebo nepříjemný pocit v oblasti hrudníku. Může se také projevit jako stabilní projev již proběhlého asymptomatického onemocnění po akutním koronárním syndromu (Bulava, 2017).

Do skupiny stabilních ischemických chorob můžeme zařadit stavy po infarktu myokardu, stabilní anginu pectoris, němou ischemii, stenózu koronární tepny, dysfunkci levé komory a další (Bulava, 2017).



Obrázek 4- ICHS (Nemocnice České Budějovice, 2013)

2.7.6 Stabilní angina pectoris

Hlavní příznak anginy pectoris je bolest za hrudní kostí. Objevit se ovšem může kdekoli od epigastria po zuby. Pacienti tuto bolest často popisují jako tlak, tíseň nebo tíhu. Další

příznaky jsou bolest vyvolaná fyzickou nebo psychickou zátěží, která by měla ustoupit do několika minut nebo po podání nitrátů (Bulava, 2017).

Stabilní angina pectoris se rozděluje do 4 stupňů dle závažnosti. V prvním stupni nemá pacient žádné problémy při běžné aktivitě. Pouze mimořádně velká, vysokofrekvenční nebo dlouhotrvající aktivita vyvolává bolest. U druhého stupně pociťuje pacient mírné omezení při běžných aktivitách. Obtíže se mohou objevovat již při rychlé chůzi do schodů nebo po rovině, při emoční zátěži nebo při zátěži vykonávané jen několik hodin po probuzení. Bolest také způsobuje delší chůze a chůze do více než jednoho patra. Ve třetím stupni již pacient pociťuje výrazné omezení při běžných aktivitách. Obtíže se objevují již po krátké chůzi za normálních podmínek. U čtvrtého stupně již není možné provádět obvyklé aktivity a obtíže se mohou projevat už i v klidovém režimu (Bulava, 2017).

VÝZKUMNÁ ČÁST

3 SPECT PERFÚZE MYOKARDU

Vyšetření perfúze myokardu zahrnují zobrazení průtoku krve srdce v klidu a při zátěži. Vyšetřením se může diagnostikovat místní, celková ischemie nebo srdeční infarkt (Bennett, 2015).

Radiofarmakum se aplikuje během maximální srdeční zátěže a při případné klidové studii. Je přijímáno a zadržováno srdečními buňkami ve vztahu k průtoku krve. Následné snímkování se provádí na gamakameře. Radionuklid zobrazuje životaschopnost a prokrvení srdce v době aplikace radiofarmaka. Poté se provádí druhé vyšetření, a to při klidovém režimu pacienta. Radiofarmaka jsou značena ^{99m}Tc nebo ^{201}Tl . V případě, že se u pacienta neprojeví defekt při zátěži, není již potřeba provádět klidovou studii. Tato dvě vyšetření se následně porovnávají a diagnostikují závažnost srdečního poškození (Bennett, 2015).

3.1 Indikace

Vyšetření se indikuje u pacientů s příznaky ischemické choroby srdeční, jako je například bolest na hrudi. Zejména u těch pacientů, kdy se předpokládá pravděpodobnost vzniku srdeční příhody. Rizikový faktor může být i nečitelné EKG. Další indikací je posouzení funkčního významu koronární stenózy, posouzení symptomů s předchozí anamnézou v chirurgii nebo perkutánní revaskularizaci. Revaskularizace může být například angioplastika nebo bypass. Hodnotí se zde i rizika pro vznik infarktu myokardu a funkčnost srdce s již diagnostikovaným onemocněním koronárních tepen s poruchou funkce levé komory. Dále se provádí jako předoperační vyšetření u pacientů před plánovaným nekardiologickým výkonem s vysokou pravděpodobností srdeční příhody. Používá se také pro ischemií řízenou terapii (Fogelman, 2014).

3.2 Kontraindikace

Absolutní kontraindikace pro zátěžové testy je akutní koronární syndrom. Jako je srdeční infarkt. Mezi další se řadí nekontrolovatelná hypertenze. Krevní tlak je vyšší než 200/100 mmHg. Nekontrolovatelné arytmie, systémová stenóza aorty spolu s disekcí aorty také patří mezi absolutní kontraindikace. Disekce aorty je život ohrožující stav, při kterém dojde k rozštěpení aorty. Vyšetření je neproveditelné v momentě, kdy pacient trpí nějakým druhem zánětu srdce. Například to může být endokarditida, myokarditida nebo perikarditida. Vyšetření je neproveditelné i v případě, že pacient trpí plicní embolií (Fogelman, 2014).

Jako relativní kontraindikace považujeme těžce kontrolovatelné srdeční selhávání. Vyšetření by se mělo zvážit i u již známé stenózy na levé koronární tepně, významnější arytmie nebo mírné stenózy aorty (Fogelman, 2014).

3.1 Radiofarmakum

U tohoto vyšetření se používá několik druhů radiofarmak.

Tc^{99m} Sestamibi

Sestamibi je člen chemické skupiny izonitridů. Po intravenózní injekci se Tc^{99m} sestamibi distribuuje v srdci, a to úměrně k průtoku krve srdcem. Pasivně proniká do buněk myokardu díky její rozpustnosti v lipidech. Kladně nabitá lipofilní molekula je přitahována k záporně nabitým mitochondriím, kde se zadržuje. Extrakce je úměrná ke koronárnímu průtoku krve. Vylučování je rychlé v důsledku renálního, žlučového a střevního vylučování (Ziessmann, 2021).

Distribuce MIBI v myokardu je proporcionální regionálnímu koronárnímu průtoku v době aplikace. Redistribuce je v čase již následně minimální (Koranda, 2014).

Tc^{99m} Tetrofosmin

Tetrofosmin je člen chemické třídy difosfinů. Podobně jako sestamibi se lokalizuje v blízkosti mitochondrií v buňkách myokardu, kde zůstává fixován. Po intravenózní injekci se rychle dostává z krve a vychytává se v myokardu. Extrakce je úměrná k průtoku krve. Existují drobné rozdíly mezi poměrem vychytávaného radiofarmaka u sestamibi a tetrofosminu, vzhledem k času uplynulého od aplikace. Tetrofosmin je vychytáván rychleji, kvůli rychlejšímu jaternímu spádu (Ziessmann, 2021).

²⁰¹Thallium Chlorid (²⁰¹Tl)

Radionuklid ²⁰¹Tl se vyrábí v cyklotronu. Rozpadá se elektronovým záchytem na stabilní dceřiný prvek ²⁰¹Hg s fyzickým poločasem rozpadu 73 hodin. Po intravenózní aplikaci je přechod radiofarmaka přes buněčnou membránu do myokardu rychlý. Takzvaný first-pass průchod (efekt prvního průchodu) a procentuální absorpce je vyšší u ²⁰¹Tl než u ^{99m}Tc sestamibi nebo tetrofosmin. Nicméně to není ideální pro zobrazování gamakamerou, zejména u velkých pacientů. Jeho rtuťové rentgenové emise mají relativně nízkou fotoenergií a žádnou jedno-fotonovou emisi. Comptonův rozptyl je vysoký (Ziessmann, 2021).

3.2 Příprava pacienta na vyšetření

Pacienti smí před vyšetřením brát léky s malým množstvím tekutin. Pokud jsou součástí odpoledních vyšetření, měli by mít dostatek tekutin, aby se vyhnuli dehydrataci. Diabetici by měli být speciálně instruováni. Musí vědět, jak pracovat s perorálními antidiabetiky, inzulinem a co mají jíst v den vyšetření. Úzká spolupráce se specialisty na diabetes je doporučovaná. Přesto, že laboratoře mají generalizované postupy, je potřeba, aby se uzpůsobily každému pacientovi (Iskandrian, 2015).

Léky jako beta-blokátory a nitráty by měly být vysazeny. Beta-blokátory ovlivňují výšku krevního tlaku. Nitráty jsou léky, které jsou používány zejména při léčbě akutního srdečního selhání a anginy pectoris. Diagnóza nejde potvrdit, pokud je tělo ovlivněno těmito léky. Tyto léky můžou maskovat ischemii nebo snížit senzitivitu vyšetření koronárních tepen. U pacientů, kteří již mají potvrzenou nemoc koronárních tepen je nutná konzultace s indikujícím lékařem. Kvůli určení důvodu studie a zdali je testování s těmito léky vhodné (Iskandrian, 2015).

Všichni pacienti by se měli vyhnout kofeinu, teinu a methylxantinovým derivátům ve všech formách. Jsou to: káva, čaj, čokoláda, banány, theophyllin (složka léků na astma: Afonilum, Eufilin, Theoplus). Po dobu 12 až 24 hodin před vyšetřením, aby se umožnil přechod na vasodilatační stres u pacientů, kteří nemohou dosáhnout cílové tepové frekvence dynamickým cvičením (Iskandrian, 2015).

V den vyšetření může pacient lehce posnídat, měl by se vyhnout těžkému jídlu. Není nutné, aby byl zcela na lačno. Pokud je diabetik, jí stále v normálním režimu. Pacient by si měl přinést pohodlné oblečení a vhodnou obuv. Lékař odebere krátkou anamnézu, podle které se rozhodne, jaký druh stres testu zvolit (fyzická, farmakologická zátěž). Vyšetřovanému je vysvětlen postup vyšetření i s možnostmi vedlejších účinků. Následně pacient podepisuje informovaný souhlas. Pacientovi je zavedena kanyla (Nikant, 2017).

3.2.1 Příprava

Místnost na zátěžové testy by měla být upravená tak, aby se minimalizovala rizika a umožnila efektivní provádění stres testu. Měla by být snadno přístupná v případě nouze. Umístění místnosti by mělo být v blízkosti gamakamery, kvůli usnadnění rychlého skenování po aplikaci radiofarmaka. Velikostně by měla dostatečně odpovídat velikosti vybavení. Pro správné provedení zátěžového testu je potřeba mít dostatečné vybavení. Mezi ně patří 12svodový EKG přístroj, ideálně se systémem, který lze předem naprogramovat na

různé zátěžové protokoly, s automatickým tiskem různých fází. Také je vhodné mít manuální nebo automatický tonometr, běžecký nebo cyklistický ergometr a injekční pumpu. V zátěžové místnosti by měly být úložné prostory pro stresové léky a antagonisty léků, EKG elektrody, spotřební materiál pro žilní kanylu a stříkačky. Vzhledem k možnosti zástavy srdce je důležité mít v blízkosti resuscitační vozík s defibrilátorem a pohotovostními léky (Nikant, 2017).

Při zátěžovém testu by měli být přítomni minimálně dva zdravotníci. Zdravotní sestra, případně radiologický asistent a kvůli možnosti komplikací by měl být vždy k dispozici lékař. Tito pracovníci by měli mít jasně rozdělené role z hlediska monitorování pacienta, podávání radiofarmaka apod. (Nikant, 2017).

3.3 Vlastní vyšetření

Objednaný pacient přichází ráno. Měl by být dostatečně poučen o přípravě. Lékař zodpoví případné dotazy a vysvětlí mu rizika vyšetření. Následně pacient podepíše informovaný souhlas. Obsluhující radiologický asistent zkontroluje identitu pacienta, dle kartičky pojištěnce. Pokud pacient trpí klaustrofobií, radiologický asistent ho nechá na zkoušku si lehnout pod gamakameru, ať vyzkouší, zdali zvládne ležet po dobu vyšetření. V případě, že trpí úzkostí, radiologický asistent znovu vysvětlí pacientovi průběh vyšetření a pokusí se ho uklidnit. Pacientovi se ukáže místo, kde se může převléct do pohodlného oblečení a bot. Zajistí se periferní žilní vstup. Připevní se elektrody a tonometr. Pacient je znovu poučen o zátěžové fázi vyšetření. Následně je proveden zátěžový test. Podání radiofarmaka těsně předchází snímání pod gamakamerou (Koranda, 2014).

Perfúze myokardu se v nukleární medicíně může vyšetřovat pestrou škálou vyšetřovacích protokolů. Protokol se vybírá dle použitého radiofarmaka a typu zátěže. Důležité je dodržet časový limit mezi ukončením zátěže a zobrazením zátěžové scintigrafie. Čas je nutný dodržet i u klidové studie. Každý protokol má plusy a minusy. Záleží na daném oddělení, jaký se rozhodnou dodržovat. Rozhodovat mohou i provozní možnosti oddělení, zvyklosti, velikost daného pracoviště a spektrum pacientů které vyšetřují. Informace jsou nejčastěji získávané pomocí dvoudetektorových variabilních kamer, které mají detektory v úhlu 90°. Pacient obvykle leží na zádech (Koranda, 2014).

Každý pacient by měl mít zvednutou levou paži nad hlavu a danou pryč od srdce. U pacientů, kteří nemohou zvednout levou paži se vysoce doporučuje korekce atenuace záření. Pokud není k dispozici mělo by být vynaloženo veškeré úsilí, aby paže byla umístěna na stejném

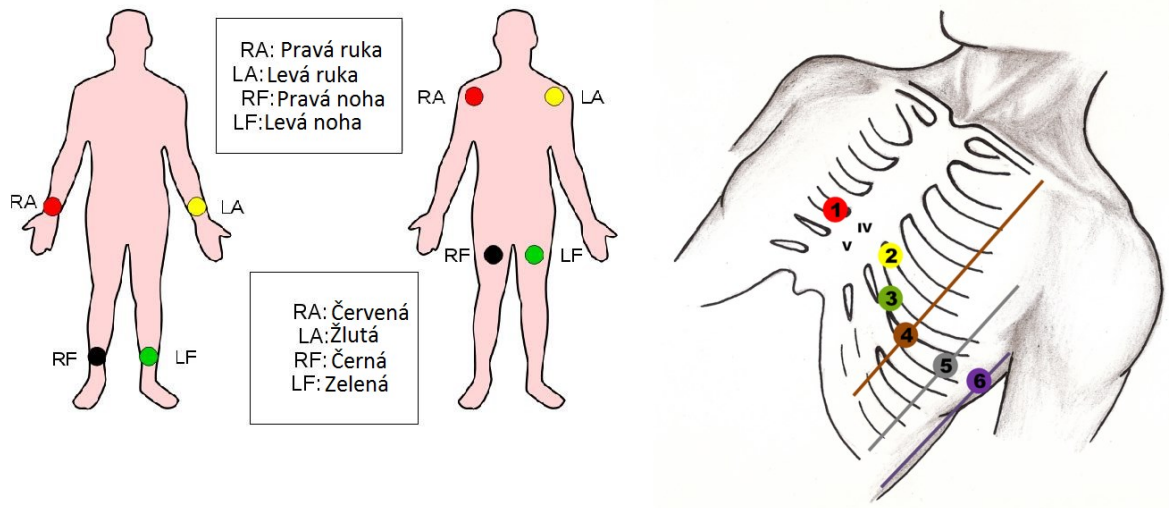
místě. A to vždy, když je prováděna studie z důvodu diferenciální atenuace útlumu (Iskandrian, 2015).

U žen může docházet k atenuaci záření v oblasti levého prsu, obzvláště je nutné dát si pozor, aby poloha levého prsu byla stejná při prvním (stres) a druhém (rest) SPECT zobrazování (Iskandrian, 2015). U pacientů, u kterých je velká pravděpodobnost absorpce záření tukovou tkání a bránicí, existuje možnost doplnění projekce v pozici vleže na břicho. Tato pozice by mohla být vhodná i pro pacienty s klaustrofobií (Iskandrian, 2015).

Standardně se data nahrávají synchronicky pomocí EKG. Tato technika se nazývá gated SPECT. Srdeční cyklus je při EKG-gatingu rozdělen na 8 (nebo až 16) krátkých časových úseků. Časový úsek trvá několik stovek milisekund. Záznam jednotlivých fází rychlého opakovaného děje je převeden do záznamového media. Nastřádání několika set srdečních cyklů vede k vytvoření jednoho reprezentativního srdečního cyklu. Tento cyklus je seřazen od end-systoly přes end-diastolu až k další end-systole. Reprezentativní cyklus umožňuje posoudit funkci levé komory. EKG-gating po aplikaci radiofarmaka umožňuje současně posoudit, jak informace o perfúzi, tak informace o funkci levé komory. Získávají se informace o ejekční frakci, end-diastolickém a end-systolickém objemu (Iskandrian, 2015).



Obrázek 5- Lůžko SPECT s EKG svody (vlastní zdroj, 2022)



Obrázek 6- Umístění EKG svodů (Habásko, 2023)

V moderních kardiocentrech se rozmisťují nové technologie se speciální technikou. Používají se speciální kardiologické SPECT kamery, které mají vyšší počet cadmium-zinek-teluridových detektorů. Detektory jsou uspořádány do půlkruhu. Srdce je snímáno současně všemi detektory z mnoha úhlů. Oproti konvenčním SPECT kamerám již nerotují kolem pacienta. O následném postupu rozhoduje lékař dle zvoleného protokolu a o případném pokračování klidové fáze (Koranda, 2014).



Obrázek 7- Gamakamera (vlastní zdroj, 2022)

3.3.1 Protokoly vyšetření

Vyšetření lze provádět několika způsoby. Záleží na provozních možnostech oddělení, kterého protokolu se rozhodne držet.

Tl^{201} zobrazovací protokoly

Tento protokol lze provést ve dvou různých dnech za použití dvou samostatných a identických aplikací injekce Tl^{201} . Druhá aplikace se provede v rámci jednoho dne nebo se aplikace zopakuje za určitý časový interval, aby se získaly srovnatelné snímky intenzity. Zároveň by se tím zabránilo zbytkovému zobrazení látky z předchozí aplikace. Tl^{201} má dlouhý poločas rozpadu a to 72 hodin. S přihlédnutím k tomu, že se u pacienta ví, že dojde k redistribuci radiofarmaka se může použít jednodenní protokol. U jednodenní studie se aplikuje radiofarmakum v maximální zátěži. V první fázi lze rozpoznat infarkt myokardu. O čtyři hodiny později si pacient znovu lehne do SPECT kamery v L módu, kvůli odlišení ischemie. Rozdíl v množství vychytaného radiofarmaka lze opravit změnou měřítka nebo normalizací každé studie na maximální počet zátěžových obrazů. To umožňuje provést časově efektivní studii, která poskytuje snímky ve srovnatelné kvalitě a nižší dávce záření (Iskandrian, 2015).

Aplikace radiofarmaka by měla být provedena 1 minutu před vrcholem fyzické zátěže nebo při maximální koronární hyperemii navozené farmakologickou zátěží. Následně se musí co nejdříve provést snímání pod gamakamerou. Pokud by bylo zpoždění od aplikace vyšší než 15 minut, snižuje se citlivost vyšetření z důvodu časné redistribuce. Zároveň by ale neměl být snímán příliš brzy. U vysoké fyzické aktivity dochází k hyperventilaci, při které dochází k oddálení bránice od srdce. Z důvodu následného porovnávání snímků je důležité, aby bránice byla na totožném místě. Skenování by se mělo provádět asi za deset minut, v té době už by se měla vracet k normálu. Rest test se provádí bez zátěže za určitý časový interval v jednodenním protokolu za čtyři hodiny. U vícedenního protokolu se radiofarmakum aplikuje znovu po několika dnech v klidové fázi. Celotělová efektivní dávka je 6,3 mSv. Tato dávka je vysoká při porovnání s ^{99m}Tc . Proto je toto radiofarmakum na ústupu (Iskandrian, 2015).

^{99m}Tc zobrazovací protokoly

Příznivé zobrazovací vlastnosti, s kombinací s nižší radiační zátěží, dělají z ^{99m}Tc preferované radiofarmakum na hodnocení perfúze myokardu. Nejpoužívanější nosiče jsou Sestamibi a Tetrofosmin. Mají podobné vlastnosti. Hodnota aplikované aktivity je přibližně

4 Mbq na kilogram váhy pacienta. Pro každého pacienta existuje optimální doba zobrazení. Pokud proběhne zobrazování příliš brzy, může dojít ke zbytkové aktivitě v játrech. Při příliš pozdním zobrazení dochází k vyšší radioaktivitě v oblasti gastrointestinálního traktu. Střevní kličky mohou překrývat nebo se přibližovat k srdci. Kličky je potřeba oddálit. Toho se dosáhne aktivací peristaltiky nebo mechanickým zatlačením střevních kliček do pánve. Pacient může sníst jogurt nebo vypít syčený nápoj, který uvolňuje plyn a roztahuje žaludek. Tím se žaludek, játra a střevní kličky oddálí od srdce (Iskandrian, 2015).

Dvoudenní ^{99m}Tc protokol

Tento protokol je ideální, protože umožňuje srovnatelnou ionizační dávku pro obě studie. U druhé studie je minimální nebo žádná aktivita z první dávky. Zátěžový test by měl být proveden nejdříve. V případě že budou výsledky normální lze odpustit od klidového vyšetření. Navzdory těmto technickým výhodám jsou dvoudenní protokoly neefektivní. Pacient musí podstoupit dvě návštěvy oddělení nukleární medicíny. Zároveň získání diagnostických údajů trvá déle (Iskandrian, 2015).

Jednodenní ^{99m}Tc protokol

Jednodenní protokol se využívá z důvodu nižší radiační dávky. Pacient má větší pohodlí. U pacientů, u kterých se nepotvrdí ischemická choroba srdeční při zátěži. Není už následně potřeba provádět vyšetření v klidu. Při tomto protokolu se po ranní stresové zátěžové studii provádí za dvě až tři hodiny studie klidová. Aplikovaná aktivita je dvakrát až třikrát větší než u zátěžového testu (Iskandrian, 2015).

Rest-Stress protokol

Tento protokol se využívá při nedostatečném zpoždění mezi nízkou dávkou při klidové studii a vysokou dávkou při zátěžové studii. Doporučuje se mít aspoň dvě hodiny zpoždění mezi oběma injekcemi, ale většina studií se provádí bez zpoždění. Doporučená doba čekání je 30-60 minut po odpočinku (Iskandrian, 2015).

Jednodenní farmakologický protokol

Pacient leží na lůžku. Je monitorovaný tonometrem na levé ruce. Měření se provádí před mírnou zátěží a 2-3 minuty po ní. Pacient provádí na lůžku mírnou zátěž (střídavé natahování a pokrčování nohou). Sleduje se tlak, tělesné funkce a EKG. Provádí se záznam hodnot.

Aplikuje se farmakologická zátěž. Poté se aplikuje radiofarmakum o aktivitě 400MBq, záleží na hmotnosti. Následně se provede SPECT/CT. Druhá dávka pro klidový sken se aplikuje za 2-3 hodiny. Aktivita pro klidovou studii se podává až 2x větší (Iskandrian, 2015).

3.3.2 Zátěžové techniky

Tok krve v koronárních tepnách může být ve vzdálenější části tepny normální. Problém v klidovém režimu většinou nastává, pokud je zúžení tepny větší než 90 % průměru tepny. Pokud ji ale vystavíme maximální zátěži a tím zvýšíme průtok krve myokardem, jsme schopni odhalit i zúžení přibližně 45-50 % nebo větší (Fogelman, 2014).

U zobrazování perfúze myokardu se pracuje s několika typy zátěže. Zjišťují se rezervy koronárního průtoku. Pacienti s ICHS mívají patologicky zúžené koronární tepny. Ty nepředstavují problém, dokud je pacient v klidovém režimu. Klidový myokardiální průtok je normální a udržuje normální srdeční funkce. Distribuce krevního průtoku je v klidu homogenní (Koranda, 2014).

Při zátěžových podmínkách se zvyšuje potřeba kyslíku v srdečním svalu. Tím se zvyšují nároky na srdeční průtok. Při normálním stavu koronárních tepen se tyto cévy zužují. Tím se průtok zvyšuje a krve přitéká dostatek. U chronicky zúžených tepen, které mají zúžení větší než 50 %, už není rezerva k vasodilataci. Zátěž již nemá efekt na zvýšení koronárního průtoku. Tepny jsou již dilatovány v klidové fázi jako součást autoregulačního procesu. Tím vzniká nerovnoměrné prokrvení srdce. Nerovnoměrnost v prokrvení je možné zobrazit scintigraficky. Pokud se radiofarmakum určené pro perfúzi aplikuje v momentě maximální zátěže, na výsledných scintigramech se ukáže defekt v místě zúžené tepny. Tato metoda je velmi citlivá na poruchy prokrvení, a proto patří mezi nejpřesnější neinvazivní metody (Koranda, 2014).

Při porovnání farmakologické a fyzické zátěže je obvykle lepší kvalita obrazu po cvičení. Díky lepší vazokonstrikci a vazodilataci kosterního svalstva, což zajišťuje, že se objeví menší podíl aplikované látky ve střevě. Farmakologická zátěž představuje dobrou alternativu pro pacienty, kteří by fyzickou zátěž nezvládli (Nikant, 2017).

3.3.3 Farmakologická zátěž

Adenosin je přímý koronární vazodilatátor prostřednictvím svých receptorů A2a, Regadenoson je selektivní agonista receptoru A2a a dipyridamol působí nepřímo na zvýšení extracelulární koncentrace endogenního adenosinu. Tyto látky vyvolávají až čtyřnásobné zvýšení perfúze myokardu. Perfúze myokardu je snižena, pokud je v koronárních tepnách

stenóza. Výsledkem je heterogenní prokrvení srdce mezi oblastí normálních a zúžených koronárních tepen, což může ukazovat na relativní defekt perfúze (Nikant, 2017).

Adenosin je všudypřítomná látka, která se vyrábí v malých množstvích jako součást normálního buněčného metabolismu a ve velkém množství během tkáňové hypoxie a ischemie. Je to malá heterocyklická sloučenina, složená z purinové báze a cukru ribózy. Endogenní (vnitřní) adenosin je produkován intracelulárně v hladkých cévách svalových a endoteliálních buněk prostřednictvím ATP (adenosintrifosfát) a SAM (S-adenosylmethionin) nebo extracelulárně defosforylací ATP a ADP (adenosinbifosfát) uvolněné z různých buněčných typů. Po extracelulárním uvolnění adenosin znovu vstupuje do buněk prostřednictvím usnadněného transportního mechanismu, kde je zpět přeměněn na ATP a SAM. Zevně podaný adenosin je rychle vycytáván buňkami, zejména červenými krvinkami a endoteliálními buňkami, což vysvětluje jeho pozoruhodně krátký poločas rozpadu (Nikant, 2017).

Dipyridamol je lipofilní pyrimidinová báze. Vylučuje se hepatobiliární cestou a prodlouženou aktivitu. Vedlejší účinky lze pozorovat u nedostatečnosti jater. Dipyridamol inhibuje usnadněný transport adenosinu do buněk. Způsobuje zvýšení extracelulární hladiny endogenního adenosinu, což způsobuje koronární vazodilataci. Má protisrážlivé účinky a zesiluje účinek aspirinu (Nikant, 2017).

Regadenoson je selektivní agonista A_{2a} receptoru adenosinu. V důsledku této selektivity nezpůsobuje významnou bronchokonstrikci při spirometrii u pacientů s mírným až středně těžkým astmatem nebo středně těžkou až těžkou chronickou obstrukční plicní nemocí. Nicméně může vyvolat subjektivní pocit dušnosti. Regadenoson je primárně vylučován v nezměněné podobě močí. Jeho profil je jen málo ovlivněn renální dysfunkcí, a proto není nutná úprava dávky (Nikant, 2017)

Indikací pro použití farmakologické zátěže může být neschopnost vykonávat přiměřenou fyzickou zátěž, blok levého svazku nebo komorový kardiostimulátor. Mezi kontraindikace patří prodělaný infarkt myokardu v době do 24 hodin. Po následné stabilizaci záleží na profilu klinického rizika, zdali se může podat vazodilatátor. Pacienti se špatně kontrolovaným astma bronchiale a aktivním pískotem, významné sinoatriální onemocnění při absenci funkčního kardiostimulátoru, základní hypotenze se systolickým krevním tlakem nižším než 90 mmHg, jsou kontraindikací. Pokud pacient požil Xaniny, jako jsou kofein,

v době kratší než 12 h, jsou antagonistou A_{2a} receptorů. Dipyridamol užitý v době do 48 hodin může nebezpečně zesílit účinky adenosinu nebo regadenosonu (Nikant, 2017).

Nutnost opatrnosti je u pacientů s epilepsií, protože všechny tři vazodilatační léky jsou spojovány s výskytem záchvatů. U významného cerebrovaskulárního onemocnění může být nebezpečná hypotenze a pacienti s transplantovaným srdcem mohou být velmi citliví na vazodilatátory z důvodu srdeční denervace (Nikant, 2017).



Obrázek 8- Lůžko určené k aplikaci farmakologické zátěže, resuscitační vozík (vlastní zdroj, 2022)

3.3.4 Fyzická zátěž

Během dynamické zátěže se srdeční frekvence, systolický krevní tlak a srdeční výdej postupně zvyšují. Maximální dosažitelná srdeční frekvence klesá s rostoucím věkem. Odlišuje se i pohlavím, u žen je nižší než u mužů. Při zátěži se zvyšuje i potřeba tkání po kyslíku. Při zvýšené srdeční frekvenci se úměrně zvyšuje i průtok krve tkáněmi. Proto je perfúze myokardu prakticky přímo úměrná srdeční frekvenci. Zdvojnásobení frekvence vede ke ztrojnásobení srdeční perfúze . Pokud není v místě uzavřená koronární tepna. Maximální zátěž je obecně vyšší při použití běžecského pásu oproti ergometru. U pacientů s koronárním onemocněním jsou hemodynamické změny závislé na několika faktorech. Jako je rozsah ischemie, funkce levé komory a poloha těla (Nikant, 2017).



Obrázek 9- Ergometr (vlastní zdroj, 2022)

3.3.5 Předčasné ukončení zátěže

Zátěž je možné ukončit předčasně. Ještě předtím, než je dosaženo maximální zátěže v případě, že pacientovi prudce klesá krevní tlak. Případně se abnormálně zvyšuje, a to u systolického tlaku až na více než 250 mmHg nebo u diastolického tlaku na více než 130 mmHg. V případě selhání technického vybavení jako je EKG, tonometr nebo pokud už pacient nemůže pokračovat v zátěži. Pokud má pacient příznaky nervového onemocnění, nedostatečné prokrvení okrajových částí těla nebo se objeví trvalejší tachykardie či fibrilace ve vyšetření se dále nepokračuje (Fogelman, 2014).

3.3.6 Artefakty

Obrazové artefakty jsou relativně běžné jak u planárních, tak u SPECT obrazů. Normální vyšetření se může jevit jako abnormální. Některým artefaktům lze zcela zabránit pečlivou

kontrolou kvality gamakamery, pořizování snímků a zpracování výsledků. Jiné artefakty jsou u pacientů nevyhnutelné, ale obvykle mohou být předvídatelné.

Příklad artefaktu může být u žen na přední stěně myokardu LK, pokud mají velké prsy, nebo u mužů na spodní stěně, kde artefakt dělá bránice. Proto se u mužů provádí snímání SPECT jednak vleže na zádech (supine pozice) a také vleže na břicho (prone pozice), kdy dojde k vyklopení srdce z bránice a zadní stěna je tak dobře detekovatelná. Dále je možné použít snímání dat SPECT/CT, kdy CT složka poskytuje atenuační mapu, podle které dojde k dopočítání zeslabení záření na přední stěně u žen a na zadní stěně u mužů a nemusí se provádět snímání v prone pozici. Přítomnost artefaktu by měla být uznána v závěrečné zprávě, zejména pokud byla provedena technická oprava při zpracování. Při zpracování výsledků by mělo být vynaloženo veškeré úsilí, aby se předešlo nejasným výsledkům (Nikant, 2017).

Obrazový artefakt se může klasifikovat jako artefakt související s vybavením. Kterým může být chyba středu otáčení nebo jako příliš velká vzdálenost pacienta od detektoru. U artefaktů, které souvisejí se zpracováním nebo zobrazováním, může být důvodem chyby nadměrná funkce střev, nesprávná změna orientace a zarovnání řezů nebo nespojitost v barevné škále. Artefakty, které souvisejí s pacientem, mohou mít původ v pohybu pacienta, útlum v místě měkkých tkání, útlum neanatomickými strukturami nebo artefaktem brány (Nikant, 2017).

3.4 Hodnocení perfúzní scintigrafie myokardu

Jako velmi závažné nálezy s vysokým rizikem další srdeční příhody se považují defekty postihující více koronárních tepen. Defekty, které postihují více než 10 % myokardu. Zhoršení kinetiky stěn a ejekční frakce po zátěži. Zvětšený objem levé komory s nízkou ejekční frakcí (Koranda, 2014).

Pokud je oblast méně prokrvená při zátěži a normálně prokrvená při klidovém režimu, tak to značí reverzibilní defekt prokrvení. Obvykle se indikuje jako životaschopný myokard se stenózou v koronární tepně, která omezuje krevní průtok. Pokud je vychytávání radiofarmaka snižené ve stresové i v klidové fázi vyšetření, je to známkou fixního defektu průtoku krve srdcem. Nejčastěji je to jizva po infarktu myokardu (Nikant, 2017).

Scintigrafické zobrazení po počáteční fázi odráží průtok krve kapilárami myokardu. Na rozdíl od perfúzních činidel ^{99m}Tc pak dochází k redistribuci. Což je proces, ve kterém dochází k neustálé dynamické výměně mezi buňkami myokardu a cévním zásobením. Při normálním nálezu je počáteční krevní průtok kapilárami a zpožděný průtok podobný. Místy

snížená perfúze na časných post scintigrafiích je způsobena buď sníženým průtokem krve (ischémií), nebo nedostatkem životaschopných buněk k fixaci radiofarmaka (infarkt). Pokud na zpožděných snímcích přetrvává počáteční defekt, je to po infarktu. Vady vykazující vyplnění Tl²⁰¹ mezi stresem a klidem ukazují na životaschopný myokard, který se po zátěži stává ischemickým (Ziessmann, 2021).

Při hodnocení životaschopnosti myokardu se detekuje tzv. omráčení srdce (hibernace) oproti nekróze (infarktu) u pacientů s ischemickou chorobou srdeční. Při hodnocení se hodnotí 25% postižení jako infarkt. Diagnostikuje se až u 50 % pacientů, kteří mají již postižený nějaký segment srdce (Bennett, 2015).

Hibernace myokardu je diagnóza chronické dysfunkce myokardu. Způsobuje ji chronicky snížená perfúze myokardu. V oblastech abnormálního prokrvení se zobrazí ¹⁸F FDG a přerozdělení ²⁰¹Tl. Při omráčení myokardu se vyskytuje dočasná dysfunkce myokardu. Jako důsledek krátkodobého nedostatečného prokrvení. Srdeční infarkt znamená pro myokard nekrózu nebo zajizvení. V místech nekrózy nebude zobrazen F¹⁸ a nebude tam dostatečně zobrazen ²⁰¹Tl (Bennett, 2015).

4 DISKUZE

V následující diskuzi budou porovnány rozdíly při vyšetřování pacienta. Vyšetření perfúze myokardu jsem viděla ve třech různých nemocničních zařízeních. Dále při jejich porovnání je budu uvádět jako nemocnice A, nemocnice B a nemocnice C.

Rozdíly jsou popsány chronologicky, dle postupu vyšetření a měly by zdokumentovat variabilitu vyšetření. Ukazuje možnosti provedení vyšetření v určitých zařízeních, dle zvyklostí a provozních možností.

V nemocnicích A a C zásadně upřednostňovali provádění stres testu jako fyzickou zátěž. Fyzickou zátěž upřednostňovali, protože je nejvíce fyziologická, a tudíž poskytuje nejpřesnější výsledky. Tento test zároveň co nejméně zatěžuje tělo pacienta po chemické stránce. Oddělení jsou vybavena tak, aby bylo umožněno bezpečné vyvolání zátěže a aby mohl zdravotnický personál sledovat průběh vyšetření a být kdykoliv připraven poskytnout první pomoc při případných komplikacích. U nemocnice B není z provozních důvodů a velikosti oddělení možné provádět vyšetření pomocí fyzické zátěže pacienta. Místo fyzické zátěže se provádí zátěž farmakologická, která umožňuje dosáhnout požadované srdeční zátěže. V průběhu aplikace farmakologické zátěže lékař komunikuje s pacientem a monitoruje případné nežádoucí účinky. Pacient mezitím dostane do rukou antistresové míčky, které v průběhu zátěže mačká. Farmakologická zátěž spolu s radiofarmakem se neaplikuje přímo v místnosti, kde probíhá skenování. Pacient musí přejít chodbu, aby se ke gamakameře dostal. V případě podání farmakologické zátěže u pacientů, kteří nejsou schopni zvládnout fyzickou zátěž, v nemocnicích A a C probíhá ještě před aplikací malé cvičení v podobě střídavého zvedání nohou. Zvedání nohou není samoučelné, zvedají se proto, aby nedošlo k poklesu krevního tlaku, který může farmakologická zátěž regadenosonem navodit. U nemocnice A je připravené nemocniční lehátko přímo u zdi, kde je stále dostupný tonometr. Lehátko je umístěno vedle resuscitačního vozíku, kde jsou uloženy veškeré pomůcky k případné první pomoci. Aplikace farmakologické zátěže a radiofarmaka probíhá v místnosti s gamakamerou. Nemocnice C má lehátko na aplikaci v jiné místnosti, než je gamakamera a používají přenosný tonometr.

V nemocnicích, ve kterých se fyzická zátěž provádí také existují rozdíly v tom, jak fyzická zátěž probíhá. V nemocnici A pacient přichází do místnosti s gamakamerou, kde je vše již dopředu připraveno. Oddělení má pro účely zátěžového testu v místnosti bicyklový ergometr. Bicyklový ergometr je propojen s počítačovým EKG. Radiologický asistent

přichystá EKG svody spolu s bicyklovým ergometrem. Výška ergometru je přizpůsobena pacientově výšce a preferencím. Zároveň je důležité, aby pozice byla pohodlná. Lékař vyšetřovanému vysvětlí průběh testu. Pacient má možnost dívat se na svoji rychlost v přímém přenosu, aby se mohl držet optimální rychlosti. Ta se mu ukazuje v zelených, případně v červených číslech. Lékař postupně zvyšuje odpor ergometru, aby bylo možné dosáhnout optimální srdeční zátěže. Sám pacient určuje dobu, ve kterou pociťuje vlastní maximální zátěž. Zároveň by měl být schopen pokračovat v zátěži, ještě po dobu minimálně jedné minuty po aplikaci radiofarmaka. V případě, že pacient již nemůže pokračovat a ještě neuplynula dostatečná doba, lékař snižuje odpor ergometru na co nejnižší. Ergometr je umístěn v místnosti přímo u gamakamery. To umožňuje okamžitý přístup ke gamakameře a dodržení preferovaného času skenování.

Druhá nemocnice, používající fyzickou zátěž, nevlastní klasický bicyklový ergometr. Pacient nesedí na klasickém ergometru, ale na modifikovaném, který je v polosedě. V bližším popisu se podobá tvrdšímu lehátku, které je ve sklonu zhruba 30°. Ergometrická šlapadla jsou přidělena k tomuto lehátku a celý přístroj je připojen k počítači. Lékař sedí vedle pacienta a k dispozici má počítač. Díky tomu je schopen upravovat odpor při šlapání. Aplikace radiofarmaka probíhá v této pozici zhruba minutu před dosažením maximální zátěže. Jako velkou výhodu provádění zátěžového testu v pololeže vidím v tom, že pacient nemůže spadnout a ublížit si při případné nevolnosti. Místnost určená k provádění zátěžového testu není přímo u gamakamery. Pacient musí přejít chodbu, aby se k ní dostal.

Po zátěži může nastat stav ve kterém se játra spolu se střevními kličkami mohou přibližovat k srdci. Díky tomu může dojít k sumaci v případě, že se v játrech nebo v kličkách nachází radiofarmakum. To by mohlo vést k chybné diagnostice. Tomuto jevu lze zabránit aktivací peristaltiky. Nemocnice B má pro pacienty připravenou naředitou zakysanou smetanu o objemu 0,2 l. Nemocnice C předem pacientům sdělí, aby si přinesli s sebou nějaký jogurt, který poté, po zátěžovém testu, snědí. Na druhou stranu nemocnice A nepodává žádný aktivátor peristaltiky. Místo toho vyšetřovaného pacienta nasnímá nejdříve ležícího na zádech a následně na břiše. To diagnostikujícímu lékaři poskytne další úhel a zabrání případné sumaci.

U pacientek s objemnějšími prsy je riziko posunu tkáně mezi stres testem a klidovým vyšetřením. Tomu se v případě nemocnic B a C zabraňuje tím, že je okolo hrudníku pacientky obmotán stahovací pás. Stahovací pás zabraňuje posunu tkáně. A zároveň tvoří

rovnoměrnější tkáňové pohlcení radiofarmaka. Nemocnice A využívá SPECT/CT snímání dat, kdy CT složka poskytuje atenuační mapu, podle které dojde k dopočítání zeslabení záření na přední stěně u žen. Lékař, který popisuje skeny, počítá s možným posunem.

Z důvodu stínění tkání jsou u pacientů napolohované ruce nad hlavou, aby se stínění snížilo na možné minimum. U nemocnic B i C se pokládají za hlavu obě ruce, u nemocnice A se za hlavu pokládá jenom ruka levá.

Existuje mnoho kombinací protokolů, kterým se může vyšetřovat. Záleží na preferencích oddělení a lékaře, který si zvolí. Každá z uvedených nemocnic má prioritně zvolen jiný protokol. Nemocnice A má zavedený jednodenní protokol. Pacient je objednan na určitý den a už předem musí počítat, že vyšetření může trvat až pět hodin. Po provedeném zátěžovém testu lékař kontroluje výsledky. V případě, že je patrná ischemie, pokračuje se klidovým testem. Ten probíhá v odstupu od prvního vyšetření zhruba za tři hodiny. Přičemž se radiofarmakum podává o dvakrát až třikrát větší aktivitě než u stres testu. O tolik větší aktivita se dává z důvodu nutnosti, „přebít“ aktivitu z předchozího stres testu, která je stále patrná. Velkou výhodou tohoto protokolu je rychlost diagnostiky. Pacient může znát výsledky v okamžiku, kdy lékař popíše vyšetření. Není potřeba čekat na jiný den, než se bude ve vyšetření pokračovat. Zároveň pacient musí přijet pouze jednou. Tím se zvýší efektivita, ale zároveň se zvýší i radiační zátěž. Vyšetření probíhá jednou za čtrnáct dní ve čtvrtek. Nemocnice B má zavedený dvoudenní farmakologický protokol. Vyšetření probíhá každé úterý. Vzhledem k tomu, že není k dispozici fyziologická zátěž, je protokol farmakologický. V případě, že jsou potřeba i klidové skeny, je pacient objednan znovu na příští týden v úterý. Klidová studie je provedena v době mezi zátěžovými studiemi. Tento protokol je zdlohavější a pacient musí čekat delší dobu na výsledky. Zároveň, ale umožňuje snížení radiační dávky. Z důvodu, že radiofarmakum již není v buňkách myokardu od stres testu, není potřeba dávat tak velkou aktivitu radiofarmaka. Na druhou stranu musí pacient přijít dvakrát. Nemocnice C má zavedený dvoudenní protokol. Vyšetření se provádí ve čtvrtek. Podobně jako u pacientů v nemocnici B se objedná na jiný den. Den objednání je dle možností oddělení. Každý protokol má svá pro a proti. Proto je důležité je zvážit.

5 ZÁVĚR

Radionuklidová vyšetření jsou v dnešní době již standardem při diagnostice kardiovaskulárních chorob. Onemocnění koronárních tepen se řadí mezi nejčastější příčiny úmrtí v České republice. Řadí se mezi ně akutní infarkt myokardu, ischemická choroba srdeční a angina pectoris. Vyšetření je důležité při diagnostice stavu koronárních tepen, které prokrvují srdeční sval. Proto je velký tlak na kvalitní vyšetřování a včasnou diagnostiku za účelem snížení celkové mortality.

Bakalářská práce je zaměřena na SPECT zobrazení perfúze myokardu. Popisuje indikace a případné kontraindikace vyšetření pacienta. Upřesňuje přípravu pacienta před vyšetřením. Její části jsou zaměřeny na samotný postup vyšetření a popisuje jeho části. Zároveň poukazuje na možnosti jeho provedení, které se mohou lišit dle vybavení oddělení a provozních možností.

Hlavní úloha radiologického asistenta spočívá v pečlivé edukaci pacienta o přípravě a průběhu vyšetření. Zároveň by měl dohlížet na chování pacienta během a po vyšetření. Radiologický asistent dohlíží na celé vyšetření od informovaného souhlasu pacienta, nastavování parametrů, aplikace radiofarmaka, po celkovou komunikaci mezi personálem a pacientem. Měla by zde probíhat i celková kontrola správného postupu a výsledku vyšetření.

V průběhu psaní jsem měla k dispozici odbornou literaturu spolu s internetovými články.

Závěrem bych chtěla říct, že doufám, že tato bakalářská práce objasní průběh vyšetření i široké veřejnosti.

6 POUŽITÁ LITERATURA

BENNETT, Paige a Umesh OZA, 2015. *Diagnostic Imaging: Nuclear Medicine*. Amsterdam: Elsevier. 608 s. ISBN 978-0-323-37753-9.

BULAVA, Alan, 2017. *Kardiologie pro nelékařské zdravotnické obory*. Praha: Grada Publishing. 224 s. ISBN 978-80-271-0468-0.

ČESKO, 2021. Vyhláška č. 422/2016 Sb. In: *zakonyprolidi.cz* [online]. AION CS, s.r.o. 2010-2023 [cit.2023-03-28]. Dostupné z: 422/2016 Sb. Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje (zakonyprolidi.cz) Praha: Ministerstvo zdravotnictví s Ministerstvem školství, 2005, částka 8. [cit. 2023-15-1]. Dostupné z: http://www.mzcr.cz/Odbornik/dokumenty/kvalifikacni-standardradiologicky_asistent_18392_947_3.html

ČESKO, 2004. Zákon č. 96/2004 Sb. In: *Zákony pro lidi.cz* [online]. Praha [cit. 2023-15-1]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-96>

ČIHÁK, Radomír, 2016. *Anatomie 3*. Praha: Grada, 832 s. ISBN 978-80-247-5636-3.

DYLEVSKÝ, Ivan, 2023. *Základy funkční anatomie člověka*. Praha: ČVUT. 214 s. ISBN 978-80-01-07092-5.

FOGELMAN, I., S. CLARKE, G. COOK a G. GNANASEGARAN, 2014. *Atlas of Clinical Nuclear Medicine*. Boca Raton: CRC Press. 1607 s. ISBN 978-1841846538.

HABÁSKO, Jan. Elektrokardiogram. In: *myokarditida.cz*[online]. Myokarditida, 2023 [cit. 2023-04-11]. Dostupné z: EKG (elektrokardiogram) - Myokarditida

ISKANDRIAN, Ami a Ernest GARCIA, 2015. *Nuclear Cardiac Imaging: Principles and Applications*. Oxford: Oxford University Press. 768 s. ISBN 978-0199392094.

KACHLÍK, David, 2019. *Anatomie pro nelékařské zdravotnické obory*. Praha: Karolinum. 154 s. ISBN 978-80-246-4058-7.

KORANDA, Pavel, 2014. *Nukleární medicína*. Olomouc: Univerzita Palackého. Skripta. 204 s. ISBN 978-80-244-4031-6.

KRS, Petr, 2019. Poskytnutí informace podle zákona č. 106/1999 Sb., o svobodném přístupu k informacím, ve znění pozdějších předpisů, na základě žádosti ze dne 21. června 2019. In:

sujb.cz [online]. SÚJB [cit.2023-03-28]. Dostupné z: 2019-06-21-zadost2-Odpoved.pdf (sujb.cz)

KUBINYI, J., J. SABOL a A. VONDRÁK, 2018. *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Praha: Grada Publishing. 308 s. ISBN 978-80-271-0168-9.

KUPKA, K., J. KUBINYI a M ŠÁMAL. Nukleární medicína. 6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). V Praze: P3K, 2015. ISBN 978-80-87343-54-8.

MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY, 2022. Kvalifikační standard Radiologický asistent. In: *mzcr.cz* [online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví České republiky [cit.2023-03-20]. Dostupné z: Kvalifikační standard Radiologický asistent – Ministerstvo zdravotnictví (mzcr.cz)

MINISTERSTVO ZDRAVOTNICTVÍ ČESKÉ REPUBLIKY, 2023. Specializační vzdělávání. Ministerstvo zdravotnictví České republiky [online]. Praha: Ministerstvo zdravotnictví České republiky, ©2010[cit.2023-15-1]. Dostupné z: http://www.mzcr.cz/dokumenty/specializacnivzdelavani_8883_3082_3.htm

NÁRODNÍ SOUSTAVA POVOLÁNÍ, 2023. Radiologický asistent. In: *nsp.cz* [online]. Praha: Ministerstvo práce a sociálních věcí České republiky [cit.2023-03-20]. Dostupné z: Radiologický asistent| NSP.CZ

NEMOCNICE ČESKÉ BUDĚJOVICE. Ischemická choroba srdeční. In: *nemcb.cz* [online]. České Budějovice, 2013 [cit. 2023-04-14]. Dostupné z: Ischemická choroba srdeční | Nemocnice České Budějovice a.s. (nemcb.cz)

NIKANT, S., A. PARTHIBAN a A. KELION, 2017. *Nuclear Cardiology*. Oxford: Oxford University Press. 272 s. ISBN 978-0-19-875994-2.

PETROVÁ, Karla, 2014. Osobní monitorování a zdravotní dohled nad radiačními pracovníky. In: *sujb.cz* [online]. SÚJB [cit.2023-03-28]. Dostupné z: Snímek 1 (sujb.cz)

R. KLEIN, E. CELIKER-GULER, B. H. ROSRTEIN a R. A. DEKEMP, 2020. PET and SPECT Tracers for Myocardial Perfusion Imaging. *Semin Nucl Med.* [online]. Elsevier Inc., 50 (3), 208-218 [cit. 2023-03-20]. DOI: 10.1053/j.semnuclmed.2020.02.016.

STANĚK, Vladimír, 2020. *Kardiologie v praxi. 2. aktualizované a rozšířené vydání*. Mlečice: Axonite s.r.o., nakladatelství lékařské literatury. 424 s. ISBN 978-80-88046-21-9.

STÁTNÍ ÚSTAV RADIAČNÍ OCHRANY, 2023. Principy radiační ochrany. In: *suro.cz* [online]. 2023 SÚRO, v.v.i. [cit.2023-03-28]. Dostupné z: Principy radiační ochrany | SURO

WIDIMSKÝ, R. et al., 2020. Chronická ischemická choroba srdeční (ICHS) – diagnostika a léčba. In: *kdp.uzis.cz* [online]. Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2020 [cit. 2023-03-20]. Dostupné z: 10-chronicka-ischemicka-choroba-srdecni-diagnostika-lecba-final.pdf (uzis.cz)

ZIESSMANN, H. et al., 2021. *Nuclear medicine and molecular imaging*. Elsevier Inc. ISBN 978-0-323-530378.

7 PŘÍLOHY

- 1) Příloha A – Zátěžový protokol58

1) Příloha A – Zátěžový protokol

Protokol o zátěži před perfuzní scintigrafií myokardu

Zátěž: farmakologická fyzická

Místo zavedení kanyly:

kubita vpravo vlevo Kanyla zavedena v:

předloktí vpravo vlevo

dorsum ruky vpravo vlevo Kanyla ex v:

jiné _____ VIP:

Čas aplikace regadenosonu:

Čas aplikace radiofarmaka:

zátěž:

klid

Průběh zátěže:				
Čas:	Výkon (W):	TK (mmHg):	TF (min)	Pozn.:

Dle anamnestických údajů: **Gravidita:** ANO NE **Kojení:** ANO NE

Alergie:

Lékař/ka provádějící poučení a aplikaci radiofarmaka. Lékařské ozáření schválil/a lékař/ka:

jmenovka a podpis:

Vyšetření provedl/a:

jmenovka a podpis: