

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2019

Marija Bahlyková

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

Úloha radiologického asistenta při radionuklidovém zobrazení mozku pomocí
jednofotonové emisní výpočetní tomografie

Marija Bahlyková

Bakalářská práce

2019

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2017/2018

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(PROJEKTU, UMĚLECKÉHO DÍLA, UMĚLECKÉHO VÝKONU)

Jméno a příjmení: **Marija Bahlyková**
Osobní číslo: **Z15085**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Název tématu: **Úloha radiologického asistenta při radionuklidovém zobrazení mozku pomocí jednofotonové emisní výpočetní tomografie**
Zadávací katedra: **Katedra klinických oborů**

Z á s a d y p r o v y p r a c o v á n í :

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 grafických prací: dle doporučení vedoucího

Rozsah pracovní zprávy: 35 stran

Forma zpracování bakalářské práce: tištěná/elektronická

Seznam odborné literatury:

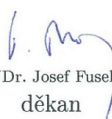
1. HUŠÁK, Václav. Radiační ochrana pro radiologické asistenty. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2009. ISBN 978-80-244-2350-0.
2. KORANDA, Pavel. Nukleární medicína. 1. vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. ISBN 978-80-244-4031-6.
3. KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. Nukleární medicína. 1. vyd. Praha: Nakladatelství P3K, 2007. ISBN 978-80-903584-9-2.
4. SEIDL, Zdeněk. Radiologie pro studium i praxi. 1. vyd. Praha: Grada, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.
5. OREL, Miroslav, Roman PROCHÁZKA a kol. Vyšetření a výzkum mozku. 1. vyd. Praha: Grada, 2017. ISBN 978-80-247-5539-7.

Vedoucí bakalářské práce: MUDr. Jan Tilšer


Katedra klinických oborů

Datum zadání bakalářské práce: 1. prosince 2017

Termín odevzdání bakalářské práce: 2. května 2019


prof. MUDr. Josef Fusek, DrSc.
děkan

L.S.


Mgr. Jan Pospíchal, Ph.D.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 4. března 2019

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Tuto práci jsem vypracoval/vypracovala samostatně. Veškeré literární prameny a informace, které jsem v práci využil/využila, jsou uvedeny v seznamu použité literatury.

Byl/byla jsem seznámena s tím, že se na moji práci vztahují práva a povinnosti vyplývající ze zákona č. 121/2000 Sb., autorský zákon, 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. 9/2012, bude práce zveřejněna v Univerzitní knihovně a prostřednictvím Digitální knihovny Univerzity Pardubice.

V Pardubicích dne 25. 4. 2019

Marija Bahlyková

PODĚKOVÁNÍ

Ráda bych poděkovala MUDr. Janu Tilšerovi za vedení mé bakalářské práce, za poskytnuté informace a za trpělivý přístup.

ANOTACE

Bakalářská práce nazvaná Úloha radiologického asistenta při radionuklidovém zobrazení mozku pomocí jednofotonové emisní výpočetní tomografie je rozdělena na teoretickou a praktickou část. V teoretické části jsou obecné poznatky o ionizujícím záření, jeho biologických účincích, o radiologickém asistentovi, nukleární medicíně a dále pak indikace ke scintigrafii mozku. Praktická část popisuje vyšetření perfuzní scintigrafii mozku a úlohu radiologického asistenta při tomto vyšetření.

KLÍČOVÁ SLOVA

radiologický asistent, SPECT, mozek, nukleární medicína, radiofarmaka

TITLE

The role of radiological assistant in radionuclide imaging of brain by single photon emission computed tomography

ANNOTATION

The bachelor thesis called The role of radiological assistant in radionuclide imaging of brain by single photon emission computed tomography is divided into theoretical and practical part. In the theoretical part there is general information about ionizing radiation, its biological effects, about radiological assistant and about nuclear medicine and then indications for brain scintigraphy. The practical part describes the examination of perfusion brain scintigraphy and the role of radiological assistant in this examination.

KEYWORDS

radiological assistant, SPECT, brain, nuclear medicine, radiopharmaceuticals

OBSAH

Úvod	11
1 Cíl práce	12
2 Teoretická část.....	13
2.1 Nukleární medicína	13
2.2 Historie nukleární medicíny a radiologie	13
2.3 Radiologický asistent	14
2.4 Radiofarmaka.....	16
2.4.1 Výroba a získávání radionuklidů	17
2.4.2 Příprava radiofarmak na pracovišti nukleární medicíny	18
2.4.3 Kontrola kvality radiofarmak	18
2.5 Základní fyzikální pojmy a jejich použití v nukleární medicíně	19
2.6 Interakce Ionizujícího záření s hmotou a jejich význam pro nukleární medicínu	21
2.7 Biologické účinky ionizujícího záření.....	22
2.8 Radiační ochrana.....	24
2.8.1 Limity ozáření.....	24
2.8.2 Monitorování	25
2.8.3 Radiační ochrana pracovníků	25
2.8.4 Kategorizace pracovišť.....	26
2.8.5 Vymezení kontrolovaného pásma.....	26
2.9 Přístroje používané v nukleární medicíně	26
2.10 Druhy scintigrafie	30
2.10.1 Jednofotonová emisní tomografie SPECT	31
2.11 Centrální nervový systém.....	32
2.11.1 Anatomie mozku	32
2.11.2 Cévní zásobení mozku.....	33

2.12	Perfuční scintigrafie mozku	33
2.12.1	Radiofarmaka pro hodnocení perfuze mozku	34
2.12.2	Indikace	34
2.12.2.1	Cerebrovaskulární onemocnění	34
2.12.2.2	Vyšetření cerebrovaskulární rezervy	35
2.12.2.3	Diferenciální diagnostika demencí	35
2.12.2.4	Diagnostika mozkové smrti	36
2.12.2.5	Detekce epileptogenního ložiska	36
2.12.3	Kontraindikace	37
2.12.4	Příprava pacienta	37
2.12.5	Provedení vyšetření	38
2.12.6	Hodnocení	38
2.13	Receptorová diagnostika – zobrazení dopaminového metabolismu v bazálních gangliích	38
3	praktická část	40
3.1	Příprava pacienta	40
3.2	Příprava radiofarmaka ^{99m} Tc-HMPAO	41
3.3	Vlastní vyšetření	42
3.4	Zdroje chyb při vyšetření	44
3.5	Výsledky vyšetření	44
4	Diskuze	47
5	Závěr	49
6	Použitá literatura	50
7	Přílohy	52

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Studnová ionizační komora	27
Obrázek 2 - Proporcionální detektor	27
Obrázek 3 - Scintilační detektor.....	28
Obrázek 4 - Konstrukce scintilační gamakamery	29
Obrázek 5 - Typy kolimátorů.....	30
Obrázek 6 - Lahvička s radiofarmakem v olověném stínění	41
Obrázek 7 - Injekční stříkačka s radiofarmakem v olověném krytu	42
Obrázek 8 - Poloha uložení pacienta pod gamakamerou	43
Obrázek 9 - Obrazovka počítače při vyšetření SPECT mozku.....	43
Obrázek 10 - Normální nález u zdravého jedince	45
Obrázek 11 - CMP, frontální lalok vpravo	46

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

SPECT	Jednofotonová emisní tomografie
PET	Pozitronová emisní tomografie
SÚJB	Státní úřad pro jadernou bezpečnost
CMP	Cévní mozková příhoda
TIA	Tranzitorní ischemická ataka
CT	Počítačová tomografie
MR	Magnetická rezonance

ÚVOD

Jako téma své bakalářské práce jsem si zvolila Úlohu radiologického asistenta při radionuklidovém zobrazení mozku pomocí jednofotonové emisní výpočetní tomografie. Radionuklidová vyšetření centrálního nervového systému v nukleární medicíně se dnes používají především k funkční, receptorové a metabolické diagnostice. Vyšetření mozku metodou jednofotonové emisní tomografie znamená, že pomocí gamakamery detekujeme naaplikované záření z pacienta pomocí detektorů, které se otáčejí kolem hlavy pacienta. Takto získáme obraz rozložení radiofarmaka v těle. Vyšetření provádí radiologický asistent, který je za správně provedené vyšetření zodpovědný. Mezi rutinně užívané scintigrafické aplikace patří scintigrafické vyšetření mozkové perfuze a scintigrafie dopaminových transportérů. Nejčastěji používanými radiofarmaky pro zmiňovaná vyšetření jsou ^{99m}Tc -HMPAO (hexamethylpropylen-aminooxim) pro zobrazení mozkové perfuze a ^{123}I -joflupan pro zobrazení dopaminových transportérů. Tato vyšetření nabývají dnes na významnosti kvůli zvyšujícímu se věku přežití obyvatelstva a s tím souvisejícímu zvyšujícímu se riziku onemocnění centrální nervové soustavy. Patří sem například Alzheimerova a Parkinsonova choroba, při kterých je důležitá včasná diagnóza, a právě radionuklidové zobrazovací metody jsou schopny včas tyto diagnózy odhalit ve snaze zajistit pacientům lepší kvalitu života.

1 CÍL PRÁCE

Cílem předložené bakalářské práce je seznámit čtenáře s oborem nukleární medicíny, jeho historií, terminologií, dále pak s principy a přístrojovou technikou užívanou v tomto oboru. Zaměřuji se na práci radiologického asistenta a chci zdůraznit význam radiační ochrany.

Dalším z cílů je popis radionuklidových vyšetření mozku jako je scintigrafie mozkové perfuze a scintigrafie dopaminových transportérů, jejich indikace, provedení vyšetření a hodnocení.

V praktické části se zaměřuji na popis úlohy radiologického asistenta při perfuzní scintigrafii mozku.

2 TEORETICKÁ ČÁST

2.1 Nukleární medicína

Nukleární medicína je obor zabývající se z větší části diagnostikou, ale i léčbou radioaktivními zářiči určenými pro lékařské účely, které se aplikují do vnitřního prostředí organismu. Tyto zářiče nazýváme radiofarmaka. Existují dvě metody aplikace radiofarmaka, in vivo a in vitro. Při metodě in vivo se radiofarmakum aplikuje přímo do těla pacienta a to nejčastěji intravenózně. Vyšetření in vitro zahrnuje radioimunoanalytické metody ke stanovení koncentrace látky v tělních tekutinách, například se vzorkem plazmy a zde pacient nepřichází do styku s radioaktivní látkou. K zobrazovacím metodám, které využíváme, patří jednak pozitronová emisní tomografie, jednak scintigrafie; ta se nazývá podle scintilačního detektoru, který je hlavní součástí gamakamery. Při obou těchto metodách získáváme obrazy poskytující informace o distribuci radiofarmak v těle pacienta. Pomocí nukleárních metod můžeme vyšetřit metabolické a transportní funkce, enzymové či receptorové vazby a také reakce antigenu s protilátkou. Vyšetření nemají žádné absolutní kontraindikace a radiační zátěž je srovnatelná nebo nižší než u radiodiagnostických metod. V současnosti roste jak u PET, tak u scintigrafie využití hybridních systémů, které v sobě spojují různé modalitty založené na odlišném principu. V případě scintigrafie jde o jednofotonovou emisní tomografii neboli SPECT kombinovanou s CT (SPECT/CT), v případě PET jde o kombinaci s CT či magnetickou rezonancí (PET/CT, resp. PET/MR). (Kupka a kol., 2007; Seidl a kol., 2012)

2.2 Historie nukleární medicíny a radiologie

Radiologie i nukleární medicína jsou relativně mladé obory lidské činnosti, které se vyvíjely a nadále vyvíjejí ruku v ruce s rozvojem lidského poznání. Ve stručnosti zde proto uvedu několik zásadních momentů, které měly na rozvoj těchto oborů vliv a za které byli jejich objevitelé odměněni Nobelovou cenou:

V roce 1895 Wilhelm Conrad Röntgen objevil rentgenové záření při výzkumu katodového záření. Tento objev si nedal patentovat a tak došlo k rychlému rozšíření a využití paprsků X. V roce 1901 mu byla udělena Nobelova cena. Rentgenové záření si našlo uplatnění v lékařství a v dalších jiných oborech.

Antoine Henri Becquerel v roce 1896 objevil přirozenou aktivitu v pokusech s uranovou rudou. V roce 1903 dostal také Nobelovu cenu za objev první radioaktivní substance.

Další důležitý objev učinili manželé Marie Curie a Pierre Curie v roce 1898. Objevili radioaktivní částice polonia a radia ze smolince pocházejícího z Jáchymova. Za tento objev získali Nobelovu cenu za fyziku a Marie Curie obdržela v roce 1911 Nobelovu cenu za chemii.

V roce 1923 začal Georg von Hevesy používat radioaktivní izotopy při studiu metabolických procesů v rostlinách a zvířatech, a takto objevil tzv. indikátorový nebo také stopovací princip, což je podstatná metoda pro vznik scintigrafického obrazu.

Roku 1927 Hermann Joseph Müller prokázal mutagenní účinky ionizujícího záření a v roce 1946 získal Nobelovu cenu za fyziologii a medicínu.

V roce 1971 Brit Godfrey N. Hounsfield a Američan Allan McLeod Cormack vynalezli výpočetní tomografii nezávisle na sobě a v roce 1979 získali Nobelovu cenu za fyziologii a medicínu. (Seidl a kol., 2012)

2.3 Radiologický asistent

V přelomu 19. a 20. století vznikly první rentgenové přístroje a s nimi i profese radiologického asistenta, která se s postupem času rozvíjela.

Radiologický asistent je zdravotnický nelékařský personál, který vykonává svoji pracovní činnost na odděleních nukleární medicíny, radioterapii a radiodiagnostice. Pracuje s ionizujícím zářením a proto je potřeba odborné způsobilosti.

„Odborná způsobilost k výkonu povolání radiologického asistenta se získává absolvováním : a) akreditovaného zdravotnického bakalářského studijního oboru pro přípravu radiologických asistentů

b) tříletého studia v oboru diplomovaný radiologický asistent na vyšších zdravotnických školách, pokud bylo studium prvního ročníku zahájeno nejpozději ve školním roce 2004/2005, nebo

c) střední zdravotnické školy v oboru radiologický laborant, pokud bylo studium prvního ročníku zahájeno nejpozději ve školním roce 1996/1997. Za výkon povolání radiologického asistenta se považuje zejména provádění radiologických zobrazovacích i kvantitativních postupů, léčebné aplikace ionizujícího záření a specifické ošetrovatelské péče poskytované v souvislosti s radiologickými výkony. Radiologický asistent provádí činnosti související s radiační ochranou podle zvláštního právního předpisu a ve spolupráci s lékařem

se podílí na diagnostické a léčebné péči. Činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany může radiologický asistent vykonávat, pokud splňuje požadavky stanovené zvláštním právním předpisem.“ (Zákon č. 96/2004 Sb.)

Činnosti, které provádí radiologický asistent se řídí zákonem č. 55/2011 Sb. a jsou to následující činnosti :

„(1) Radiologický asistent vykonává činnosti podle § 3 odst. 1 a dále bez odborného dohledu a bez indikace může

- a) provádět a vyhodnocovat zkoušky provozní stálosti zdrojů ionizujícího záření a souvisejících přístrojů ve všech typech zdravotnických radiologických pracovišť,*
- b) zajišťovat, aby lékařské ozáření nebylo v rozporu se zásadami radiační ochrany, a v rozsahu své odborné způsobilosti, vykonávat činnosti při zajišťování optimalizace radiační ochrany, včetně zabezpečování jakosti,*
- c) vykonávat činnosti zvláště důležité z hlediska radiační ochrany, pokud splní požadavky jiného právního předpisu*
- d) provádět specifickou ošetrovatelskou péči poskytovanou v souvislosti s radiologickými výkony,*
- e) přejímat, kontrolovat a ukládat léčivé přípravky, manipulovat s nimi a zajišťovat jejich dostatečnou zásobu,*
- f) přejímat, kontrolovat a ukládat zdravotnické prostředky a prádlo, manipulovat s nimi a zajišťovat jejich dezinfekci a sterilizaci a jejich dostatečnou zásobu.*

(2) Radiologický asistent může provádět jako aplikující odborník v obecně odůvodněných případech stanovených standardy bez odborného dohledu na základě požadavku indikujícího lékaře jednotlivé lékařské ozáření, a to

- a) skiagrafické zobrazovací postupy včetně screeningových ,*
- b) peroperační skiaskopii ,*
- c) kostní denzitometrii; a nese za ně klinickou odpovědnost podle zákona o specifických zdravotních službách.*

(3) Radiologický asistent může provádět bez odborného dohledu na základě požadavku indikujícího lékaře a na základě indikace lékaře, který je aplikujícím odborníkem, praktickou část jednotlivého lékařského ozáření, především jeho konkrétní provedení. Přitom může

- a) provádět radiologické zobrazovací postupy používané při lékařském ozáření,*
- b) asistovat a instrumentovat při postupech intervenční radiologie,*
- c) provádět léčebné ozařovací techniky,*
- d) provádět nukleárně medicínské zobrazovací i nezobrazovací postupy, a za tuto část přebírá klinickou odpovědnost podle zákona o specifických zdravotních službách*

(4) Radiologický asistent bez odborného dohledu na základě indikace lékaře může

- a) provádět léčebné a zobrazovací výkony, které využívají jiné fyzikální principy než ionizující záření,*
- b) aplikovat léčivé přípravky nutné k provedení výkonů podle písmene a) nebo podle odstavce 2 trávícím traktem, dýchacími cestami, formou podkožních, kožních a nitrosvalových injekcí,*
- c) zavádět periferní žilní katetry.*

(5) Radiologický asistent může aplikovat pod odborným dohledem lékaře intravenózní léčiva nutná k realizaci postupů podle odstavce 2 nebo odstavce 3 písm. a) a d).

(6) Radiologický asistent může vykonávat pod odborným dohledem radiologického fyzika se specializovanou způsobilostí v radioterapii dílčí činnosti při plánování radioterapie.“ (Zákon č. 55/2011 Sb.)

Vyšetření, která jsou v jeho kompetenci, provádí radiologický asistent většinou samostatně a výsledek předává odbornému lékaři, se kterým úzce spolupracuje.

2.4 Radiofarmaka

Úloha radiologického asistenta zahrnuje práci s radiofarmaky, která umožňují zobrazit vyšetřovanou oblast těla. Zobrazovací metody v nukleární medicíně jsou založeny na metodě stopovacího principu, jehož podstatou je shodné chemické chování radioizotopů téhož prvku. Radioizotopy reagují chemicky stejně jako stabilní radioizotop toho samého prvku, ale jsou díky svému záření „viditelné“, což nám umožní jejich sledování množství v organismu. Zvolené indikátory jsou aplikované v malém množství, takže nemůžou ovlivnit funkci vyšetřovaného orgánu. Radiofarmakum se skládá ze dvou složek. První je vlastní indikátor

vyšetřované funkce, který nám zajistí, aby se látka dostala na místo, kam se dostat má. Druhá složka je tedy pak samotný radioaktivní prvek, který nám zajistí signalizaci; vyzáření. Radiofarmaka se používají nejen k diagnostice ale i k léčbě. (Kraft, Pekárek, 2012)

„Český lékopis definuje radiofarmakum jako jakýkoliv léčivý přípravek, který je-li připraven k použití, obsahuje jeden nebo více radionuklidů (radioaktivních izotopů) včleněných pro lékařské účely.“ (Kraft, Pekárek, 2012, s.7)

Radiofarmakum se zpravidla syntetizuje navázáním radionuklidu na dané farmakum (nosič), které je zvoleno na základě své specifické distribuce v těle a musí mít vztah k danému orgánu. Navázaný radionuklid může být navázan na chemické či biologicky aktivní látky, anorganické soli nebo na molekuly organických látek (krevní elementy, peptidy, imunoglobuliny). Veškerá manipulace a nakládání s radiofarmaky vyžaduje striktní dodržování pravidel a požadavků. Charakteristickou vlastností pro tato léčiva je jejich proměnlivost účinku v čase. Množství použitého radionuklidu se radioaktivní přeměnou exponenciálně snižuje. Důležitou vlastností radionuklidu je proto kromě druhu a energie ionizujícího záření fyzikální poločas přeměny. Radiofarmaka s dlouhým poločasem rozpadu (několik dnů, týdnů) se používají spíše při terapii, zatímco radiofarmaka s krátkým poločasem rozpadu (minuty, hodiny) spíše pro diagnostické metody, a proto je nutné, aby jejich příprava probíhala přímo na odděleních nukleární medicíny, na pracovištích k tomu určených. (Kraft, Pekárek, 2012)

2.4.1 Výroba a získávání radionuklidů

Radionuklidy obsažené v radiofarmaku se získávají výrobou z jaderných reaktorů, cyklotronů anebo se izolují z radionuklidových generátorových systémů. Výrobní princip jsou reakce měnící stavbu atomového jádra za vzniku jádra jiného.

V jaderném reaktoru probíhá řízená řetězová reakce. Jako štěpný materiál je nejčastěji ^{235}U . Radionuklid se vyrábí buď aktivací neradioaktivních látek neutronovým tokem nebo separací štěpných produktů ^{235}U (uranu). Aktivací tepelnými neutrony se získávají radionuklidy jako jód (^{131}I , ^{125}I), chrom (^{51}Cr), fosfor (^{32}P) a další. Pro generátorový systém lze vyrobit molybden (^{99}Mo) reakcí z ^{98}Mo . Ze štěpných produktů se pro lékařské účely izolují ty radionuklidy, které vykazují vysoké štěpné výtěžky a vhodné poločasy přeměn. Nejdůležitějším je ^{99}Mo jako mateřský radionuklid v generátoru, jehož přeměnou vzniká $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Dále jód a stroncium, ze kterého je přeměnou generováno yttrium jako důležitý zářič β pro terapii. (Kraft, Pekárek, 2012)

Při výrobě v cyklotronu jsou kladně nabitě částice - například protony, heliony nebo deuterony - v magnetickém poli urychlovány na vysokou energii a pak směřovány na terč, kde vyvolají různé jaderné reakce. Získávají se tak ^{67}Ga , ^{201}Tl , ^{123}I nebo ^{81}Rb pro generátorové získání kryptonu. Pro pozitronové zobrazovací systémy je to pak například ^{18}F . (Kraft, Pekárek, 2012)

Při výrobě v generátorech je výhodou, že můžeme kontinuálně vyrábět krátkodobý radionuklid, který je tak okamžitě k dispozici. Nejzásadnějším pro nukleární medicínu je molybdenový generátor produkující metastabilní technecium. Jeho výhodou oproti jiným scintigrafickým radionuklidům je možnost podávat vyšší aktivity při relativně nízkých absorbovaných dávkách s velmi dobrou kvalitou zobrazení. Generátorové produkty jsou v jednoduché chemické formě přímo k užití nebo k aplikaci pro vhodný nosič. (Kraft, Pekárek, 2012)

2.4.2 Příprava radiofarmak na pracovišti nukleární medicíny

Příprava radiofarmak vykazuje některé zvláštnosti, a proto existují zásady formulované jako správná praxe při přípravě radiofarmak. Je to souhrn opatření, který zajišťuje, že jsou radiofarmaka připravována a kontrolována v souladu se stanovenými pravidly. Pro přípravu radiofarmak je vyžadováno specifické uspořádání pracovních prostorů, pečlivé vedení příslušné dokumentace i dodržování speciálních pracovních postupů. Od chvíle, kdy se na oddělení přijme radioaktivní látka, je za její zpracování, aplikaci a následně likvidaci odpovědné dané pracoviště nukleární medicíny. (Koranda a kol., 2014)

Radiofarmaka zde můžeme připravit třemi způsoby. Prvním způsobem je upravení objemové aktivity ředěním. Dalším způsobem je značení neaktivního kitu radionuklidem nebo inkubací biologického materiálu s roztokem radionuklidu. (Koranda a kol., 2014)

2.4.3 Kontrola kvality radiofarmak

Na radiofarmaka jsou kladeny obdobné požadavky, jako na běžná léčiva, kromě toho však musí radiofarmaka mít i některé speciální vlastnosti. Na pracovištích nukleární medicíny je za manipulaci a přípravu radiofarmak zodpovědný radiofarmaceut. Ten při přípravě radiofarmak mimo jiné provádí i testy, kterými se ověřuje čistota radiofarmaka.

Čistotu radioaktivních látek dělíme na **radionuklidovou čistotu**, kde se zjišťuje, z kolika procent obsahuje dané radiofarmakum nežádoucí radionuklidy pomocí spektrometrie. Nežádoucí příměsi mají za následek nadměrné ozáření pacienta, a proto se zjišťuje radionuklidová čistota. Další je **radiochemická čistota**, kdy se kontroluje, zda radionuklid

není obsažený ještě v jiné chemické sloučenině. Pokud se toto prokáže, označuje se sloučenina jako radiochemicky nečistá. Tyto nečistoty mají nežádoucí vliv na výsledky vyšetření. (Koranda a kol., 2014)

2.5 Základní fyzikální pojmy a jejich použití v nukleární medicíně

Atom je nejmenší nedělitelná částice, která definuje vlastnosti daného chemického prvku. Skládá se z atomového jádra a z obalu. Atomové jádro obsahuje protony - kladně nabitě částice a neutrony – bez náboje. Společně se nazývají nukleony. V elektronovém obalu umístěném okolo jádra se nacházejí záporně nabitě částice – elektrony. Množství protonů v jádře se shoduje s počtem elektronů v obalu, a proto je atom elektricky neutrální. (Kupka a kol., 2007)

Nuklid je soubor atomů se stejným počtem protonů i neutronů a charakterizuje ho protonové a nukleonové číslo. (Ullmann, 2005)

Izotop – izotopy jsou různé nuklidy téhož prvku, tj. jejich jádra mají stejný počet protonů, ale odlišný počet neutronů. Kromě stabilních izotopů existují i izotopy nestabilní, potom se nazývají radionuklidy. (Ullmann, 2005)

Radionuklid je nuklid, který se samovolně přemění a má svůj poločas rozpadu.

Radioaktivita je samovolná přeměna jader nestabilních nuklidů na jiná jádra za vzniku ionizujícího záření. Každý radionuklid je charakterizován energií, typem a poločasem přeměny. Rozlišujeme přirozenou a umělou radioaktivitu. Přirozená radioaktivita vzniká rozpadem radionuklidů v přírodě. Umělá radioaktivita je způsobena rozpadem uměle připravených radionuklidů vyrobených v urychlovačích. V nukleární medicíně se dnes již používají pouze uměle vyrobené radionuklidy. (Kupka a kol., 2007)

Aktivita je počet přeměn radioaktivní látky za jednotku času a její jednotka je 1Bq (Becquerel).

Scintilace je jev, při kterém vznikají světelné záblesky.

Poločas rozpadu je doba, za kterou se rozpadne přesně polovina jader radionuklidu. Značí se ($T_{1/2}$).

Přeměna α (nebo také héliová radioaktivita) je přeměna, při které jsou emitovány alfa částice a je častěji u těžších jader. Je to nejméně pronikavé záření, které však při velmi krátkém

doletu předává okolí velké množství energie, díky čemuž je využíváno v terapii. Počet protonů se sníží o 2. (Kupka a kol., 2007)

Přeměna β^- je přeměna, kdy u jader s nadbytkem neutronů dochází k přeměně neutronu na proton, elektron a antineutrino. Emitované elektrony mají rovněž silné ionizační účinky a beta minus zářiče jsou užívány k terapii. Při této přeměně se změní protonové číslo a zvýší se o 1. (Kupka a kol., 2007)

Přeměna β^+ je přeměna, kdy u jader s nedostatkem neutronů dochází k přeměně z protonu na neutron, pozitron a neutrino. Emitovaný pozitron po svém krátkém doletu (řádově jde o milimetry až centimetry) anihiluje s elektronem v okolí za vzniku dvou fotonů anihilačního záření letících opačným směrem, čehož je využíváno v diagnostice pozitronovou emisní tomografií. Protonové číslo se zmenší o 1. (Kupka a kol., 2007)

Elektronový záchyt při této přeměně je elektron z obalu zachycen jádrem a interaguje s protonem za vzniku neutronu a neutrina. Na prázdné místo po elektronu v obalu přeskočí elektron z energeticky vyšší hladiny za vyzáření X – záření. Toto rentgenové záření je využíváno při scintigrafii. (Kupka a kol., 2007)

Radioaktivita γ vzniká při všech jaderných přeměnách. Dceřiná jádra se po přeměně vyskytují v excitovaném stavu a po deexcitaci je uvolněno velké množství energie ve formě fotonů. Záření gama je též využíváno při scintigrafii. (Ondřej, 2013)

Absorbovaná dávka (D) je základní veličina, definována jako množství energie ionizujícího záření absorbované jednotkou hmotnosti ozářené látky v daném bodě. Jednotkou je 1 Gy (Gray) = 1 J.kg⁻¹. (Ullmann, 2005)

Ekvivalentní dávka je součin radiačního váhového faktoru a střední absorbované dávky v ozářeném orgánu. Jedná se o dozimetrickou veličinu, která vyjadřuje, že biologický účinek záření nezávisí jen na množství energie v absorbované tkáni, ale i na typu záření. Jednotkou je 1 Sv (Sievert) a užívá se v radiační ochraně, například v limitech ozáření. (Koranda a kol., 2014)

Radiační váhový faktor je bezrozměrné číslo, které definuje druh záření a vyjadřuje míru jejich účinku bez ohledu na to, o jakou tkáň se jedná. Pro beta a gama záření má hodnotu 1, pro alfa záření 20. (Ullmann, 2005)

Efektivní dávka je součet ekvivalentních dávek v jednotlivých tkáních a orgánech vážených příslušnými tkáňovými váhovými faktory. Umožňuje porovnání radiační zátěže osob

z hlediska pravděpodobnosti vyvolání stochastických účinků z různých zdrojů. Jednotkou je 1 Sv (Sievert). (Koranda a kol., 2014)

Tkáňový váhový faktor vyjadřuje rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání. Součet hodnot všech tkáňových faktorů v organismu se rovná 1.

2.6 Interakce Ionizujícího záření s hmotou a jejich význam pro nukleární medicínu

Emitované částice z radioaktivních přeměn reagují s hmotou a vzniká jev zvaný ionizace. „*Ionizace je jev, kdy jsou z neutrálních atomů vytrhávány elektrony za vzniku iontů. Ionizace je buď přímá, kterou způsobují těžké či lehké elektricky nabitě částice (částice alfa, protony, elektrony a pozitrony), nebo nepřímá, způsobená částicemi nenesoucích elektrický náboj (fotony, neutrony).*“ (Ondřej, 2013, s.17)

Jako **přímo ionizující záření** se označují částice, které nesou elektrický náboj (α , β^+ , β^-) a při průchodu prostředím interagují s elektrony v obalech atomů a způsobí ionizaci a excitaci atomů. Při tomto jevu svému okolí předávají velkou energii a proto je jejich dosah ve tkáni velmi krátký, několik milimetrů nebo mikrometrů. (Koranda a kol., 2014)

Nepřímo ionizující záření nenesou elektrický náboj. V nukleární medicíně jde o interakci fotonů gama, RTG a anihilačního záření, které s hmotou interagují třemi způsoby: první možnost je nulová interakce, tedy foton prochází hmotou beze ztráty směru a energie. Druhou možností je fotoelektrický jev čili fotoefekt, kdy je principem zánik a absorpce veškeré energie fotonu elektronem, což vede k excitaci a odtržení elektronu z obalu. Tento jev probíhá častěji u atomů s velkým protonovým číslem. Třetí možností je, že se foton srazí s elektronem a předá mu jen část své energie, změní směr dráhy a pokračuje s nižší zbylou energií. Elektron, který je fotoefektem či Comptonovým rozptylem vytržen z elektronového obalu atomu se následně stává přímo ionizující částicí. Teoreticky je čtvrtou možností tvorba elektron-pozitronového páru, kdy foton γ záření o dostatečné energii vletí do blízkosti nabitě částice, nejčastěji do atomového jádra, tam se přemění v elektron a pozitron, který anihiluje v materiálu s jiným elektronem a ten pak ionizuje. V praxi však k této interakci běžně nedochází, neboť podmínkou je fotonové záření o velmi vysokých energiích. V nukleární medicíně je gama, anihilační a RTG záření coby nepřímo ionizující záření využíváno k zobrazování a nabitě částice (alfa a beta mínus) jsou coby přímo ionizující částice využívány k terapii. (Ondřej, 2013)

2.7 Biologické účinky ionizujícího záření

Poznatky o škodlivosti ionizujícího záření jsou známy už od dob jeho objevení. Obor, který se touto problematikou zabývá podrobněji se nazývá radiobiologie. Nejvýznamnější ozáření obyvatelstva z umělých zdrojů je způsobeno aplikací ionizujícího záření ve zdravotnictví. Největším podílem přispívá rentgenová diagnostika. Lékařské ozáření představuje až 93% celkové efektivní dávky ozáření z umělých zdrojů. Veličina, která popisuje biologické účinky na organismus se nazývá absorbovaná dávka (D). Vyjadřuje nám množství energie absorbované v materiálu na jednotku hmotnosti. Jednotka absorbované dávky (D) je 1 gray značený 1 Gy. V praxi se používají miligray (mGy) nebo mikrogray (μGy), jelikož 1 Gy je poměrně velká jednotka. Časté vystavování ionizujícímu záření nám škodí a způsobuje biologické změny. Rozlišujeme dva hlavní typy biologických účinků. Deterministické a stochastické. (Ondřej, 2013)

Deterministické účinky: jde o nejstarší známé účinky a lze klinicky prokázat spojitost s ozářením. K těmto účinkům dochází v důsledku smrti velkého množství ozářených buněk, které ztrácejí schopnost se dělit. Vznikají po překročení prahové dávky, která je u každé tkáně různá a s rostoucí nadprahovou dávkou stoupá i závažnost poškození. Poškození nastává krátce po ozáření v průběhu několika dnů až týdnů. Zpočátku se může tkáň částečně reparovat, ale vysoká dávka může způsobit progresivní poškození jako například nekrózy či vředy na kůži. Nejznámějším deterministickým účinkem je akutní nemoc z ozáření. Vzniká po ozáření celého těla nebo jeho větší části, a to vnějším ozářením nebo i vnitřní kontaminací. Nemoc z ozáření mívá fázi časných příznaků, poté nastupuje fáze latence a nakonec fáze rozvinutých příznaků. U akutní nemoci z ozáření rozlišujeme tři typy:

- Krevní, je typ poškození, kdy poklesne počet buněk krvetvorby. Vzniká při dávce 3 - 4 Gy. Po ozáření člověk pocítuje nespecifické příznaky jako je bolest hlavy, nevolnost a únavu. Po několika dnech příznaky přecházejí do fáze vlastního onemocnění, sepse, krvácení ze sliznice. Pokud dávka nebyla příliš velká, nastává uzdravování po 6 – 8 týdnech.
- Dalším typem je typ střevní a nastává při dávkách 5 – 15 Gy. Buňky střevní výstelky zahynou, obnaží se povrch střeva a tím tedy dochází k poruchám vstřebávání vody, živin a minerálů. Šance na přežití jsou nízké a pokud se tak stane, projeví se následně výrazné poškození krvetvorných orgánů.

- Posledním typem je nervový typ, při dávkách nad 50 Gy. Při těchto dávkách dochází ke křečím a k bezvědomí, po kterých nastává poškození nervového systému a okamžitá smrt. (Ondřej, 2013)

Dalším deterministickým účinkem může být radiační dermatitida, oční katarakta či trvalá infertilita.

Deterministické účinky se uplatňují i při ozáření embrya či plodu těhotných žen, charakter postižení závisí na absorbované dávce a týdnu gravidity. Pokud dojde k ozáření v prvních dvou týdnech těhotenství, nejpravděpodobněji k postižení buď nedojde, nebo dojde ke smrti zárodku. Dojde-li k ozáření v období organogeneze, od 3. do 8. týdne, dávkou v plodu vyšší než 100 mGy, mohou se vyskytnout abnormality a malformace. Ozáření v období od 8. do 15. týdne těhotenství dávkou 300 mGy má za následek mentální retardaci. Kromě uvedených deterministických účinků se samozřejmě při ozáření plodu mohou dále uplatnit i účinky stochastické. V jakémkoliv období těhotenství je proto ionizující záření považováno pro plod za nebezpečné a nesmí se aplikovat z jiného důvodu než z vitální či porodnické indikace. (Ondřej, 2013)

V nukleární medicíně se s deterministickými účinky můžeme setkat při léčbě nemocných s otevřenými zářiči, kdy jsou tyto účinky podstatou destrukce patologické tkáně akumulující dané radiofarmakum - například při terapii karcinomu štítné žlázy radiojódem. (Koranda a kol., 2014)

Stochastické účinky neboli pravděpodobnostní jsou účinky vyvolané změnami genetické informace buněk, takzvanými mutacemi. Dochází při nich k poškození molekuly DNA. Takové poškození může teoreticky způsobit i jedna jediná ionizace. Nízká dávka rentgenového nebo gama záření představuje milióny ionizací, při kterých toto poškození může a nemusí nastat. Pro stochastické účinky neexistuje prahová dávka, ale riziko poškození stoupá s každým vystavením ionizujícímu záření. S rostoucí dávkou se tedy zvyšuje pravděpodobnost vyvolání stochastických účinků, avšak závažnost na dávce nezávisí. Stochastické účinky nevznikají ihned po ozáření, ale nejčastěji mezi 5 - 20 lety. Patří sem vznik zhoubných nádorů a genetické účinky ovlivňující potomstvo, ovšem dnes není možné v případě vzniku nádoru rozpoznat, zda se jedná o následek z ozáření nebo z jiných příčin. (Koranda a kol., 2014; Ondřej, 2013)

2.8 Radiační ochrana

Protože každé ozáření ionizujícím zářením je potenciálně nebezpečné, radiační ochrana a její dodržování v medicínské praxi je naprosto stěžejní. Radiační ochrana je v České republice řízená atomovým zákonem (263/2016 Sb.) a vyhláškou o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje (422/2016 Sb.). Hlavní institucí, která odpovídá za radiační ochranu a jadernou bezpečnost je Státní úřad pro jadernou bezpečnost (SÚJB). „*Cílem radiační ochrany je zcela vyloučit deterministické účinky ionizujícího záření a omezit pravděpodobnost vzniku stochastických účinků na míru přijatelnou pro jednotlivce a společnost.*“ (Koranda a kol., 2014, s.46)

Rozlišujeme tři druhy ozáření, a to ozáření při práci, které zahrnuje všechna ozáření radiačních pracovníků při práci, lékařské ozáření jako součást vyšetření a léčby za užitečným účelem a posledním je ozáření obyvatel kam spadají veškerá ostatní ozáření. Radiační ochrana má tři základní principy a je zcela nezbytné, aby je dodržoval každý, kdo provádí činnost ozáření. Výjimkou je v tomto smyslu lékařské ozáření, které nepodléhá limitům, avšak ostatní dva principy musí být stále důsledně uplatňovány. Práce radiologických asistentů stejně jako ostatních radiačních pracovníků, již limitům podléhá.

- **Princip zdůvodnění** - přínos ozáření musí převážit jeho rizika
- **Princip optimalizace** – znamená, že je povinnost radiačního pracovníka dodržovat úroveň radiační ochrany tak, aby dávky ozáření osob a riziko ohrožení života a zdraví byly tak nízké jak je rozumně dosažitelné
- **Princip nepřekročení limitů** - omezit záření, aby nepřesáhlo stanovené limity (Koranda a kol., 2014)

2.8.1 Limity ozáření

Limity jsou hodnoty dávek, které odpovídají společensky přijatelnému riziku ozáření, jejich překročení je nepřípustné. Dělíme je do tří skupin :

- **Obecné limity** – jsou platné pro obyvatelstvo, efektivní dávka nesmí překročit 1 mSv za rok, ekvivalentní dávka pro oční čočku nesmí překročit 15 mSv.
- **Limity pro radiační pracovníky** – jsou použity pro omezení z profesního ozáření, efektivní dávka nesmí překročit 20 mSv za rok nebo 100 mSv za pět let po sobě jdoucích, ekvivalentní dávka pro oční čočku nesmí překročit 100 mSv za pět let po sobě jdoucích a současně 50 mSv za jeden rok.

- **Limity pro učně a studenty** – limity pro studenty ve věku 16 – 18 let, efektivní dávka nesmí překročit 6 mSv za rok, ekvivalentní dávka pro oční čočku nesmí překročit 15 mSv, limity pro studenty starší osmnácti let jsou stejné jako limity pro radiační pracovníky (Zákon č. 422/2016 Sb.)

2.8.2 Monitorování

Monitorování je měření všech veličin v radiační ochraně, jejich zaznamenání a vyhodnocení. Děje se to za účelem zjištění jak jsou dodržovány podmínky ozáření, zdali je radiační ochrana optimalizována a jestli je provoz pracoviště bezpečný. Program monitorování musí mít každé pracoviště, na kterém se pracuje s ionizujícím zářením, a skládá se z monitorování pracovního prostředí, osobního monitorování a na odděleních nukleární medicíny monitorování výпустí, aby nebyl radioaktivní odpad vypuštěn do městských odpadních vod. Na pracovištích s ionizujícím zářením se měří zejména příkon dávkového ekvivalentu a na pracovištích s otevřenými zářiči se měří kontaminace povrchů, popřípadě i objemová aktivita radionuklidů v ovzduší pracoviště. Pevné radioaktivní odpady jako stříkačky a jehly se roztřídí do označených kontejnerů a uloží se do vymírací místnosti. Zde se uchovávají do doby, kdy jejich aktivita klesne pod danou uvolňovací úroveň. Poté se přeměří jejich aktivita a dále se likvidují jako běžný odpad. (Koranda a kol., 2014)

Osobním monitorováním se rozumí to, že každý pracovník nosí svůj osobní dozimetr, který je oprávněnou dozimetrickou službou jednou měsíčně vyhodnocován. Zaměstnavatel musí zajistit pracovníkům nahlédnout do výsledků svého osobního monitorování. Osobní dozimetr může být filmový nebo termoluminiscenční a nosí se na levé přední straně hrudníku, pracovníci pracující s radionuklidy využívají i termoluminiscenční prstové dozimetry. Po vyhodnocení je informováno pracoviště, ale také i státní úřad pro jadernou bezpečnost, který tyto informace uchovává. (Hušák a kol., 2009)

2.8.3 Radiační ochrana pracovníků

Před ionizujícím zářením by se měl chránit každý radiologický pracovník i každá jiná osoba, která se dostane do prostředí, kde by se ionizující záření mohlo vyskytnout. Jsou tři hlavní způsoby: Ochranou vzdáleností se rozumí, že čím dále budeme od zdroje záření, tím menší dávku dostaneme – dávkový příkon klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje. Dalším způsobem ochrany je ochrana časem. Radiační zátěž roste s dobou, po kterou jsme vystaveni ionizujícímu záření. Třetím způsobem je ochrana stíněním a ta především využívá vhodného materiálu k odstínění záření jako je například olovo. Jsou to tedy olověné vesty, zástěry a olověné stínící desky. Vedle uvedených způsobů ochrany je na pracovištích nukleární

medicíny dále povinnost manipulovat s radiofarmaky pouze v nepropustných rukavicích a v kontrolovaném pásmu dodržovat zákaz kouření a konzumace potravin i nápojů. (Hušák a kol., 2009)

2.8.4 Kategorizace pracovišť

Pracoviště, kde se vykonávají radiační činnosti se kategorizují vzestupně, podle ohrožení zdraví a životního prostředí ionizujícím zářením na pracoviště I., II., III., a IV. kategorie.

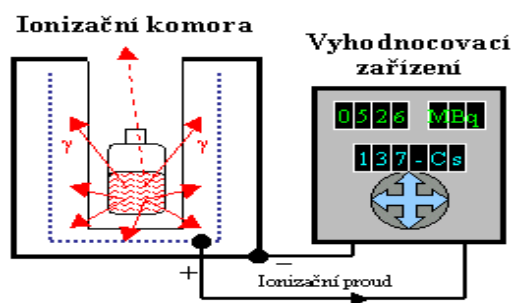
- I. Kategorie – Pracoviště s drobnými typově neschválenými zdroji jako je kostní denzitometr, veterinární nebo zubní rentgen.
- II. Kategorie – Pracoviště s rentgenovým zařízením určeným k radiodiagnostice nebo radioterapii.
- III. Kategorie – Pracoviště s lineárním urychlovačem částic, s významným zdrojem pro brachyterapii, s otevřenými zářiči jako je oddělení nukleární medicíny, s průmyslovým ozařovačem potravin.
- IV. Kategorie – Jaderná zařízení a úložiště radioaktivního odpadu. (Hušák a kol., 2009)

2.8.5 Vymezení kontrolovaného pásma

Tam, kde by mohla být efektivní dávka vyšší než 6 mSv/rok (nebo ekvivalentní dávka vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži nebo končetiny) se vymezuje kontrolované pásmo. V nukleární medicíně se jedná o všechna pracoviště, oddělení – laboratoře, ambulantní i lůžkové úseky. Nároky na kontrolované pásmo jsou v porovnání s pásmem sledovaným přísnější. Mohou zde pracovat pouze kvalifikovaní radiační pracovníci kategorie A, kde se předpokládá, že by mohlo dojít k překročení limitů. (Hušák a kol., 2009)

2.9 Přístroje používané v nukleární medicíně

Ionizační komora - Pracuje na principu ionizace plynu, napětí na elektrodách je 150 – 350 V. Radioaktivní preparáty můžeme měřit například ve studnové ionizační komoře. V nukleární medicíně slouží ionizační komory například ke stanovování aplikovaných aktivit pro jednotlivé pacienty.



Obrázek 1 - Studnová ionizační komora¹

Proporcionální xenonový detektor – Pracuje na principu ionizace plynu, xenonu, napětí na elektrodách je 1200 – 1600 V. Má vysokou detekční účinnost pro záření gama a beta. V nukleární medicíně je přezdívaný jako žehlička a slouží k měření povrchové aktivity například při kontaminaci povrchu.



Obrázek 2 - Proporcionální detektor²

Geigerův-Müllerův detektor – pracuje na principu ionizace plynu (argon), napětí na elektrodách je 400 - 800 V. Má vysokou detekční účinnost pro záření beta.

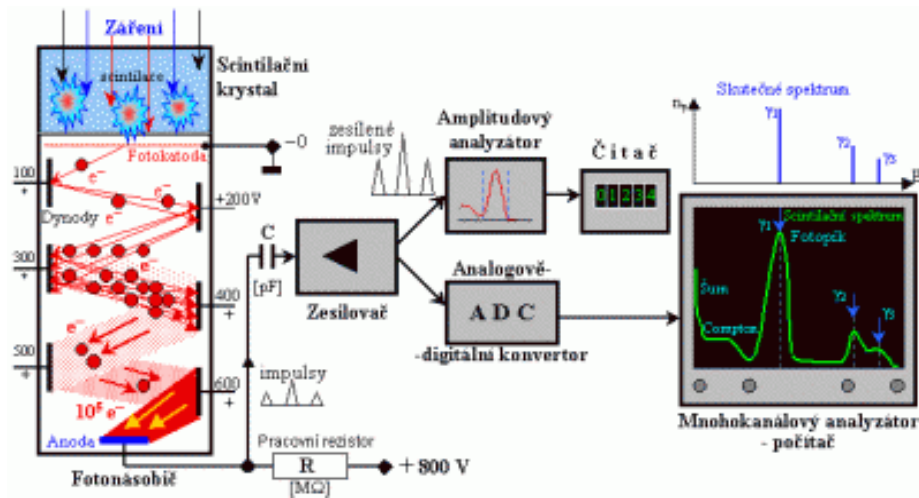
Polovodičové detektory – fungují na principu ionizační komory jen s tím rozdílem, že plyn je nahrazen polovodičovým materiálem.

Scintilační detektor - jeho součástí je scintilační krystal, který převádí absorbovanou energii ionizujícího záření na energii fotonů ve viditelné krátkovlnné nebo blízké ultrafialové oblasti spektra. Tyto detektory patří mezi nejpoužívanější a jejich výhodou je že scintilátor může mít různé rozměry a tvar. Scintilační krystal je obvykle z jodidu sodného, který je aktivovaný

¹ FREITINGER SKALICKÁ, Zuzana. Elektrické detektory. In: Radiobiologie [online]. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/images/stories/kapitola1/gen/ionizacni-komora-ve-studnovem-provedeni.gif>

² FREITINGER SKALICKÁ, Zuzana. Elektrické detektory. In: Radiobiologie [online]. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/images/stories/kapitola1/gen/soustava-G-M-nebo-proporcionalnich-detektoru.gif>

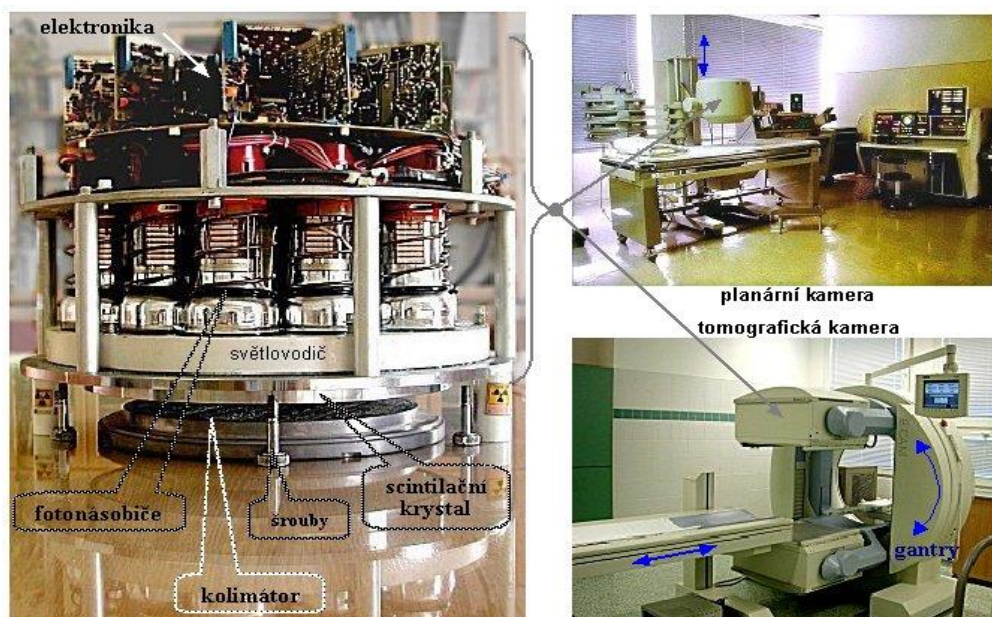
thaliem. Má velikou detekční účinnost pro záření gama. Scintilační detektor je dále spojen s fotonásobičem, který převádí v krystalu vzniklé fotony na elektrické impulzy, se kterými lze dále pracovat. (Ullmann, 2005)



Obrázek 3 - Scintilační detektor³

Scintilační gamakamera – je přístroj používaný pro scintigrafii. Detektor této kamery se skládá z kolimátoru, plochého scintilačního krystalu a souboru fotonásobičů. Scintilační krystal bývá nejčastěji obdélníkového tvaru a za ním je rozloženo okolo 60 fotonásobičů. Dopadající foton záření gama vyvolá v krystalu scintilaci a nejvíce světla se dostane do fotonásobiče, který je uložen nad místem interakce fotonu a krystalu. Dále pak fotonásobiče předají signál polohovému obvodu, a tím získáme informaci o poloze, kde došlo ke scintilaci v krystalu. Známe-li směr přilétajících fotonů, který uspořádá kolimátor, můžeme tím určit místo v těle pacienta, odkud byly fotony vyzářeny. Zároveň se impulzy ze všech fotonásobičů vedou i na sumační obvod, který nám podá informaci o energii záření. Scintigram se zobrazí pouze ze scintilací vzniklých z interakcí fotonů o určité energii daného radionuklidu. Konstrukci kamery můžeme vidět na obrázku. (Ullmann, 2005)

³ FREITINGER SKALICKÁ, Zuzana. Elektrické detektory. In: Radiobiologie [online]. [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <http://fbmi.sirdik.org/plugins/content/mavikthumbnails/thumbnails/400x215-images-stories-kapitola1-gen-schematicke-znazorneni-scintilacniho-detektoru.gif>



Obrázek 4 - Konstrukce scintilační gamakamery⁴

Kolimátor slouží jako filtr propouštějící fotony v daném směru. Existují různé typy kolimátorů a jsou zhotoveny z olova. Můžeme je rozlišovat podle radiofarmaka resp. podle energie záření z radiofarmaka vycházejícího, podle rozlišovací schopnosti a dále podle konfigurace a počtu otvorů. (Koranda a kol., 2014)

Mnohooťvorové kolimátory s paralelními otvory existují pro zářiče gama s nízkou, střední i vysokou energií záření a skládají se z tisíců otvorů v olovu, které jsou kolmo ke scintilačnímu krystalu. Vytvářený obraz má stejnou velikost jako ve skutečnosti a jeho velikost tedy není ovlivněna vzdáleností objektu od kolimátoru (tato vzdálenost ale významně ovlivňuje prostorové rozlišení). Tyto kolimátory se používají při většině scintigrafických vyšetření. (Kupka a kol., 2007)

Konvergentní kolimátory se sbíhajícími se otvory směřujícími do určitého bodu nám umožní zvětšení obrazu. Lze je využít k zobrazení malých orgánů, aby bylo lépe využito zorné pole kamery; dnes jsou někdy ke scintigrafii srdce či mozku využívány například konvergentní kolimátory typu fan beam. (Ullmann, 2005)

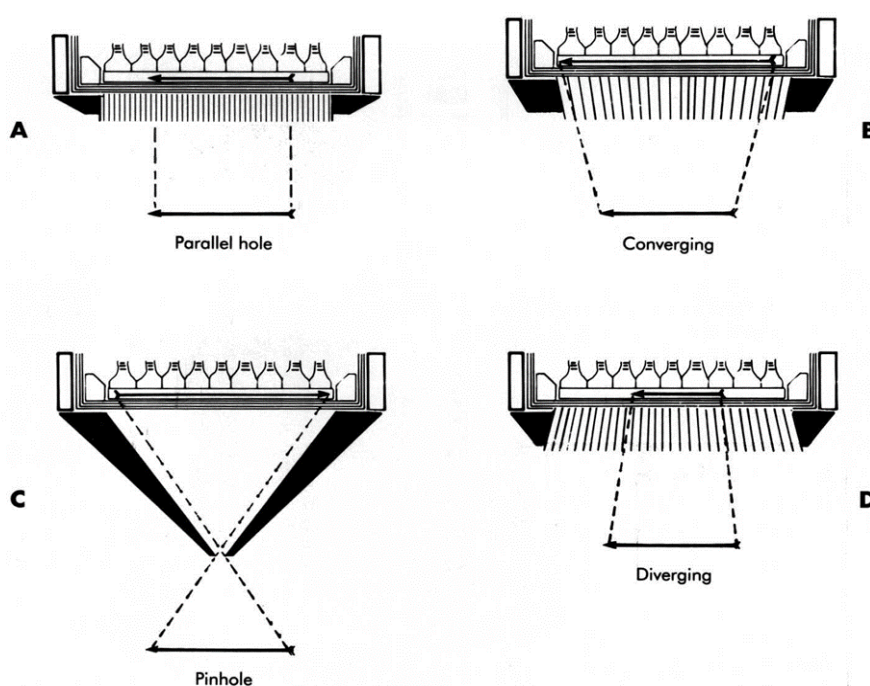
Divergentní kolimátory s rozbíhajícími se otvory směřujícími z určitého bodu nám umožní zmenšení obrazu. Používaly se historicky v éře, kdy zorné pole gamakamer bylo jen okolo 25 cm. (Ullmann, 2005)

⁴ ULLMANN, Vojtěch. Scintilační kamery. In: AstroNuklFyzika [online]. 2005 [cit. 2019-03-19]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/ScintiKamera-Konstrukce.jpg>

Kolimátor typu pinhole je jednootvorový kolimátor ve tvaru trychtýře. Otvor má v průměru 3 až 5 mm a poskytuje nám zvětšený a převrácený obraz. Tento kolimátor nám poskytuje obrazy s dobrou rozlišovací schopností pokud je objekt vzdálený od otvoru co nejméně. Je vhodný na zobrazování malých oblastí v těle. (Kupka a kol., 2007)

Dále pak můžeme kolimátory rozdělit podle energie záření gama na kolimátory pro vysoké energie (high energy – HE), střední energie (medium energy – ME), nízké energie (low energy– LE), které se od sebe liší počtem otvorů a tloušťkou přepážek.

Všechny popsané kolimátory můžeme vidět na obrázku.



A) Mnohootvorový kolimátor s paralelním otvory B) Konvergentní kolimátor
C) Kolimátor typu pinhole D) Divergentní kolimátor

Obrázek 5 - Typy kolimátorů⁵

2.10 Druhy scintigrafie

Scintigrafické metody můžeme rozdělit na dva druhy: planární a tomografické. Zobrazuje-li se nám obraz v jedné projekci, hovoříme o planární scintigrafii. Získáme-li data z více projekcí a rekonstruujeme z nich informace o trojrozměrném rozložení radiofarmaka v těle tak, abychom mohli prohlížet jednotlivé tenké řezy, hovoříme o tomografické scintigrafii.

⁵ DOLEŽAL, Jiří. Fyzika v nukleární medicíně. Prezentace PowerPoint v rámci projektu Inovace studijních programů a internacionalizace Fakulty zdravotnických studií Univerzity Pardubice [1. 7. 2013 – 30. 6. 2015]. Studijní materiál Fakulty zdravotnických studií Univerzity Pardubice.

Planární scintigrafii dále dělíme na statickou a dynamickou. Při statické scintigrafii pořizujeme jeden snímek distribuce radiofarmaka v určité anatomické oblasti. Vyšetření se provede obvykle až za určitý čas po podání radiofarmaka, které se například hromadí v buňkách s normální funkcí. Na snímku potom místa s menším počtem impulsů svědčí o nízké funkci buněk a naopak lépe jsou vidět místa s větším počtem impulzů naznačující hyperfunkci. Při statické scintigrafii bývají často výsledkem snímky pořizované v časovém odstupu několika hodin nebo dní. (Kupka a kol., 2007)

Při dynamické scintigrafii se pořizují série snímků, které zachytí jednotlivé fáze průchodu radiofarmaka ve vyšetřované oblasti. Doba snímání závisí na trvání vyšetřovaného děje a expozice bývají krátké, trvající sekundy, minuty. Záznam lze hodnotit vizuálně, kvantitativně nebo výpočtem z křivek. (Kupka a kol., 2007)

2.10.1 Jednofotonová emisní tomografie SPECT

Při tomto tomografickém postupu se registruje záření gama emitované radioaktivní látkou z těla pacienta. Základem pro vyšetřování SPECT jsou (nejčastěji dva) detektory stejného typu jako pro planární scintigrafii. Vyšetření pak spočívá v tom že detektory postupně obíhají kolem těla pacienta buď po malých úhlech, nebo plynule a snímají obraz. Obrazů může být například 32, 64, nebo 128. Ze série planárních snímků nasnímaných pod různými úhly se počítačově rekonstruuje obraz distribuce radiofarmaka v těle. (Koranda a kol., 2014)

Tímto trojrozměrným obrazem v paměti počítače pak metodami počítačové grafiky můžeme vést a zobrazovat na monitoru řezy v libovolných směrech - tedy nejen primární transverzální řezy, ale i řezy podélné a šikmé, můžeme provádět různé geometrické reorientace a další úpravy tak, abychom co nejpřehledněji zobrazili požadovanou strukturu. Pomocí počítačové grafiky lze vytvářet trojrozměrné obrazy. (Ullmann, 2005)

Ve srovnání s planárním zobrazováním má SPECT přednosti, jelikož můžeme zobrazit ložiska s vyšším kontrastem vůči okolí než je tomu při planárním zobrazení. Zvýšení kontrastu odhalí léze, které by na planárním zobrazení nebyly vidět nebo by byly těžko detekovatelné, jelikož při planárním zobrazení je kontrast nízký. Vyšetření SPECT má ovšem i nevýhody při porovnání s planárním zobrazením a to je především horší rozlišovací schopnost a vyšší šum. Hybridní systém SPECT/CT nám zobrazí jak funkci (SPECT), tak anatomii (CT) daného vyšetřovaného místa. (Koranda a kol., 2014)

2.11 Centrální nervový systém

2.11.1 Anatomie mozku

Mozek je uložen v silné kostěné lebeční klenbě, která se nazývá mozkovna. Mozek můžeme rozdělit na tři části, a to přední mozek, střední mozek a zadní mozek. Tyto tři oblasti jsou složeny z významných mozkových struktur jako je koncový mozek, tvořený pravou a levou hemisférou, mozkový kmen propojující se s míchou a mozeček, který leží pod oběma hemisférami koncového mozku a částečně mezi nimi. Povrchová mozková kůra je pokryta rýhami, které zvyšují povrch a kapacitu. Vymezují nám také hranici mezi jednotlivými laloky. (Naňka, Elišková, 2009)

- **Koncový mozek** je největší a sídlí zde funkce myšlení. Skládá se ze čtyř částí, kterým se říká laloky. První čelní lalok kontroluje poznávací (kognitivní) funkce včetně řeči. Temenní lalok ovládá smyslové vnímání. Spánkový lalok zodpovídá za vizuální a verbální paměť, ale také i za čich. Týlní lalok nese funkci zrakového vnímání. Koncový mozek je symetricky rozdělen na pravou a levou hemisféru. Pravá hemisféra ovládá logické myšlení, zatím co levá je zodpovědná za tvořivost a fantazii.
- **Mezimozek** se nachází pod koncovým mozkiem na vrcholu mozkového kmene. Dělíme ho na thalamus, epithalamus, hypothalamus a subthalamus. Činnost mezimozku nám zajišťuje převod vzruchů, které přichází z tělesné periferie, do různých částí mozku. V mezimozku najdeme místo interakce endokrinního systému a centrální nervové soustavy. Mezimozek zodpovídá za vrozené a druhově specifické vlastnosti jako například paměť.
- **Mozkový kmen** najdeme ve spodní části mozku, tento pak dále navazuje na krční míchu. Udržuje nám nezbytné základní životní funkce jako činnost srdce nebo dýchání. Mozkový kmen se skládá z Varolova mostu, prodloužené míchy a středního mozku.
- **Střední mozek** kontroluje zrak a sluch. Pomáhá nám při udržování rovnováhy.
- **Varolův most** zajišťuje zprostředkování informací mezi mozečkem a koncovým mozkiem. Kontroluje funkce bdělosti a dýchání.
- **Prodloužená mícha** je zodpovědná za řízení základních mimovolných funkcí jako je udržování správného krevního tlaku, ale také i srdeční činnost a dýchání.

- **Retikulární formace** je skupina nervových buněk ležících mezi středním mozkem a prodlouženou míchou sahající až do oblasti thalamu. Zde je řízen spánek, bdělost a vědomí.
- **Mozeček** má dvě hemisféry stejně jako koncový mozek. Mozeček je regulační a koordinační článek pro nervové impulsy ze svalů do mozku a obráceně. Ovládá pohyb a držení těla. Zajišťuje rychlou a jasnou odpověď na signály smyslových orgánů. (Naňka, Elišková, 2009)

Nervová soustava nám zajišťuje vztahy mezi organismem a vnějším prostředím a také vztahy mezi jednotlivými orgány v organismu. Z orgánů a vnějšího prostředí přijímá informace, které zpracovává a zajišťuje na ně odpověď v podobě elektrických potenciálů. Základní funkční jednotkou nervové tkáně je neuron – nervová buňka. Tato buňka se skládá z těla a výběžků. Tělo nervové buňky obsahuje jádro a další organely. Zásadní funkci pro činnost neuronu má plazmatická membrána, na které závisí vznik a šíření vzruchu. Výběžky nervové buňky jsou dvojího typu, dendrity a axon. Dendrity jsou početné dostředivé výběžky přivádějící informace k tělu nervové buňky. Axon (neurit) je výběžek různé délky, který vede informaci směrem od těla buňky a na konci se větví. (Naňka, Elišková, 2009)

2.11.2 Cévní zásobení mozku

Dodání okysličené krve do mozku zajišťují tři hlavní tepny. Pravá vnitřní krkavice (arteria carotis interna dextra), levá vnitřní krkavice (arteria carotis interna sinistra) a poslední basilární tepna (arteria basilaris) vzniklá spojením pravé a levé vertebrální tepny. Tyto tři tepny jsou propojeny takzvaným Willisovým arteriálním okruhem, ze kterého odstupují cévy zásobující jednotlivé oblasti mozku jako je přední, střední a zadní mozková tepna. Odtok odkysličené krve z mozku pak zajišťují mozkové žíly, které ústí do mozkových splavů a odtud odvádějí krev především do vnitřní hrdelní žíly (vena jugularis interna). (Orel, Procházka a kol., 2017)

2.12 Perfuzní scintigrafie mozku

Toto vyšetření poskytuje informaci o rozložení prokrvení, tj. perfuze, v jednotlivých částech mozku. Perfuze mozku závisí na stavu cévního řečiště a na intenzitě průtoku krve mozkem. Tento průtok závisí na funkční aktivitě mozkové tkáně. Abychom dosáhli požadované informace o regionálním prokrvení, je třeba použít vhodné radiofarmakum.

2.12.1 Radiofarmaka pro hodnocení perfuze mozku

Radiofarmaka k zobrazení perfuze mozku se na pracoviště dodávají ve formě substancí, kde se teprve označí ^{99m}Tc a musí splňovat některá kritéria jako je schopnost pronikat neporušenou hematoencefalickou bariérou, dostatečně dlouhá retence v mozkové tkáni bez významné redistribuce a vysoká extrakce při prvním průtoku mozkem. Tyto požadavky splňují nejlépe lipofilní sloučeniny schopné pronikat do mozkových buněk, kde v intracelulárním prostředí neuronů nabývají hydrofilního charakteru a od tohoto okamžiku nejsou schopny projít zpět přes hematoencefalickou bariéru. Takto tedy dojde k zafixování obrazu perfuze mozku ve chvíli po intravenózním podání radiofarmaka. (Koranda a kol., 2014)

Nejčastěji používané radiofarmakum je ^{99m}Tc -HMPAO (hexamethylpropylen-aminooxim) a ^{99m}Tc -ECD (bicisát). Výše popsaná přeměna se týká radiofarmaka ^{99m}Tc -HMPAO, která je závislá na funkční aktivitě nervových buněk. Přeměna radiofarmaka ^{99m}Tc -ECD v hydrofilní formu nastává v důsledku deesterifikace, což je proces vyžadující přítomnost životaschopné mozkové tkáně. (Koranda a kol., 2014)

2.12.2 Indikace

Perfuzní scintigrafie mozku je indikována při akutních a chronických cerebrovaskulárních onemocněních mozku, dále při diagnostice lehčích traumat mozku, mozkové smrti, diferenciální diagnostice demencí a při lokalizaci epileptického ložiska.

2.12.2.1 Cerebrovaskulární onemocnění

Cévní mozková příhoda je náhle vzniklé ložiskové poškození mozkové tkáně vaskulárního původu. Tyto mozkové příhody vznikají vskutku náhle v rozsahu několika vteřin a jedná se buď o příhody hemoragické nebo o příhody ischemické jako například při embolizaci do mozkových tepen z lokálně vzniklé trombózy. Některé CMP se projevují na začátku jen malým ložiskovým deficitem, který v průběhu několika hodin či dnů narůstá. Nazývají se „stroke in progression“ a v takovém okamžiku musíme zabránit mechanismu, který vede k nárůstu deficitu. U hemoragických CMP může docházet nejen k přímému poškození struktur, ale také k zvýšení nitrolebního tlaku, edému či k blokadě likvorové pasáže. (Ehler, 2009)

Perfuzní SPECT vyšetření je schopno stanovit rozsah ischemické léze již v časně fázi cévní mozkové příhody (CMP). Ischemické i hemoragické ložisko se zobrazí jako oblast bez akumulace radiofarmaka, jelikož radiofarmakum nepronikne do postiženého místa.

Protože v péči o takto akutní pacienty je rozhodujícím faktorem čas, perfuzní SPECT mozku není pro svou omezenou dostupnost a časovou náročnost v současné době již součástí diagnosticko-terapeutických algoritmů; byl nahrazen modernějšími radiologickými metodami (CT a MR).

SPECT je metoda schopná prokázat i dočasné porušení mozkového prokrvení při tranzitorní ischemické mozkové atace (TIA). Při této mozkové příhodě nedochází k morfologickým změnám ve tkáni mozku. V tomto případě je nezbytné provést scintigrafické vyšetření zavčasu, protože už po 24 hodinách klesá senzitivita metody. Vzniká úplným nebo částečným ucpáním intrakraniální tepny a od CMP se liší délkou trvání. Význam SPECT v této indikaci spočívá v identifikaci vysoce rizikových nemocných, neboť v případě pozitivního nálezu je pacient ohrožen možností cévní mozkové příhody v blízké budoucnosti. (Koranda a kol., 2014)

2.12.2.2. Vyšetření cerebrovaskulární rezervy

Další vhodnou indikací k perfuzní scintigrafii mozku je vyšetření cerebrovaskulární perfuzní rezervy. Vyšetření slouží k posouzení významu známé stenózy u pacientů se zvažovanou operací. Jedná se o vyšetření s použitím zátěže, kdy se pacient uvede do stavu hyperkapnie buď inhalací CO₂ nebo farmakologicky intravenózním podáním acetazolamidu. Za normálních okolností dochází při vzniklé acidóze ke zvýšení průtoku krve mozkem a k dilataci cév. „*Cévní řečiště za stenotickou arterií je však již za bazálních podmínek ve stavu maximální dilatace tak, aby byl dle možností kompenzován efekt stenózy artérie zásobující mozkovou tkáň*“. (Koranda a kol., 2014, s.108)

Principem je provedení jednoho vyšetření v klidu a druhého v zátěži a jejich vzájemného porovnání. V případě vyčerpané perfuzní cerebrovaskulární rezervy dojde na zátěžovém vyšetření ke zhoršení nálezu v oblasti za zúžením tepny. Hyperkapnie proto nevede ke zvýšení mozkové perfuze a na scintigramu se tento nálezn zobrazí jako oblast hypoperfuze, která není přítomna na bazálním vyšetření. Pacient s průkazem snížené rezervy je rizikový pro ischemickou cévní mozkovou příhodu a tak často bývá indikován k operaci. (Koranda a kol., 2014)

2.12.2.3. Diferenciální diagnostika demencí

Perfuzní SPECT vyšetření je také schopno zobrazit postižené oblasti mozku a na základě toho přispět k diagnostice demencí. Demence lze rozdělit podle charakteru a lokalizace postižení na vaskulární, frontotemporální a posteriorní. Pravděpodobně nejlépe je popsán

obraz perfuze mozku při počínající Alzheimerově chorobě. Alzheimerova demence je představitel posteriorní demence, pro kterou je typický nález oboustranného difúzního snížení perfuze a metabolismu v koře temporálních až parietálních laloků. Symetricky oboustranné snížení aktivity v temporálních a parietálních lalocích je asi u 70-80% postižených Alzheimerovou chorobou, postižení však může v počátku být i jednostranné. V konečné fázi postihuje i laloky frontální. K posteriorním demencím patří i Parkinsonova demence, při které dochází k úbytku buněk. Do frontotemporálního typu demence řadíme demence alkoholické, pseudodepresivní, Pickovu chorobu a schizofrenii. (Koranda a kol., 2014)

Vaskulární demence je přítomna u asi 20 % postižených demencí nad 65 let. Vyskytuje se u pacientů s opakovanými drobnými ikty a poškození tkáně je hemoragického, ischemického nebo hypoxického původu. Při vyšetření se zobrazí vícečetné asymetrické, obvykle oboustranné defekty s náhodnou distribucí. (Bartoš, 2000)

Protože pacienti vyšetřovaní pro demenci jsou často staršího věku, je dobré zohlednit fyziologické změny perfuze mozku probíhající v čase. Při normálním stárnutí dochází k poklesu prokrvení, a tím i aktivity ve frontálních, parietálních a temporálních lalocích. Při vyhodnocování je proto výhodné využít normálovou databázi zdravých jedinců odpovídajícího věku. (Bartoš, 2000)

2.12.2.4. Diagnostika mozkové smrti

Mozková smrt nastává po zastavení životních funkcí v organismu a je spojena s nevratnými změnami, které znemožňují obnovení životních funkcí. Je provázena úplnou a trvalou ztrátou vědomí. Průkaz mozkové smrti je nezbytný pro odběr orgánu k transplantaci a podle zákona je perfuzní SPECT jednou z možností, jak mozkovou smrt potvrdit. Patofyziologickým principem využívaným při SPECT vyšetření je fakt, že mozková smrt je provázena edémem mozku a následnou bloádou průtoku krve mozkiem. Proto v případě nálezu mozkové smrti nesmí být na scintigramu patrná akumulace radiofarmaka v žádné části mozku. Vyšetření se skládá z dynamické scintigrafie sledující průtok radiofarmaka a z následného SPECT vyšetření. Výhodou oproti potvrzení smrti mozku metodou klasické angiografie je fakt, že perfuzní radiofarmaka nejsou nefrotoxická, a tudíž nepoškozují ledviny, které mohou být transplantovány. (Koranda a kol., 2014)

2.12.2.5. Detekce epileptogenního ložiska

Epilepsie je záchvatovité onemocnění, které může být vrozeného nebo získaného původu. Nejčastější příčina vzniku u získaného původu jsou úrazy hlavy, nádory a infekce. Vyšetření

epileptického ložiska se provádí při epilepsii, kterou se nedaří léčit léky a je nutné spouštějící detekované ložisko chirurgicky odstranit. Existují dvě možnosti vyšetření: iktální (během epileptického záchvatu) a interiktální (mezi záchvaty). Při iktálním vyšetření se pacientovi aplikuje radiofarmakum na začátku záchvatu, jelikož je v této chvíli ložisko hyperaktivní a tomu odpovídá i zvýšení perfuze. Dojde tedy k hyperakumulaci radiofarmaka v ložisku, které prokážeme scintigrafií provedenou v časovém odstupu po odeznění záchvatu. Pacient je po celou dobu sledován videokamerou a EEG monitorován. Rychlá akumulace radiofarmaka umožní zafixovat obraz rozložení perfuze v mozku z doby počátku záchvatu. Vlastní vyšetření zahájíme až po odeznění záchvatu, nejpozději do 6 hodin po aplikaci radiofarmaka. Interiktálně se patologická oblast naopak zobrazuje jako ložisko fotopenie, vyšetření je však oproti iktálnímu vyšetření méně specifické. Pro chirurgickou navigaci je obvykle využíván fúzovaný obraz z perfuzního SPECTu a magnetické rezonance. (Myslivoček a kol., 2007)

2.12.3 Kontraindikace

K tomuto vyšetření jsou kontraindikováni pacienti, kteří nejsou schopni vyšetření vleže absolvovat (bolestivé stavy, klaustrofobie) a nespolupracující pacienti; další kontraindikací pro toto vyšetření je těhotenství a kojení. V neodkladných případech je potřeba přerušit kojení minimálně na 12 hodin od aplikace radiofarmaka. (Koranda a kol., 2014)

2.12.4 Příprava pacienta

Příprava pacientů pro toto vyšetření závisí na indikaci. V přípravě průkazu mozkové smrti není příprava žádná, je však třeba spolupráce s doprovázejícím anesteziologem ve smyslu udržení potřebného arteriálního krevního tlaku pacienta, aby nedošlo k falešně pozitivnímu závěru. V případě hodnocení cerebrovaskulární perfuzní rezervy příprava spočívá v inhalaci CO₂ či podání acetazolamidu při aplikaci radiofarmaka v zátěži. Při hodnocení perfuze epileptogenního ložiska v intraiktální studii jsou pacienti hospitalizováni, je jim vysazena antiepileptická medikace a je snaha je stimulovat k vyvolání epileptického záchvatu např. stroboskopem, pacienti jsou zároveň neustále monitorováni pomocí EEG. V ostatních případech jako např. v psychiatrických indikacích či v diferenciální diagnostice demencí, je tato radiofarmaka potřeba podávat v tiché a zatemněné místnosti, aby byl minimalizován vliv variabilní funkční aktivity mozkové tkáně, který by nám mohl zkreslit výsledek vyšetření. Eliminaci bolestivých podnětů při aplikaci radiofarmaka zajistíme zavedením kanyly s časovým odstupem před vyšetřením. Množství podané aktivity na dospělého jedince se pohybuje okolo 500-800 MBq a u dětí 7-11 MBq/kg. (Koranda a kol., 2014)

2.12.5 Provedení vyšetření

Při perfúzní scintigrafii mozku je nutné použít vhodnou tomografickou techniku SPECT a vhodnou dvoudetektorovou, popřípadě třídetektorovou gamakameru, která nám umožní maximální možnou kvalitu zobrazení. Jsou používány kolimátory s vysokým rozlišením pro nízké energie s paralelními otvory, event. je možno použít kolimátor typu fanbeam. Vliv na kvalitu obrazu má i pohyblivost pacienta a je tedy nutné hlavu fixovat. Je zásadní, aby kolimátory byly při rotaci co nejbližší hlavě, neboť s rostoucí vzáleností významně klesá prostorové rozlišení získaných obrazů.

2.12.6 Hodnocení

Získaná data hodnotí lékař vizuálně s pomocí normálových databází či s využitím semikvantitativního hodnocení.

2.13 Receptorová diagnostika – zobrazení dopaminového metabolismu v bazálních gangliích

Scintigrafické zobrazení dopaminového metabolismu v bazálních gangliích nám slouží k diferenciální diagnostice parkinsonských poruch hybnosti či k diagnostice demence s Lewyho tělisky. Idiopatická Parkinsonova choroba spočívá v degeneraci nigrostriatálních drah, kdy tedy dochází k postižení aferentní dráhy vedoucí ze substantia nigra do bazálních ganglií (striata) a k úbytku nervových buněk. Dopamin - což je neurotransmitter - zajišťuje přenos signálů mezi neurony a nedostatek dopaminu způsobí, že pacient postupně není schopen ovládat svůj pohyb. Porucha je na dopaminových synapsích lokalizována presynapticky. U onemocnění z Parkinson plus okruhu, jako je například multisystémová atrofie dochází k postižení celého bazálního ganglia a porucha je lokalizována jak presynapticky, tak postsynapticky. Naproti tomu u esenciálního tremoru (třes) nebo u Parkinsonova syndromu vzniklého jako nežádoucí efekt jiné medikamentózní léčby však není postižena žádná část dopaminové synapse. Presynaptickou distribuci dopaminových transportérů v bazálních gangliích můžeme zobrazit pomocí analogu kokainu ^{123}I -joflupanu (DaTScanTM), který má k nim vysokou afinitu. Rozložení a množství postsynaptických D2 receptorů můžeme zobrazit podle radiofarmaka ^{123}I -IBZM (jodbenzamid). Radiofarmaka se aplikují intravenózně o aktivitě 185 MBq. Snímání se provádí za 1,5 hodinu po podání jodbenzamidu a za 3 hodiny po podání joflupanu. Před vyšetřením by pacient neměl užívat žádné léky, které ovlivňují vazbu dopaminových transportérů. Před aplikací radiofarmaka je nutné se ujistit, že je pacient schopen během vyšetření ležet v klidu, protože trvá 40 až 60 minut. Při použití sedativ je nutné je podat minimálně 1 hodinu před samotným vyšetřením.

Dále je vhodné podat pacientovi perchlorát, který se vycytá ve štítné žláze a zabrání zde akumulaci radioaktivního jódu z radiofarmaka, který by mohl štítnou žlázu poškodit. (Koranda a kol., 2014)

Při vyhodnocování se používá vizuální hodnocení se třemi stupni závažnosti postižení, ale můžeme využít i semikvantitativní hodnocení výpočtem indexu specifické aktivity ve striatu a v jeho dvou částech. Pro normální nález na DaTScanu je charakteristická vysoká akumulace joflupanu oboustranně ve striatu (bazální ganglia), konkrétně v putamen a nucleus caudatus. U Parkinsonovy choroby je snižená až chybějící akumulace radiofarmaka nejprve v putamen a při progresi v onemocnění i v nukleus caudatus, což svědčí pro deficit dopaminových transportérů presynapticky. (Koranda a kol., 2014)

3 PRAKTICKÁ ČÁST

V praktické části mé bakalářské práce se zaměřím na úlohu radiologického asistenta při perfuzní scintigrafii mozku metodou SPECT. Popisuji zde proces od objednání pacienta, jeho přípravu po samotné provedení vyšetření. Práce radiologického asistenta zahrnuje několik důležitých úloh, které se pravidelně obměňují z důvodu radiační zátěže personálu. Patří sem práce v kartotéce, ověření aktivity radiofarmaka před aplikací do organismu těsně před vyšetřením, zavedení kanylu, asistence lékaři při aplikaci radiofarmaka, provedení samotného vyšetření, práce s počítačem. Vycházím z poznatků z mé absolvované praxe na oddělení nukleární medicíny a z národních radiologických standardů.

3.1 Příprava pacienta

Pacient se telefonicky nebo osobně objedná v kartotéce na základě žádanky, kterou mu vystavil indikující lékař. Podáme mu informace o tom, že v den vyšetření by neměl pít nápoje s obsahem kofeinu a alkoholu, neměl by kouřit a ani užívat léky, které ovlivňují mozkové prokrvení a jejich vysazení popřípadě konzultovat s lékařem.

V den vyšetření je nezbytné, aby se pacient dostavil na oddělení včas, jelikož je radiofarmakum připravováno na přesný určitý čas a pozdní příchod by mohl znamenat, že vyšetření nebude možné provést z důvodu rozpadu radiofarmaka.

Při příchodu na oddělení se pacient nahlásí v kartotéce, kde dojde k jeho registraci a identifikaci (jméno, rodné číslo, číslo pojišťovny, trvalé bydliště, váha, výška). Po tomto kroku pacient dostane k podpisu informovaný souhlas, který ho seznámí s daným vyšetřením. Před aplikací radiofarmaka je důležité se ujistit, že je pacient schopen spolupráce během vyšetření, a to ležet v klidu 30-60 minut. Velmi důležité je také následné zjištění, zda pacient netrpí klaustrofobií, a pokud ano, je možné ho vzít na vyšetřovnu a vyzkoušet uložení pod gamakameru, kde nám pacient oznámí, zda je schopen vyšetření absolvovat.

Jak bylo uvedeno výše, příprava těsně před vyšetřením závisí na indikaci; při indikaci z důvodu diferenciální diagnostiky demencí v době aplikace radiofarmaka a v době jeho akumulace uložíme pacienta na záda do pohodlné polohy, do tiché a polozatemnělé místnosti (kvůli eliminaci rušivých podnětů z okolí), kde mu intravenózně zavedeme kanylu s infuzí 15 až 20 minut před samotnou aplikací radiofarmaka. Informujeme pacienta, aby se nehýbal, nemluvil a ponechal si zavřené oči a byl v klidu. Po uplynutí cca půl hodiny přijde lékař/ka a do kanyly aplikuje radiofarmakum. Poté leží pacient dále v klidu, obvykle po dvaceti

minutách přechází na vyšetřovnu k zobrazení na gamakameře. Vyšetření lze zahájit za 10 až 60 minut po aplikaci radiofarmaka.

3.2 Příprava radiofarmaka ^{99m}Tc -HMPAO

Radiofarmakum připravuje radiofarmaceut ráno před vyšetřením v laboratoři přímo na oddělení. ^{99m}Tc získá z elučního generátoru a poté na něj v olovené odstíněné digestoři naváže hexa-methyl-propylén-amin-oxim (HMPAO). Po provedení nezbytných testů vyrobené radiofarmakum naplní do sterilní a apyrogenní lahvičky odstíněné oloveným krytem. Radiologický asistent před aplikací připraví radiofarmakum do injekční stříkačky (opět v digestoři), umístí na ni olovené stínění a celou ji vloží do oloveného pouzdra, odkud si ji bere aplikující lékař. Pro vyšetření se používají aktivity okolo 740 MBq.



Obrázek 6 - Lahvička s radiofarmakem v oloveném stínění



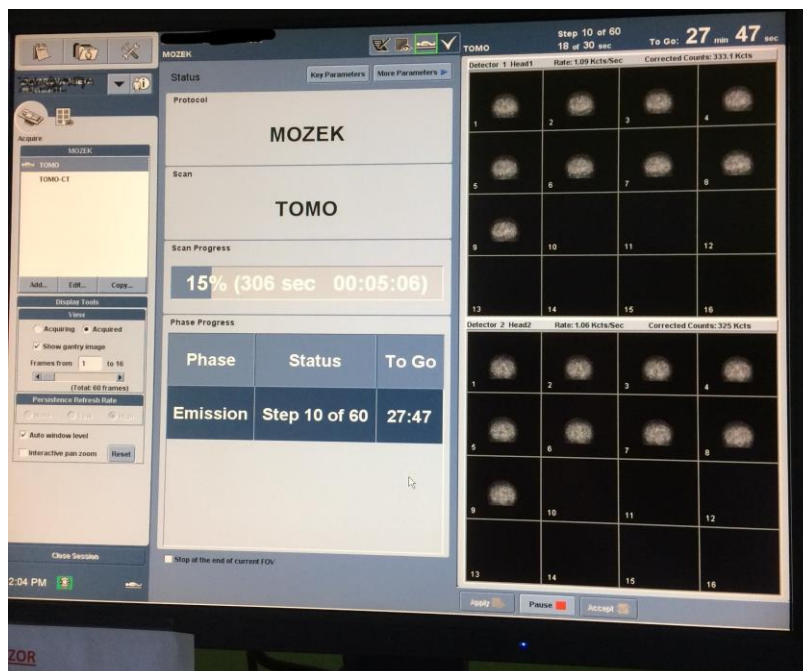
Obrázek 7 - Injekční stříkačka s radiofarmakem v olověném krytu

3.3 Vlastní vyšetření

Před vstupem na vyšetřovnu pošleme pacienta se vymočit. Při vstupu pacienta do vyšetřovny radiologický asistent ověří identifikaci pacienta a zadá jeho jméno, rodné číslo, výšku a váhu do počítače, dále vybere protokol k perfuzní scintigrafii mozku. Poučíme pacienta o významu a průběhu vyšetření. Na rozdíl od většiny ostatních scintigrafických vyšetření není třeba, aby si pacient odložil všechny kovové předměty, neboť zobrazujeme pouze oblast hlavy - význam má pouze sejmутí náušnic a naslouchátek. U žen ve fertilním věku se znovu ptáme na graviditu. Pacienta uložíme na záda pod gamakameru a zafixujeme hlavu ve speciální fixační podložce pro vyšetření mozku. Hlava směřuje do gantry. Detektory s kolimátory přiblížíme k hlavě pacienta co nejbližší tak, aby byla ještě umožněna rotace – ověříme, a spustíme vyšetření. U neklidných a nespolupracujících pacientů můžeme podat sedativa na zklidnění či celkovou anestezii.



Obrázek 8 - Poloha uložení pacienta pod gamakamerou



Obrázek 9 - Obrazovka počítače při vyšetření SPECT mozku

Vyšetření trvá 30 – 40 minut a po skončení pacient může odcházet. Před odchodem ho poučíme o zvýšeném pitném režimu, jelikož se radiofarmakum vylučuje ledvinami, a aby se vyhnul kontaktu s dětmi a těhotnými ženami, protože bude na několik hodin zdrojem záření.

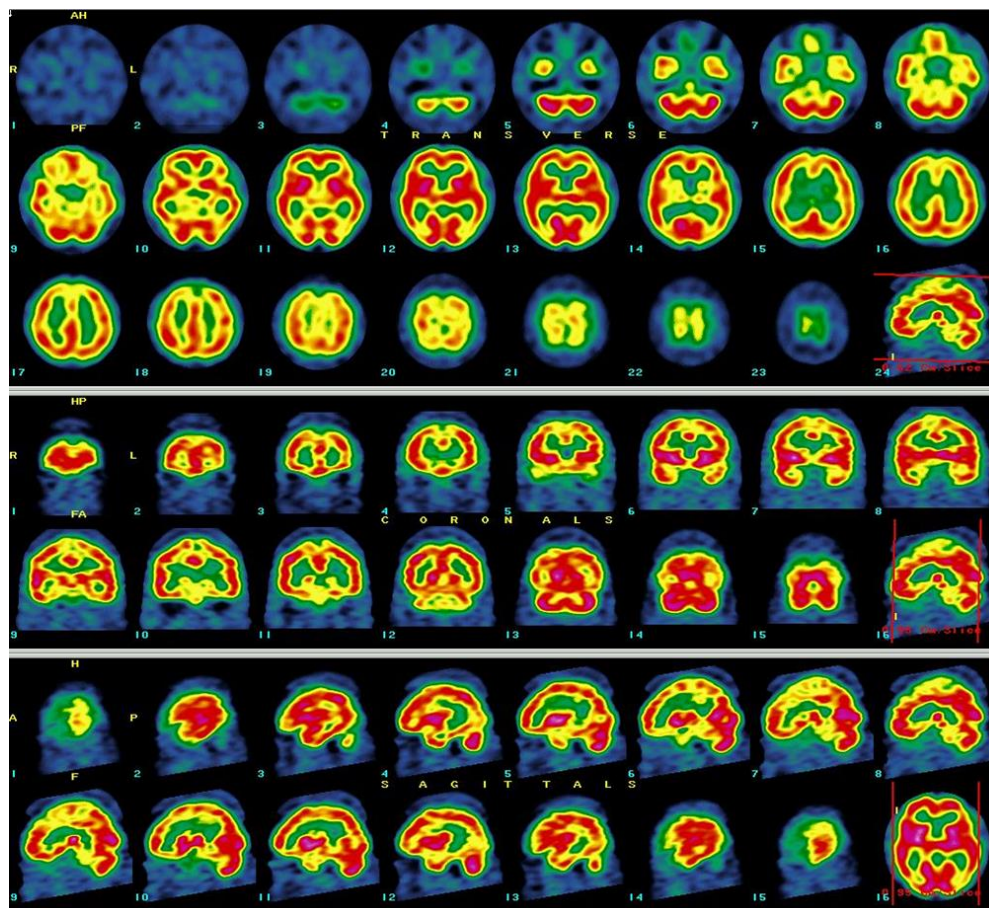
3.4 Zdroje chyb při vyšetření

Při vyšetření může dojít k řadě chyb, na které by měl dávat pozor především radiologický asistent provádějící vyšetření. Jedním možným zdrojem artefaktů jsou kovové předměty, v našem případě náušnice či naslouchátka. Dalším, spíše teoretickým zdrojem artefaktů může být kontaminace pacienta radiofarmakem nebo radioaktivní močí. Častěji je však třeba pamatovat na zhoršenou rozlišovací schopnost v případě, kdy není detektor dostatečně blízko u vyšetřované oblasti. Je proto zásadní vždy usilovat o maximální blízkost detektoru a hlavy pacienta. Nejčastějším faktorem, který degraduje obraz, jsou však pohyby pacienta během dlouhého vyšetření. Edukace pacienta, jeho napolohování a spolupráce s ním je v tomto případě velmi důležitá. Další komplikace může nastat i při paravenózní aplikaci radiofarmaka, to znamená, že se aplikované radiofarmakum dostane mimo krevní oběh tj. nejčastěji do podkoží – v tomto případě je potom v oblasti hlavy příliš malá aktivita a výsledné obrazy s malým počtem impulzů jsou nekvalitní a mohou být i nehodnotitelné. Tuto možnost je třeba včas odhalit před zahájením studie a buď aplikovat více radiofarmaka nebo prodloužit čas snímání.

3.5 Výsledky vyšetření

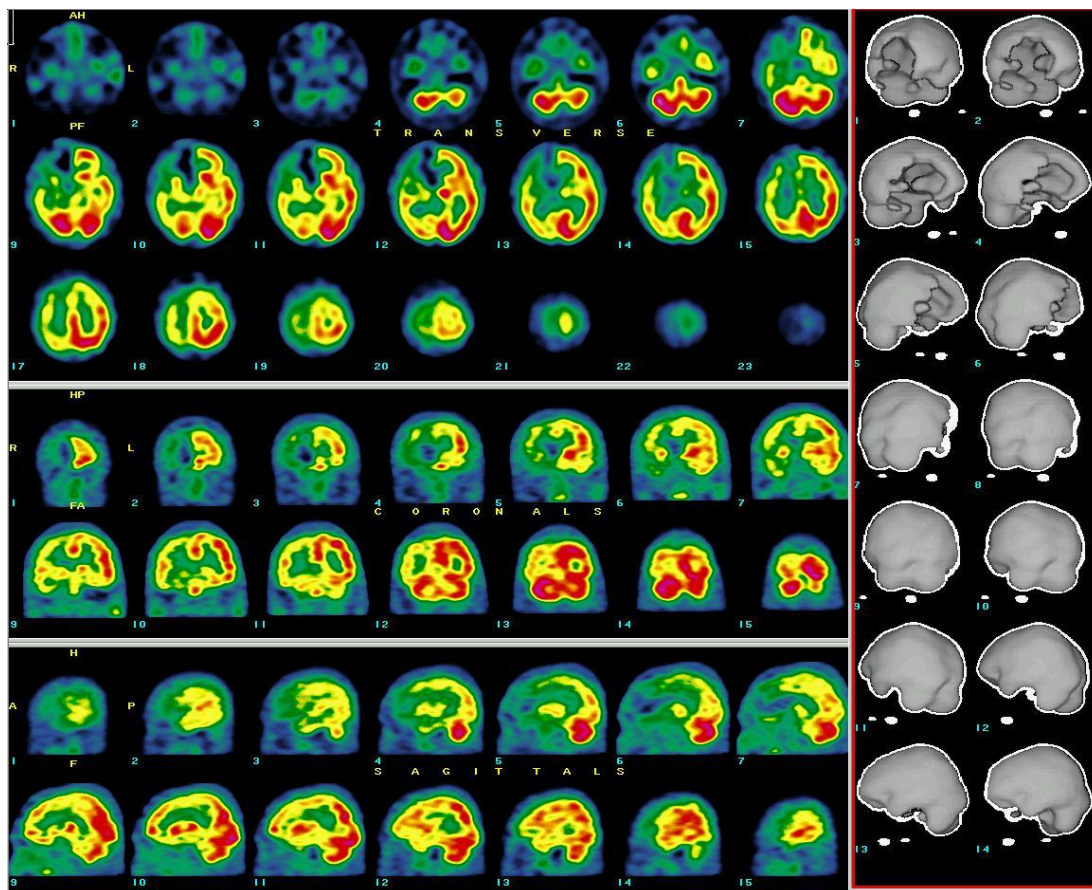
Vyšetření vyhodnocuje lékař jednak vizuálně, jednak ve speciálním semikvantifikačním vyhodnocovacím programu jako je například Neurogram, nebo v případě dvojice studií s využitím statistického parametrického mapování. Komplexní vyhodnocení informací ze scintigrafického vyšetření se provádí při zvážení všech dostupných informací o zdravotním stavu pacienta. Výsledek vyšetření odešle lékař indikujícímu lékaři, který pacienta poslal nebo výsledek nahraje na CD disk, který pacient předá indikujícímu lékaři.

Pro porovnání přikládám výsledný obrázek SPECTu mozku zdravého jedince a jedince s CMP.



Obrázek 10 - Normální nález u zdravého jedince⁶

⁶ DOLEŽAL, Jiří. Radionuklidové zobrazení centrálního nervového systému. Prezentace PowerPoint v rámci projektu Inovace studijních programů a internacionalizace Fakulty zdravotnických studií Univerzity Pardubice [1. 7. 2013 – 30. 6. 2015]. Studijní materiál Fakulty zdravotnických studií Univerzity Pardubice.



Obrázek 11 - CMP, frontální lalok vpravo⁷

⁷ DOLEŽAL, Jiří. Radionuklidové zobrazení centrálního nervového systému. Prezentace PowerPoint v rámci projektu Inovace studijních programů a internacionalizace Fakulty zdravotnických studií Univerzity Pardubice [1. 7. 2013 – 30. 6. 2015]. Studijní materiál Fakulty zdravotnických studií Univerzity Pardubice.

4 DISKUZE

Bakalářská práce nazvaná Úloha radiologického asistenta při radionuklidovém zobrazení mozku pomocí jednofotonové emisní výpočetní tomografie je rozdělena na teoretickou a praktickou část. Část teoretická předkládá informace o nukleární medicíně načerpané z více zdrojů, přičemž jsem se snažila porovnat shodu mezi jednotlivými zdroji. Zjistila jsem, že se autoři různých zdrojů převážně shodují a dostupnost informací je velmi rozšířená. Dostupné informace jsem porovnávala i s mojí absolvovanou praxí na odděleních nukleární medicíny a s radiologickými národními standardy. Postupy práce radiologického asistenta se na různých pracovištích liší minimálně a odpovídají národním radiologickým standardům. Rozdíly mohou být spíše v organizaci a velikosti pracoviště.

Zmínila jsem se také o ionizujícím záření a jeho škodlivých účincích z důvodu radiační ochrany, na kterou musí dbát nejen každý radiologický asistent, ale i každý, kdo se nějakým způsobem dostane do kontaktu s ionizujícím zářením. V nukleární medicíně je to především ochrana vzdáleností od pacienta, jelikož je pacient zdrojem záření z naaplikovaných radionuklidů. V mnohých případech si pacient sám neuvědomí, že je zdrojem záření, a tak často zbytečně může docházet ke zbytečně vyššímu ozáření personálu při blízkém kontaktu s pacientem. Dávky nejsou nijak veliké, ale nesmíme zapomenout, že se zvyšujícím počtem ozáření roste pravděpodobnost vyvolání stochastických účinků, které v práci také popisují. Dávka pro pacienta by měla být vždy tak nízká, jak je rozumně dosažitelné, což je jeden z principů radiační ochrany.

Dalším tématem, kterým se v teoretické části zabývám, je anatomie mozku a jeho krevní zásobení, neboť toto jsou informace nezbytné pro interpretaci perfuzní scintigrafie mozku. Perfuzní scintigrafie informuje o prokrvení a nepřímo i o funkční aktivitě mozkové tkáně, čímž se liší od klasických radiodiagnostických metod. Nevýhodou je nepřesná informace o morfologii tkáně, vhodné je proto scintigrafické vyšetření doplnit morfologickým zobrazením, pokud je toto dostupné, a nálezy korelovat. Radiologický asistent, který s gamakamerou pracuje, ji musí dobře a svědomitě ovládat, jelikož zodpovídá za správně provedené vyšetření. Většinu vyšetření řídí lékař, ale některá vyšetření může provádět sám radiologický asistent i bez lékaře. Myslím si, že role radiologického asistenta je nezaměnitelná a důležitá.

Při perfuzní scintigrafii mozku můžeme pomoci odhalit některé neurodegenerativní demence jako je Alzheimerova choroba, avšak diagnostická přesnost této metody není

optimální. V České republice je od roku 2015 dostupná nová vyšetřovací metoda, která umožňuje Alzheimerovu chorobu diagnostikovat s vyšší diagnostickou přesností. Jde o zobrazení amyloidových kortikálních plaků v mozku pomocí pozitronové emisní tomografie. Právě tyto plaky usmrcují a poškozují nervové buňky a tak dochází k jejich úbytku a vzniku nejrůznějších typů demencí. Dříve tyto plaky bylo možné detekovat pouze pitvou mozku, ale nyní nukleární medicína udělala významný pokrok – detekce amyloidových plaků je možná u živého jedince.

Nukleárně medicínské služby jsou poskytovány na vysoce specializovaných pracovištích, které jsou přístrojově, personálně i stavebně vybavené a bezpečné pro nakládání s otevřenými radionuklidovými zářiči. Pracoviště jsou pod dohledem Státního úřadu pro jadernou bezpečnost a Státního ústavu pro kontrolu léčiv. Chod pracoviště nukleární medicíny je logisticky náročný a pravděpodobně patří k nejsložitějším ze všech lékařských oborů.

Na závěr bych chtěla říci, že nukleární medicína je rychle se rozvíjející obor a nukleární metody jsou vysoce vyspělé. Mají přínos pro diagnostiku i pro léčbu mnohých onemocnění, a často hrají nezastupitelnou roli.

5 ZÁVĚR

Cílem předložené práce bylo přiblížit obor nukleární medicíny, jeho historii, terminologii, principy a přístrojovou techniku, a dále přiblížit práci radiologického asistenta a zdůraznit význam radiační ochrany.

Dalším cílem bylo popsat radionuklidová vyšetření mozku, jmenovitě scintigrafii mozkové perfuze a scintigrafii dopaminových transportérů – jejich indikace, přípravu pacientů, provedení a hodnocení, s ohledem na význam těchto vyšetření pro pacienty.

Ačkoliv nukleární zobrazovací metody nedosahují takovou kvalitu morfologického zobrazení jako CT či magnetická rezonance, informace, které poskytují, jsou přínosné pro obory jako je neurochirurgie, neurologie či psychiatrie, a dokáží určité patologie zobrazit ještě dříve. Je možné, že se zvyšujícím se průměrným věkem naší populace budou nukleární zobrazovací metody i nadále hojně využívány.

V praktické části bylo mým cílem popsat co nejpřesněji úlohu radiologického asistenta při perfuzní scintigrafii mozku. Radiologický asistent se při SPECT vyšetření uplatní v celém rozsahu od přípravy pacienta až po propuštění a s lékařem tvoří sehraný tým. Při vyšetření musí dbát na radiační ochranu pacienta i personálu. Jako u všech vyšetření s využitím ionizujícího záření je zásadní, aby očekávaný přínos vyšetření byl vždy větší než riziko spojené s ozářením.

Dle mého názoru se mi povedlo stanovené cíle splnit. Doufám, že jsem dostatečně popsala danou problematiku. Díky vypracování mé bakalářské práce jsem si rozšířila a ucelila informace a poznatky v oboru nukleární medicíny.

6 POUŽITÁ LITERATURA

BARTOŠ, Aleš, a kolektiv. Demence v obrazech SPECT vyšetření mozku. *Praktický lékař*. Praha: Česká lékařská společnost J. E. Purkyně. 2000, roč. 80, č. 11, s. 610-613. ISSN 0032-6739.

EHLER, Edvard, 2009. *Neurologie*. Pardubice: Univerzita Pardubice. ISBN 978-80-7395-158-0.

HUŠÁK, Václav, Jaroslav PTÁČEK, Ivo PŘIDAL a Miroslav HEŘMAN, 2009. *Radiační ochrana pro radiologické asistenty*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-2350-0.

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

KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK, 2012. *Radiofarmaka*. Ostrava: Lékařská fakulta, Ostravská univerzita v Ostravě. ISBN 978-80-7464-183-1.

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL, 2007. *Nukleární medicína*. Příbram: P3K. ISBN 978-80-903584-9-2.

ONDŘEJ, Vladan, 2013. *Základy radiobiologie*. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci. ISBN 978-80-244-3426-1.

OREL, Miroslav a Roman PROCHÁZKA, 2017. *Vyšetření a výzkum mozku*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-5539-7.

SEIDL, Zdeněk, Andrea BURGETOVÁ, Eva HOFFMANNOVÁ, Martin MAŠEK, Manuela VANĚČKOVÁ a Tomáš VITÁK, 2012. *Radiologie pro studium i praxi*. Praha: Grada Publishing. ISBN 978-80-247-4108-6.

ULLMANN, Vojtěch, 2005. Radioisotopová scintigrafie. *AstroNuklFyzika* [online]. Ostrava [cit. 2019-04-08]. Dostupné z: <http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm>

Věstník č. 9/ 2011. *Ministerstvo zdravotnictví ČR* [online]. Praha : MZČR, © 2011 [cit. 20.04.2019]. Dostupné z: http://www.mzcr.cz/Legislativa/dokumenty/vestnik-c9/2011_5340_2162_11.html

Zákon č. 422/2016 Sb. Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © [cit. 20.04.2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-422>

Zákon č. 96/2004 Sb. Zákon o podmínkách získávání a uznávání způsobilosti k výkonu nelékařských zdravotnických povolání a k výkonu činnosti souvisejících s poskytováním zdravotní péče a o změně některých souvisejících zákonů (zákon o nelékařských zdravotnických povoláních). *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © [cit. 20.04.2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-96>

Zákon č. 55/2011 Sb. Vyhláška o činnostech zdravotnických pracovníků a jiných odborných pracovníků. *Zákony pro lidi - Sbírka zákonů ČR v aktuálním konsolidovaném znění* [online]. Copyright © [cit. 20.04.2019]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2011-55>

7 PŘÍLOHY

Příloha A - <i>Klidová místnost pro uložení pacienta</i>	53
Příloha B - <i>Vyšetřovna s gamakamerou</i>	54
Příloha C - <i>Digestoř pro přípravu radiofarmak</i>	55
Příloha D - <i>Kolimátory v pojízdném stojanu</i>	56
Příloha E – <i>SPECT mozku – epileptogenní fokus v iktálním stadiu, ložisko hyperperfúze v pravém temporálním laloku</i>	57
Příloha F - <i>Informovaný souhlas</i>	58

Příloha A - *Klidová místnost pro uložení pacienta*



Příloha B - Vyšetřovna s gamakamerou



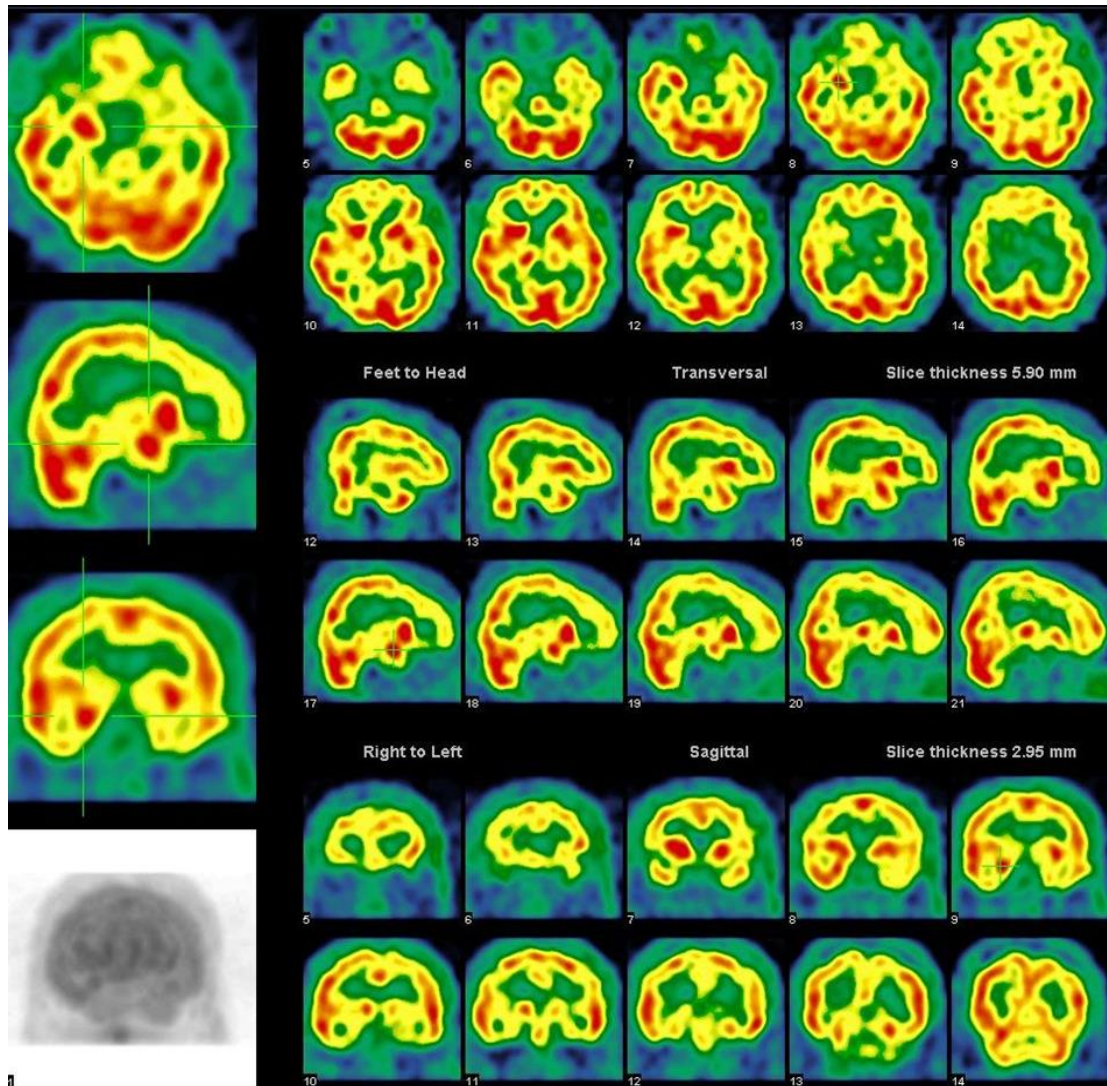
Příloha C - Digestoř pro přípravu radiofarmak



Příloha D - *Kolimátory v pojízdném stojanu*



Příloha E – SPECT mozku – epileptogenní fokus v iktálním stadiu, ložisko hyperperfúze v pravém temporálním laloku⁸



⁸ DOLEŽAL, Jiří. Radionuklidové zobrazení centrálního nervového systému. Prezentace PowerPoint v rámci projektu Inovace studijních programů a internacionalizace Fakulty zdravotnických studií Univerzity Pardubice [1. 7. 2013 – 30. 6. 2015]. Studijní materiál Fakulty zdravotnických studií Univerzity Pardubice.



Fakultní nemocnice, Sokolská 581, 500 05 Hradec Králové - Nový Hradec Králové
Tel.: 495 831 111 IČO: 00179906
Oddělení nukleární medicíny - 6681
Tel.: 495 832 337

**Souhlas pacienta/tky – zákonného zástupce
s aplikací radiofarmaka a následným vyšetřením na gamakameře**

Pacient/ka:
příjmení jméno titul

Rodné číslo: **Pojišťovna:**

Zákonný zástupce:
(otec, matka) příjmení jméno titul

Doprovod hospitalizovaného v jiném zdravotnickém zařízení:

.....
příjmení jméno titul pracovní zařazení
(zdravotní sestra, zřízenec)

Plánovaný výkon: **Scintigrafická perfuze mozku**

Radiofarmakum: ^{99m}Tc - HMPAO

Vážená paní, vážený pane,

na základě Vašeho zdravotního stavu doporučil Váš ošetřující lékař scintigrafické vyšetření na našem oddělení. Vyšetření se provádí na gamakameře po předchozí aplikaci radiofarmaka (léku označeného radioaktivním izotopem), obvykle nitrožilní. Zobrazení záchytu radiofarmaka umožňuje posoudit stav orgánů, přítomnost patologických ložisek apod.. Dle potřeby je scintigrafie doplněna nízkodávkovým CT. Interval mezi aplikací a vyšetřením závisí na typu výkonu. Vyšetření způsobuje nevelkou radiační zátěž organismu.

Nežádoucí vedlejší účinky (alergické reakce) se po aplikaci radiofarmak vyskytují zcela ojediněle. Pokud by se objevily po odchodu z našeho oddělení, obraťte se na svého ošetřujícího lékaře nebo pohotovost v místě bydliště, event. na Oddělení urgentní medicíny FN HK (495834120 nebo 495834130).

Před vyšetřením sdělte případné alergie v minulosti, u žen v reprodukčním věku těhotenství, podezření na těhotenství, kojení.

V den vyšetření je doporučen zvýšený příjem tekutin. Po vyšetření není nutné omezení obvyklého způsobu života, nedochází ke změně pracovní způsobilosti, není třeba měnit Váš léčebný režim. Po celý den vyšetření, je třeba omezit kontakt s malými dětmi a těhotnými ženami.

Podrobnější dotazy Vám ochotně zodpoví lékař aplikující radiofarmakum nebo jiný lékař oddělení.

Byl/a jsem srozumitelně seznámen/a s průběhem vyšetření. Byly mi zodpovězeny všechny mé otázky, a to srozumitelně, včetně všech rizik či komplikací.

Prohlašuji, že jsem lékařům nezamlčel/a žádné údaje o svém zdravotním stavu (včetně alergií), mně známé, které by mohly nepříznivě ovlivnit průběh vyšetření. Současně prohlašuji, že v případě výskytu neočekávaných komplikací, vyžadujících neodkladné provedení dalších zákroků nutných k záchraně mého života nebo zdraví souhlasím s tím, aby byly provedeny veškeré další potřebné a neodkladné výkony nutné k záchraně mého života nebo zdraví.

Souhlasím s plánovaným vyšetřením dne: v hodin

Podpis:

Kanyla i.v. zavedena

Kanyla i.v. ex

Aplikace radiofarmaka

Čas:

Způsob: i.v. s.c. jiný:

Místo: kubitální žíla vpravo vlevo

 předloktí vpravo vlevo

 dorsum ruky vpravo vlevo

 dorsum nohy vpravo vlevo

 jiné

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: