

UNIVERZITA PARDUBICE
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2021

Kristýna Bekrová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií

SPECT zobrazení presynaptických dopaminových transportérů v mozku u
pacientů s m. Parkinson - úloha radiologického asistenta

Kristýna Bekrová

Univerzita Pardubice
Fakulta zdravotnických studií
Akademický rok: 2018/2019

ZADÁNÍ BAKALÁŘSKÉ PRÁCE

(projektu, uměleckého díla, uměleckého výkonu)

Jméno a příjmení: **Kristýna Bekrová**
Osobní číslo: **Z18399**
Studijní program: **B5345 Specializace ve zdravotnictví**
Studijní obor: **Radiologický asistent**
Téma práce: **SPECT zobrazení presynaptických dopaminových transportérů v mozku u pacientů s m. Parkinson – úloha radiologického asistenta**
Zadávající 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:

BHATIA, Kailash P., K. Ray CHAUDHURI a Maria STAMELOU. *International Review of Neurobiology: Parkinson's Disease*. Svazek 132. Elsevier, 2017, 523 s. ISBN 978-0-12-809714-4.
BENNETT, Paige a Umesh D. OZA. *Diagnostic Imaging Nuclear Medicine*. 2. Filadelfie: Elsevier, 2016, 592 s. ISBN 978-0-323-37753-9.
ČIHÁK, Radomír. *Anatomie 3*. Praha: Grada, 1997, 655 s. ISBN 80-7169-140-2.
KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL. *Nukleární medicína: [učební text]*. Praha: P3K, 2007, 185 s. ISBN 978-80-903584-9-2.
VOLTERRANI, Duccio, Paola Anna ERBA, Ignasi CARRIÓ, H. William STRAUSS a Giuliano MARIAN. *Nuclear Medicine Textbook: Methodology and Clinical Applications*. Cham: Springer, 2019, 1331 s. ISBN 978-3-319-95563-6.

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

Datum zadání bakalářské práce: **2. prosince 2018**
Termín odevzdání bakalářské práce: **29. dubna 2021**

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

L.S.

Mgr. Jan Pospíchal, Ph.D. v.r.
vedoucí katedry

V Pardubicích dne 8. března 2021

PROHLÁŠENÍ AUTORA

Prohlašuji:

Práci s názvem SPECT zobrazení presynaptických dopaminových transportérů v mozku u pacientů s m. Parkinson - úloha radiologického asistenta 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 26. 4. 2021

Kristýna Bekrová v. r.

PODĚKOVÁNÍ

Na tomto místě bych chtěla poděkovat panu doc. MUDr. Jiřímu Doležalovi Ph.D. za odborné a trpělivé vedení práce a poskytnutí velmi cenných rad při jejím zpracování. Ráda bych také poděkovala pani Bc. Simoně Uhrinové za její čas, vstřícnost a pomoc, při vytváření praktické části této bakalářské práce.

ANOTACE

Bakalářská práce se zabývá scintigrafickým zobrazením presynaptických dopaminových transportérů v mozku u pacientů s Parkinsonovou chorobou. Jedním z hlavních záměrů práce je shrnutí základních informací a zároveň také zvýšení povědomí lidí o této nemoci. Dalším neméně důležitým cílem je vyzdvihnutí přínosu nukleární medicíny v oblasti diagnostiky Parkinsonovy choroby a objasnění práce radiologického asistenta v již zmíněném oboru nukleární medicíny.

KLÍČOVÁ SLOVA

Parkinsonova choroba, nukleární medicína, SPECT, radiologický asistent.

TITLE

SPECT imaging of presynaptic dopamine transporters in the brain of patients with Parkinson's disease - the role of a radiological assistant.

ANNOTATION

The bachelor thesis deals with scintigraphic imaging of presynaptic dopamine transporters in the brain of patients with Parkinson's disease. One of the main intentions of the thesis is to summarize basic information and at the same time increase people's awareness of this disease. Another, no less important goal is to emphasize the contribution of nuclear medicine in the field of diagnosis of Parkinson's disease and to clarify the work of a radiological assistant in the already changed field of nuclear medicine.

KEYWORDS

Parkinson's disease, nuclear medicine, SPECT, radiological assistant.

OBSAH

Úvod.....	10
1 Cíl práce.....	11
1 Teoretická část.....	12
1.1 Mozek.....	12
1.1.1 Anatomie a fyziologie.....	12
1.1.2 Dopaminergní mediátorový systém.....	14
1.2 Parkinsonova choroba.....	15
1.2.1 Definice.....	15
1.2.2 Historie.....	16
1.2.3 Klinický obraz.....	16
1.2.4 Diagnostika.....	19
1.2.5 Léčba.....	20
1.3 Nukleární medicína.....	22
1.3.1 Základní fyzikální pojmy.....	23
1.3.2 Scintigrafie.....	25
1.3.3 Jednofotonová emisní výpočetní tomografie (SPECT).....	26
1.4 Radiofarmaka.....	29
1.4.1 Výroba radionuklidů.....	30
1.4.2 Výroba radiofarmak a kontrola jejich kvality.....	32
1.5 Radiologický asistent.....	33
1.5.1 Historie oboru.....	33
1.6 Radiační ochrana.....	34
1.6.1 Limity.....	34
1.6.2 Kategorizace pracoviště a radiačních pracovníků.....	35
1.6.3 Sledované a kontrolované pásmo.....	36
1.6.4 Program monitorování.....	37

1.6.5	Radiační ochrana pacientů a personálu na oddělení nukleární medicíny	38
2	Praktická část	40
2.1	DaTSCAN (¹²³ I-joflupan)	40
2.2	Příprava a edukace pacienta	41
2.2.1	Příprava a edukace pacienta.....	41
2.2.2	Zajištění žilního vstupu.....	42
2.2.3	Aplikace radiofarmaka.....	42
2.2.4	Likvidace odpadu.....	44
2.3	Průběh scintigrafického vyšetření	44
2.4	Výsledek vyšetření	46
2.5	Nejčastější chyby při vyšetření	47
2.6	Úloha radiologického pacienta na oddělení nukleární medicíny	48
3	Diskuze	49
4	Závěr	53
5	Seznam zdrojů.....	54
5.1	Použitá literatura	54
5.2	Elektronické zdroje	54
5.3	Zdroje obrázků	60
6	Přílohy.....	61

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1. Bazální ganglia, frontální řez (vlevo) a axiální řez (vpravo) (Nieuwenhuys, Voogd a Huijzen, 2008, s. 145 a 170 – upraveno).....	15
Obrázek 2. Konverze L-tyrosinu na dopamin (Maďa a Fontana, nedatováno)	16
Obrázek 3. Schéma cyklotronu (Vajdák, 2017).....	32
Obrázek 4. Křeslo pro aplikaci (vlastní zdroj).....	44
Obrázek 5. Pomůcky pro zavedení kanyly (vlastní zdroj).....	44
Obrázek 6. Lůžko pro pacienta (vlastní zdroj).....	45
Obrázek 7. Radiofarmakum uložené v ochranném krytu (vlastní zdroj).....	45
Obrázek 8. Stříkačka s radiofarmakem v ochranném krytu (vlastní zdroj)	46
Obrázek 9. Nastavení protokolu v počítači (vlastní zdroj)	47
Obrázek 10. Gamakamera s přichystaným držákem na hlavu (vlastní zdroj)	48
Obrázek 11. Gumové pomůcky (vlastní zdroj).....	48

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1. Hodnoty limitů ozáření (vyhláška č.422/2016 Sb.)	37
---	----

SEZNAM ZKRATEK A ZNAČEK

ATP	adenosintrifosfát
CBD	kortikobazální degenerace
CNS	centrální nervová soustava
COMT	katechol- <i>O</i> - methyltransferáza
CT	výpočetní tomografie
DAT	dopaminový aktivní transportér
DBS	hluboká mozková stimulace
DDI	inhibitor dopa dekarboxylázy
EANM	Evropská asociace nukleární medicíny
HEAP/HEGP	univerzální kolimátor pro vysoké energie
ISRRT	Mezinárodní společnost rentgenologů a radiologických technologií
keV	kilo elektronvolty
LEAP/LEGP	univerzální nízkoenergetický kolimátor
LEHR	nízkoenergetický kolimátor s vysokým rozlišením
LRRK 2	opakovací kináza 2 bohatá na leucin
MAO	monoaminoxidáza
MEAP/MEGP	univerzální kolimátor pro střední energie
MRI	magnetická rezonance
MSA	vícenásobná systémová atrofie
NRS ČR	Národní radiologické standardy České republiky
PCH	Parkinsonova choroba
PET	pozitronová emisní tomografie
PSP	progresivní supranukleární paralýza

RLS	syndrom neklidných nohou
SNCA	α -synuklein
SNMMI	Společnost nukleární medicíny a molekulárního zobrazování
SPECT	jednofotonová emisní výpočetní tomografie
SRLA ČR	Společnost radiologických asistentů České republiky
UKPDSBB	Všeobecně přijímaná diagnostická kritéria britské mozkové banky Parkinsonovi choroby
USG	ultrasonografie
WHO	Světová zdravotnická organizace

ÚVOD

Parkinsonova choroba je závažné neurodegenerativní onemocnění postihující centrální nervový systém pacienta, u něhož se tato nemoc může objevit kdykoli v průběhu jeho života. Princip onemocnění spočívá v úbytku specifických nervových buněk, jež mají za úkol produkovat dopamin, neurotransmitter, který umožňuje neuronům v určité části nervové soustavy přenos nervového signálu mezi sebou. Tyto jedinečné buňky se nachází v mozku, především pak v oblasti bazálních ganglií, která jsou jednou z důležitých struktur podílející se na modulaci motoriky. Výsledkem ztráty, nebo pouhého nedostatku dopaminu je porucha motorických funkcí, projevující se nejčastěji třesem, svalovou tuhostí nebo hypokinezi. Tato porucha taktéž vede ke ztrátě schopnosti jedince ovládat, ale také svévolně kontrolovat své pohyby, což významně snižuje životní komfort pacienta a jeho soužití ve společnosti. Bohužel doposud není známa žádná jednoznačná příčina této choroby, a proto není ani možné podnikat žádné zásadní preventivní kroky. Jediným východiskem tak zatím zůstává včasná diagnostika tohoto onemocnění, čím dříve je totiž nemoc diagnostikována, tím více možností vhodné léčby má pacient k dispozici.

Existuje mnoho různých způsobů, kterými lze Parkinsonovu chorobu diagnostikovat a nejčastěji se pro získání přesnějších výsledků využívá kombinace hned několik metod najednou. K diagnóze lze tak tedy kromě zjištění klinického obrazu pomocí diagnostických kritérií využít například i diagnostické testy, nebo prakticky skoro celou škálu radiologických zobrazovacích metod. Své speciální místo zde zastává i obor nukleární medicíny, jejíž metody, především jednofotonová emisní výpočetní tomografie, mají nezastupitelný význam v diferenciální diagnostice. Parkinsonova choroba je sice jednou z nejčastějších příčin parkinsonismu, nicméně není příčinou jedinou a v rámci správné diagnózy a následné léčby je kritické jednotlivá onemocnění s podobnými příznaky od sebe odlišit.

1 CÍL PRÁCE

Účelem bakalářské práce je shrnout základní, dosud známé informace o Parkinsonově chorobě a ucelit je do srozumitelného a přehledného textu. Dalším cílem práce je podtrhnout přínos využití metod nukleární medicíny v diagnostice tohoto onemocnění a zároveň přiblížení práce radiologického asistenta na oddělení nukleární medicíny.

1 TEORETICKÁ ČÁST

1.1 Mozek

Mozek tvoří společně s míchou centrální nervovou soustavu a je uložen v lebce, která jej chrání. Pomocí velmi složitých procesů slouží jako organizační a řídicí centrum organismu.

1.1.1 Anatomie a fyziologie

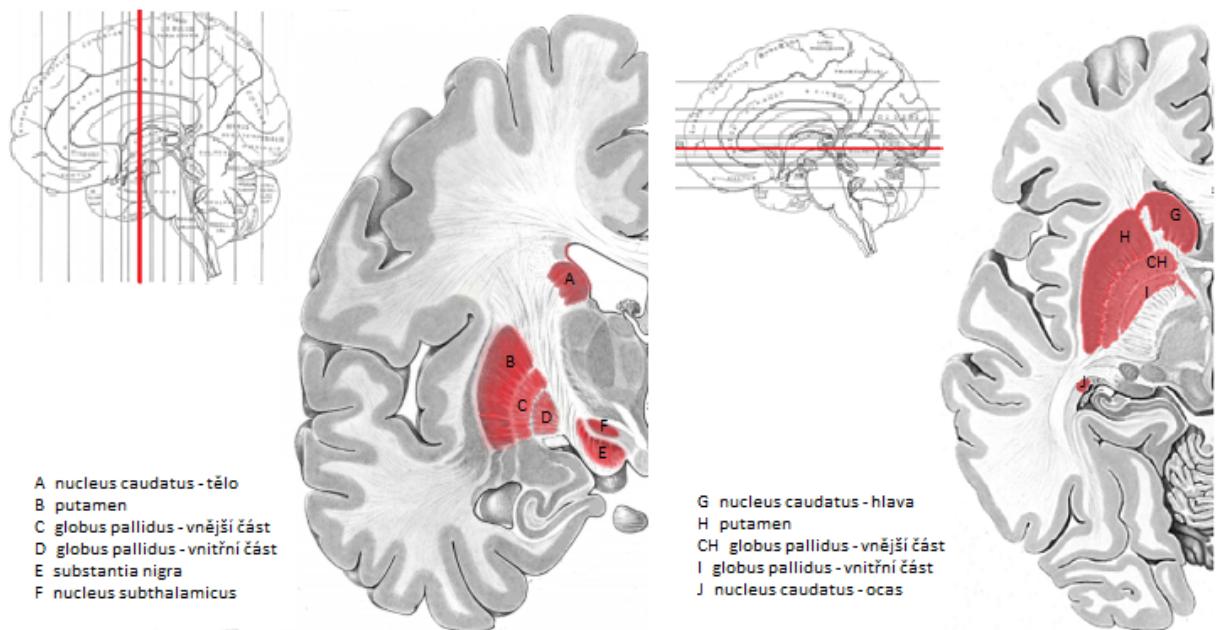
Základní stavební a funkční jednotkou nervové soustavy, tedy i mozku, je neuron. Neuron je tvořen tělem a dvěma druhy výběžků, axonem a dendrity. Spolu tyto buňky vytváří trojrozměrnou síť, kde ale každá jednotlivá buňka přenáší vzruchy samostatně, a to díky nervovým spojením – synapsím. Mozek je kromě neuronů tvořen také soustavou dalších podpůrných buněk zvané neuroglie (Čihák, 1997, s. 206 – 212).

Mozek je rozlišen na bílou hmotu, uloženou uvnitř a tvořenou převážně axony, a vně situovanou šedou hmotu, tvořenou těly neuronů. Šedá hmota taktéž na povrchu mozku vytváří mozkové zářezy a zářivy. Uvnitř mozkové hmoty se nachází komorový systém vyplněný mozkomíšním mokem, který přechází v centrální míšní kanál, procházející míchou (Čihák, 1997, s. 222 – 227).

Mezi základní mozkové struktury patří mozkový kmen, představující spojení mozku s míchou, složený z prodloužené míchy, Varolova mostu a středního mozku. Dále mozeček, který se nachází v zadní jámě lebeční a je centrem motoriky. Mezimozek, propojující mozkový kmen a koncový mozek a nakonec koncový mozek, vývojově nejmladší, přesto největší část mozku (Čihák, 1997, s. 222 – 227).

1.1.1.1 Bazální ganglia

Bazální ganglia jsou tvořena jádry, která vznikají shluknutím skupin funkčně příbuzných neuronů. Jsou uložena hluboko v hemisférách a hlavními strukturami jsou nucleus caudatus, putamen (nucleus caudatus a putamen spolu vytváří neostriatum) a vnější a vnitřní část globus pallidus. Dále se k bazálním gangliím řadí část středního mozku – substantia nigra a nucleus subthalamicus, která mají s bazálními ganglii aferentní a eferentní spojení pomocí dopaminergeních drah (Nicholls, 2013, s. 473 – 475).



Obrázek 1. Bazální ganglia, frontální řez (vlevo) a axiální řez (vpravo) (Nieuwenhuys, Voogd a Huijzen, 2008, s. 145 a 170 – upraveno)

Celá tato část mozku, včetně struktur ve středním mozku, má velmi důležitou roli při řízení motoriky, podílejí se i na řízení kognitivních funkcích a funkcích limbického systému. Informace získávají bazální ganglia ze široce rozvětvených vstupů z mozkové kůry a jejich hlavní výstupy vedou do jádra thalamu, kde se překrývají se vstupy z mozečku. Díky tomu bazální ganglia poskytují zpětnou vazbu mozkové kůře a podílejí se tak na modulaci motorického výstupu. Bazální ganglia mají nejen tlumivý efekt na motoriku, umožňují zahájení volního pohybu a regulují svalový tonus, ale také mají na starost motorickou paměť a s ní pohybové automatismy (Nicholls, 2013, s. 473 – 475).

1.1.1.2 Synapse

Synapse je druh jednosměrného kontaktu buněk, probíhající vždy z axonu na další neuron. Místo synapse se skládá z několika částí, začíná rozšířeným koncem axonu, zvaným terminální buton. Povrch terminálního butonu se označuje jako presynaptická membrána a obsahuje jednak neurotubuly, neurofilamenta a velké množství mitochondrií, ale také synaptické váčky, jejichž stavba se liší podle mediátoru, který obsahují. Uvolňování obsahu synaptických váček do štěrbin se uskutečňuje v tzv. aktivní zóně. Postsynaptická membrána je na povrchu dendritu neuronu přijímajícího signál a obsahuje receptory pro mediátor. Mezi presynaptickou a postsynaptickou membránou se vyskytuje synaptická štěrbina, široká v řádech nanometrů (Čihák, 1997, s. 212 – 217).

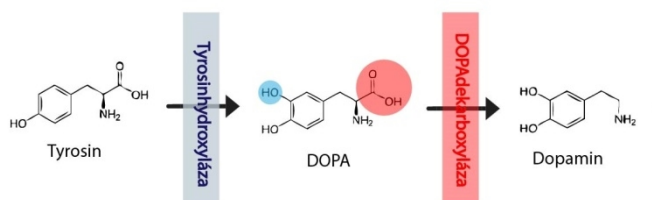
Podle mechanismu působení jsou známy dva druhy synapsí, chemická a elektrická. Chemická synapse převažuje nad elektrickou a funguje na principu uvolnění látky, zvané mediátor, do synaptické štěrby, což umožňuje vznik postsynaptického potenciálu a posun vzruchu na další neuron (Čihák, 1997, s. 212 – 217).

Mediátory (neurotransmitery) jsou látky umožňující chemický přenos nervového vzruchu, patří mezi ně některé peptidy (beta-endorfin, leu-enkefalin), acetylcholin, aminokyseliny (glutamát, aspartát) a jejich deriváty, jako například GABA, dopamin a jiné katecholaminy. Podle druhů mediátorů lze v CNS rozlišovat různé mediátorové systémy, jakožto chemické dráhy, jež napomáhají stimulovat činnost nervové soustavy. Mezi takové systémy patří například systém cholinergní, dopaminergní, glutamátový, histaminergní a serotoninergní (Čihák, 1997, s. 212 – 217).

1.1.2 Dopaminergní mediátorový systém

Buňky dopaminergního systému se nacházejí především ve středním mozku, přesněji v části substantia nigra, pars compacta. Výběžky těchto neuronů jsou spojeny s bazálními ganglii, podílejících se na regulaci motoriky. Další centrum neuronů produkujících dopamin je v hypotalamu. Mediátorem v dopaminergním systému je dopamin (Factor a Weiner, 2008, s. 245 – 251).

Dopamin, jenž se spolu s adrenalinem a noradrenalinem řadí mezi katecholaminy, má důležitou roli v řízení pohybu a jiných motorických funkcí, při iniciaci vzorců chování a při modulaci aktivity kognitivních funkcí. Katecholaminy obecně jsou odvozeny od aromatické aminokyseliny L-tyrosinu. Konverze L-tyrosinu na dopamin probíhá ve dvou krocích. Základem je hydroxylace L-tyrosinu, kdy dochází k přeměně na L-dihydroxyfenylalanin (L – dopa), ta následně dekarboxyluje na biogenní amin 3,4-dihydroxyfenylethylamin – dopamin (Maďa a Fontana, nedatováno).



Obrázek 2. Konverze L-tyrosinu na dopamin (Maďa a Fontana, nedatováno)

Dosud je známo pět dopaminových receptorů, značených D1 až D5, spojených s G proteinem. Receptory D1 a D5 aktivitu zvyšují, naopak D2, D3 a D4 aktivitu snižují. Jednotlivé struktury CNS se liší právě podle typu přítomných receptorů (Nicholls, 2013, s. 285 – 286).

Dopaminové transportéry (DAT) jsou proteiny obsahující 12 transmembránových segmentů a jsou členy SLC6 transportérů závislých na prostupu Na^+/Cl^- skrze membránu. Transportéry ukončují dopaminergní neurotransmisi aktivním čerpáním extracelulárního dopaminu zpět do synaptických váček v presynaptickém nervu. Dopamin je tedy transportován ze synaptické štěrby, co by místa s nízkou koncentrací, do presynaptické části neuronu s vysokou koncentrací, což je vysoce energeticky náročný proces. Místo využívání ATP produkované mitochondriemi, využívá DAT sekundární aktivní proces, čímž je kotransport jednoho Cl^- iontu a dvou Na^+ iontů, tento děj poskytuje potřebnou energii pro zpětný transport dopaminu (Factor a Weiner, 2008, s. 230 - 233).

Existuje několik dopaminergních drah, které se dělí do tří hlavních systémů, jimiž jsou ultrakrátké systémy, systémy střední délky a dlouhé systémy, kam patří například nigrostriální dopaminergní systém (spojení mezi substantia nigra a bazálními ganglii), nebo také dráhy ovlivňující limbický systém – mezokortikální a mezolimbické dráhy (Factor a Weiner, 2008, s. 228 – 229).

1.2 Parkinsonova choroba

1.2.1 Definice

Parkinsonova choroba (PCH) je chronické progresivní neurodegenerativní onemocnění ze skupiny synukleinopatií. V průběhu nemoci dochází k úbytku nervových buněk (neuronů) a to především v oblasti substantia nigra, jež jsou součástí bazálních ganglií, důsledkem je nedostatek neurotransmiteru dopaminu, který tyto buňky produkují a jenž zajišťuje komunikaci mezi neurony. Výsledkem je charakteristická porucha hybnosti, kdy jedinec není schopen ovládat a kontrolovat svoje pohyby (Parkinson's Foundation, 2018).

Parkinsonismus je obecný termín, který se vyvinul v průběhu času a odkazuje na konstelaci příznaků v klinickém obrazu. Nejčastější příčinou parkinsonismu je právě PCH. Parkinsonismus může být ale příznakem řady jiných poruch, jako je demence s Lewyho tělísky, vícenásobná systémová atrofie (MSA) nebo kortikobazální degenerace (CBD) (Rusina a Matěj, 2014).

1.2.2 Historie

Parkinsonova choroba, jako taková, existuje už od starověku, avšak uceleně byla popsána až Jamesem Parkinsonem v publikaci „Esej o třaslavé obrně“ z roku 1817, a to na základě pouhých šesti případů. Esej měla 66 stran a byla rozdělena do pěti kapitol, které zahrnovaly definici a historii, zkoumané příznaky, odlišnost PCH od jiných nemocí, ilustrativní případy a úvahy respektující způsoby léčby. Na práci J. Parkinsona navázal francouzský neurolog Jean-Martin Charcot, jenž nemoc více specifikoval a dal jí název Parkinsonova choroba (Factor a Weiner, 2008, s. 3 - 13).

Přibližně o sto let později neurolog Friedrich H. Lewy objevil v mozku eozinofilní globoidní tělíska, jakožto jeden patologický marker neurodegenerativních synukleinopatií. V polovině 20. století byla švédským neurobiologem a biochemikem A. Carlssonem objevena funkce dopaminu a na tomto podkladě také prokázána souvislost jeho nedostatku s PCH. Dále v 60. letech 20. století bylo zjištěno, že L-DOPA (prekurzor dopaminu) má dramatický a trvalý účinek na příznaky pacientů těžce postižených PCH (Bhatia, Chaudhuri a Stamelou, 2017, s. 17). V téže době byly v laboratořích zkoumány dvě látky, benserazid a carbidopa, které velice dobře potlačují nežádoucích účinky L-DOPA a jejich kombinace s L-DOPA se ukázala jako velice účinná při léčbě příznaků PCH (Rusina a Matěj, 2014)

I v současnosti stále probíhají výzkumy a studie zkoumající toto onemocnění a hledající nové způsoby léčby a možnosti prevence vzniku PCH. (Rusina a Matěj, 2014)

1.2.3 Klinický obraz

Typické pro PCH je pomalá progrese, která se pohybuje v řádu měsíců až let. Před manifestací pohybových problémů se mohou objevit jiné nemotorické nespecifické příznaky. Postižení pohybového aparátu se objevuje asymetricky na jedné horní nebo dolní končetině, šíří se nejprve jednostranně až postupně omezují běžný život pacienta (Bhatia, Chaudhuri a Stamelou, 2017, s. 25 – 31).

Časnou PCH lze rozdělit do třech stádií a to na preklinické, prodromální a klinické. Preklinické stádium zahrnuje období, kdy v mozku už začala neurodegenerace, ale ještě se neprojeví žádné příznaky. Prodromální stádium je na pomezí preklinické a klinické - začínají se objevovat první příznaky, ale není to v takové míře, aby se to řadilo do klinického onemocnění. Poslední klinická fáze nastává, když už jsou přítomny i kardinální příznaky, jako je třes, rigidita, hypokineze nebo posturální instabilita (Bhatia, Chaudhuri a Stamelou, 2017, s. 25 – 31).

1.2.3.1 Časné nespecifické příznaky

Mezi první nespecifické příznaky patří častá únava, ztuhlost kloubů nebo neurčité senzorické poruchy. Pacientovi se může prodlužovat doba potřebná ke zvládnutí každodenních činností. Poruchy spánku jsou na počátku PCH běžné, je to kvůli ztrátě normální svalové atonie během REM spánku a vyššímu výskytu nadměrných pohybů při snění. (Factor a Weiner, 2008, s. 45 – 47).

Přítomnost časné těžké demence není typická pro PCH, nebo spíše společně s motorickým parkinsonismem poukazuje na jinou diagnózu než PCH, avšak jemné abnormality v poznávacích a výkonných funkcích jsou na počátku nemoci běžné. Může nastat také změna v osobnosti, potíže se soustředěním, zpomalené myšlení (bradyfrenie) nebo změny nálady – zejména deprese a úzkost. (Factor a Weiner, 2008, s. 45 – 47).

U pacientů se může na počátku onemocnění objevit syndrom neklidných nohou (RLS) a pocit vnitřního neklidu (neboli syndrom neklidného těla). Podobnost s RLS má syndrom akatázie, znamenající „neschopnost klidně sedět“. RLS dobře reaguje na dopaminergní terapii. (Factor a Weiner, 2008, s. 45 – 47).

Dalším příznakem může být náhle vzniklý chrapot a postupně se ztišující hlas (hypofonie). Může se také objevit zácpa, seboroická dermatitida, může dojít ke snížení čichového vnímání (hyposmie) nebo také dysfunkci močového měchýře (Factor a Weiner, 2008, s. 45 – 47).

1.2.3.2 Motorické příznaky

Mezi základní motorické příznaky PCH patří tremor, svalová rigidita, hypokineze a posturální instabilita (Factor a Weiner, 2008, s. 47 – 49).

Tremor

Třes je nejběžnějším projevem časné PCH, jedná se o rytmický pohyb, dosahující frekvence 3 až 5 Hz. Nástup třesu je asymetrický a nejprve se šíří jednostranně. Na počátku onemocnění je třes často přerušovaný a je znatelný pouze při stresové situaci jako je úzkost, únava a nedostatek spánku. Naopak se třes snižuje s úmyslnou činností, přesto se může znovu objevit při statickém držení těla (jako je natažení ruky) a chybí také během spánku (Factor a Weiner, 2008, s. 47 – 49).

Rigidita

Rigidita – tuhost, znamená zvýšenou odolnost vůči pasivnímu protažení. Rezistence je téměř stejná u agonistických i antagonistických svalů a je obecně stejná v celém rozsahu pohybu. Stejně jako třes je i tuhost na počátku nemoci obvykle asymetrická., běžně se vyskytuje na jednom nebo obou zápěstích a na krku. Spolu s hypokinezí může dokonce vést ke kontrakturám šlach s omezením rozsahu pohybu kloubu. Postupem času je více zjevný sklon držení těla, částečně způsobený silnou rigiditou flexorového svalstva krční a hrudní páteř. Posouzení tuhosti je náročné, a proto zůstává z velké části pouze kvalitativní (Factor a Weiner, 2008, s. 47 – 49).

Hypokineze

Hypokineze, neboli také pohybová chudost, je obvykle nejvíce oslabující složkou onemocnění. Rozšíření hypokineze se nazývá akineze, což je téměř úplná absence volního pohybu. U hypokineze se hodnotí prodloužení doby pohybu, jelikož k pohybu dojde, na rozdíl od akineze, při které nemusí k pohybu dojít, a proto se u ní zjišťuje prodloužení reakční doby. Příkladem hypokineze může být stadická hypometrie, snížená mimika v obličeji a snížená frekvence mrkání, což vede k vysušování očí. Hypokineze je také pravděpodobně příčinou hypofonie (Factor a Weiner, 2008, s. 47 – 49).

Posturální instabilita

Oproti tremoru, rigiditě a hypokinezi není posturální instabilita brána jako kardinální příznak PCH. Významné zhoršení posturálních reflexů je na počátku onemocnění vzácné, většinou se objevuje až několik let od počátku nástupu nemoci, akorát u pacientů s vyšším věkem se objevují v časně fázi. Posturální instabilita zahrnuje také abnormality chůze, jako jsou zpomalení chůze, zkrácení kroku, zakopávání a neschopnost se rychle otočit.

Mechanismy, jež jsou základem pro výše zmíněné poruchy, jsou ale s největší pravděpodobností multifaktoriální a nemusí mít nic společného s PCH – mezi další faktory, způsobující posturální instabilitu se řadí artritida, senzorická neuropatie nebo problémy se zrakem (Factor a Weiner, 2008, s. 47 – 49).

1.2.4 Diagnostika

Základem diagnózy je určení klinického obrazu sledováním přítomnosti jednoho či více ze čtyř základních motorických příznaků a uplatněním diagnostických kritérií. Dříve byla například používána kritéria UKPDSBB (Všeobecně přijímaná diagnostická kritéria britské mozkové banky Parkinsonovi choroby), viz příloha A (Hughes, Daniel, Kilford a Lees, 1992). Tato kritéria jsou dnes už ale zastaralá, a proto bylo potřeba je aktualizovat, zejména zohlednit souvislost ukládání synukleinu s PCH, nebo také vytvořit kritéria pro preklinické a prodromální stádium nemoci. Je důležité vzít v úvahu i různé podtypy onemocnění, které mají podobný klinický obraz jako PCH, ale jedná se o jiná onemocnění (Blanco a Ferro, 2019)

Nynější diagnostická kritéria zahrnují kromě nových poznatků i diagnostické testy, skládající se z podpůrných a vylučovacích kritérií. Mezi podpůrná kritéria patří například test na ověření dopaminergní zpětné vazby, pomocí apomorfinového testu a testu s podáním L – DOPA, kdy pozitivním výsledkem je zlepšení klinického stavu nejméně o 30 %. Dalšími podpůrnými kritérii mohou být klidový třes končetin, abnormální srdeční scintigrafie, nebo také testy pro čichovou ztrátu. Podpůrná kritéria podporují diagnózu PCH, naopak kritéria vylučovací pomáhají při diferenciální diagnostice a hledají jiné příčiny parkinsonismu (Bhatia, Chaudhuri a Stamelou, 2017, s. 55 – 77).

Kromě klinického obrazu se využívají i další pomocné vyšetřovací metody – zobrazovací, laboratorní, genetická a další vyšetření. Ze zobrazovacích metod se často využívá výpočetní tomografie (CT) a magnetická rezonance (MRI), jež zobrazují především změny na anatomické úrovni a mají potenciál spíše v diferenciální diagnostice. Další možností je začlenění vyšetření z řad nukleární medicíny, jako je pozitronová emisní tomografie (PET), nebo jednofotonová emisní výpočetní tomografie (SPECT), která mohou sloužit jako ukazatel úbytku presynaptických dopaminových transportérů, související s onemocněním, ale také umožňují zobrazení postsynaptických receptorů, jež jsou pak primárními cíli při léčbě PCH (Bareš, 2011; Dierckx, Otte, Vries, Waarde a Leenders, 2020).

Zohledněným faktorem v průběhu diagnostiky musí také být fakt, že k degeneraci dopaminergního systému dochází i fyziologicky, jedná se o proces, související s postupujícím věkem. Fyziologická degenerace je mnohem pomalejší a pohybuje se v rozmezí úbytku od 3 do 8 % za desetiletí, naopak patologická degenerace činí úbytek přibližně 8 % za kalendářní rok. Vyšetření SPECT je jednak užitečné pro diferenciální diagnostiku, kdy některá použitá radiofarmaka ukazují nižší záchyt v mozku u pacientů s PCH oproti jiným neurodegenerativním nemocem, ale je také hodnotitelem progresu onemocnění (Dierckx, Otte, Vries, Waarde a Leenders, 2020, s. 682 – 683).

V rámci diferenciální diagnostiky PCH je tedy nutné ji odlišit od dalších chorob, která ji mohou klinicky napodobovat. Mezi obdobná onemocnění se řadí například sekundární parkinsonismus, který může být způsobený léky, toxiny, traumatem, infekcí nebo při nozomotorním hydrocefalu. Dále Parkinson-plus syndromy, kam patří MSA, demence s Lewyho tělísky a progresivní supranukleární paralýza (PSP) (Rusina a Matěj, 2014; Bhatia, Chaudhuri a Stamelou, 2017, s. 99 – 111).

U některých forem PCH se vyskytují i genetické biomarkery. Nejčastěji se jedná o genetickou mutaci α -synukleinu (SNCA), mutaci opakovací kinázy 2 bohaté na leucin (LRRK2) a mutace genu GBA. Při podezření na genetické formy jsou pro diagnostiku klíčové faktory: etnický původ, věk při nástupu nemoci a rodinná anamnéza (Blanco a Ferro, 2019).

1.2.5 Léčba

S prvními pokusy léčby PCH se začalo už v 19. století, kdy byly poprvé objeveny antiparkinsonické účinky některých anticholergik, jedná se tak o nejstarší způsob léčby. V 60. letech minulého století, tuto metodu nahradila léčba s podáním L-DOPA. L-DOPA je prekurzor dopaminu, který je schopen se dostat přes hematoencefalickou bariéru. Přeměna levodopy na dopamin může probíhat čtyřmi způsoby a to dekarboxylací, O-methylací, transaminací a oxidací. Pro rychlejší degradaci a podporu přeměny na dopamin se s L-DOPA vždy aplikuje i specifický inhibitor. Mezi takové inhibitory, které je možné společně s levodopou podávat patří například DDI (inhibitor dopa dekarboxylázy), jako je carbipoda, inhibitor MAO (monoaminoxidáza), podávaný nejčastěji ve formě MAO-B, nebo také katechol- O- methyltransferáza (COMT) (Bhatia, Chaudhuri a Stamelou, 2017, s. 295 – 314; Aldred, Nutt, Kompolti a Metman, 2010).

Přestože se tato léčba stala základem terapie PCH, má několik negativních dopadů na pacienta, z tohoto důvodu bylo vyvinuto několik druhů podpůrné léčby. Jedním ze schválených druhů podpůrné léčby bylo využití amantadinu, který byl původně lékem proti chřipce. Uplatňuje se i léčba apomorfinem (dopaminový antagonist), který podobně jako amantidin zmírňuje dyskinetické účinky L-DOPA (Bhatia, Chaudhuri a Stamelou, 2017, s. 295 – 314).

Léčba antagonisty dopaminu byla původně brána také jako doplňková léčba, později se však stala léčbou první volby, aby se předešlo dlouhodobé terapii L-DOPA a tím se zmírnily motorické komplikace s ní spojené. Antagonisté dopaminu se rozdělují do dvou hlavních skupin, na ergoliny a nonergoliny. Nonergoliny byly vyvinuty později a jejich hlavní výhodou je, že nezpůsobují tolik nežádoucích účinků, jako tomu bylo u ergelin (Bhatia, Chaudhuri a Stamelou, 2017, s. 316 – 323).

Využití antagonistů receptoru adenosinu A_{2A} je další metodou terapie. Tyto receptory se nacházejí v blízkosti dopaminových receptorů a dochází i k jejich spojení. Antagonisté usnadňují signalizaci dopaminových receptorů a tím tak vedou k normalizaci motorických funkcí. Blokování receptorů určitými antagonisty se ukázalo být značným přínosem při zlepšení terapeutických účinků levodopy a také při snížení dyskineze z jejího dlouhodobého užívání (Hopkins, 2016, s. 1 -33).

Terapie cílená na α -synuklein, což je dynamický protein, který hraje důležitou roli v komunikaci mezi váčky neuronu a při uvolňování neurotransmiteru, je zatím velice nová. Terapie je zaměřená na neutralizaci chybných forem proteinu, výzkum v této oblasti však stále pokračuje. Mutace SNCA zvyšuje riziko jeho ukládání a agregace a duplikace nebo dokonce ztrojení genu pro tuto bílkovinu způsobuje těžké, časně formy PCH. Obdobně jako terapie zaměřená na α -synuklein je nová i terapie genové mutace LRRK2 pomocí inhibitorů kinázy (Hopkins, 2016, s. 43 – 139).

Chirurgická léčba může proběhnout jen u pečlivě zvolených pacientů a jedná se o cílenou léčbu lézí, nebo o hlubokou mozkovou stimulaci (DBS – deep brain stimulation). Pro cílenou léčbu lézí lze využít například gamma nůž, tato terapie má však velice smíšené výsledky a obecně se nedoporučuje, až na výjimku léčby třesu – zde lze uvažovat o thalamotomii. Zaměřená ultrasonografie řízená pomocí MRI je metoda vhodná pro léčbu motorických poruch. Při zacílení léze se energie USG zvyšuje až na ablační teploty. Obě metody jsou vhodné hlavně pro pacienty s jednostranným, nebo asymetrickým nástupem a jejich hlavní výhodou je postradatelnost kraniotomie. Při DBS je snaha prodloužit denní aktivní režim bez dyskineze a snížit skóre motorického postižení, čímž se pacientovi zlepší kvalita života (Mitchell a Ostrem, 2020).

Vedle léčby motorických příznaků nemoci se uplatňuje i léčba příznaků nespecifických, nemotorických. Tato terapie se zaměřuje například na léčbu spánkových poruch, depresí a úzkostí a poruch gastrointestinálního nebo vylučovacího ústrojí. Pro celkovou terapii je důležité nejprve diagnostikovat i stádium nemoci, jelikož pro jednotlivé stupně onemocnění budou rozdílné i použité postupy léčby (Bhatia, Chaudhuri a Stamelou, 2017, s. 361 – 373).

1.3 Nukleární medicína

Nukleární medicína je lékařský obor, který se zabývá převážně diagnostikou a z menší části léčbou pomocí otevřených radionuklidových zářičů, jež jsou aplikovány do organismu. Zářiče jsou do organismu aplikovány jako radiofarmaka a díky ionizujícímu záření, která vyzařují, lze sledovat jejich distribuci a posoudit tak funkčnost tkání. Díky tomu umožňují metody nukleární medicíny diagnostikovat některá onemocnění dříve, než jsou patrné změny na anatomické úrovni. Odvětví nukleární medicíny je také úzce provázáno s dalšími klinickými obory, jako jsou například onkologie, kardiologie, urologie a neurologie (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007)

1.3.1 Základní fyzikální pojmy

1.3.1.1 Ionizující záření a radioaktivita

V oboru radiologie se k zobrazování a terapii využívá specifické záření – ionizující záření. Toto záření, jehož energie přesahuje 13,4 keV a vlnová délka je kratší, než 100 nm, existuje ve dvou formách, a to jako elektromagnetické vlnění a částicové záření. V nukleární medicíně se pro diagnostiku používají gama a β^+ zářiče (tedy z β^+ záření vzniklé anihilační záření) a pro terapii jsou zásadní α a β^- zářiče. Mezi základní faktory, na kterých jsou založeny zobrazovací metody, patří způsob vzniku ionizujícího záření a jeho interakce s hmotou (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 19 – 22).

Radioaktivita je samovolná přeměna nestabilních atomových jader na jádra stabilní, za současné emise ionizujícího záření. Samotná radioaktivní přeměna je charakterizována změnou počtu nukleonů v jádře a změnou vazebné energie jádra, jež je předána emitovanému záření. Přeměna jader je statistický jev, což znamená, že zde lze stanovit pouze pravděpodobnosti, s jakou přeměna nastane (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 19 – 22).

Běžně se radioaktivita vyskytuje ve dvou formách, přirozené a umělé. Přirozená radioaktivita se vyskytuje v přírodě, jde o přirozené nestabilní nuklidy (radionuklidy), naopak v případě umělé radioaktivity se jedná o rozpad uměle vytvořených radionuklidů. Umělé radionuklidy lze vytvořit v cyklotronech, jaderných reaktorech nebo v radionuklidových generátorech. Každý radionuklid má své charakteristické parametry, jimiž jsou typ přeměny, energie emitovaného záření a poločas přeměny (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 19 – 22).

Na základě druhu emitovaného záření existují tři základní typy radioaktivních přeměn: přeměna alfa (α), beta (β) a gama (γ) (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 19 – 22).

Přeměna α

Z mateřského jádra se emituje částice alfa, tvořena dvěma protony a dvěma neutrony (jedná se o heliové jádro). Přeměna se vyskytuje spíše u těžších jader a vzhledem k velké hmotnosti emitované částice je dolet záření krátký (ve tkáni se dosah pohybuje v řádech milimetrů), přesto okolí předává velké množství energie, čehož se využívá především v terapii (Koranda, 2014, s. 8 – 10).

Přeměna β

Přeměnu beta lze rozdělit na 3 podskupiny, jimiž jsou přeměna β^+ , β^- a elektronový záchyt. Na rozdíl od alfa přeměny zde nedochází ke změně celkového počtu nukleonů v jádře, jelikož se vzájemnou přeměnou mění počty neutronů a protonů, výsledné nukleonové číslo však zůstává stejné (Koranda, 2014, s. 8 – 10).

Pokud je z jádra emitován elektron, jedná se o β^- reakci. Dochází k přeměně jednoho neutronu na jeden proton za současné emise elektronu a malé elementární částice antineutrína. Elektrony mají silné ionizační účinky a proto toto záření, stejně jako alfa záření, využívá k terapii (Koranda, 2014, s. 8 – 10).

Při emisi kladně nabitých pozitronů (antičástice elektronu) lze mluvit o přeměně β^+ . V jádře dochází ke změně jednoho protonu na jeden neutron, pozitron a malou elementární částici neutrino. Pozitron je velice nestabilní a snadno zaniká při anihilaci s elektronem. Touto reakcí vzniká anihilací záření, které se využívá v nukleární medicíně pro pozitronovou emisní tomografii (Koranda, 2014, s. 8 – 10).

Poslední podskupinou přeměny beta je elektronový záchyt. Přeměna je obdobou β^+ přeměny, kdy je elektron zachycen jádrem a dochází k jeho spojení s protonem, za vzniku neutronu a neutrína. Záchyt elektronu je doprovázen vznikem charakteristického rentgenového záření (Koranda, 2014, s. 8 – 10).

Přeměna γ

Záření gama často doprovází alfa a beta přeměny, jelikož se mohou jádra po přeměnách dostat do excitovaného stavu. Při jejich přechodu z excitovaného stavu do základního dochází k emisi přebytečné energie v podobě fotonů – gama záření, nedochází ke změně počtu nukleonů, tedy ani ke změně prvku, jde pouze o změnu energetického stavu jádra. Záření gama je nejpronikavější, ale oproti alfa a beta záření má malé ionizující účinky a není tak snadno pohlcované tkáněmi. Gama zářiče a zářiče β^+ se v nukleární medicíně využívají pro diagnostiku, tedy pro zobrazování (Koranda, 2014, s. 8 – 10).

1.3.1.2 Interakce ionizujícího záření s hmotou

Každý typ záření reaguje s hmotným prostředím svým vlastním způsobem a při interakci emitované částice s hmotou dochází k jevu zvanému ionizace. Ionizace je děj, kdy dochází ke vzniku iontů, díky vytržení elektronu z elektronového obalu. Podle způsobu vzniku ionizace lze záření rozdělit na přímo a nepřímo ionizující (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 21).

Přímo ionizující záření je charakterizováno částicemi s elektrickým nábojem, které dovedou přímo způsobit ionizaci nebo excitaci atomu. Během interakce dochází k předání velkého množství energie okolí, a proto je dosah tohoto záření ve tkáni malý. Mezi přímo ionizující záření patří α , β^+ a β^- záření (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 21).

Druhým typem ionizujícího záření je záření nepřímo ionizující, jehož částice nenesou elektrický náboj. Záření předá svou energii nabitým částicím v atomu, které následně způsobí ionizaci nebo excitaci atomu. Mezi zástupce patří záření gama, rentgenové záření a neutronové záření. Fotony gama záření mohou s okolím reagovat třemi způsoby, jež jsou závislé na energii fotonů. Pro záření s nízkou energií se uplatňuje převážně fotoefekt, pro vyšší energie Comptonův rozptyl a pro záření s energií nad 1 MeV tvorba elektron-positronového páru (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 21).

1.3.2 Scintigrafie

Hlavní zobrazovací metodou, kterou nukleární medicína používá, je scintigrafie. Tato metoda umožňuje sledování a měření celé řady fyziologických procesů a zcela neinvazivním způsobem hodnotit funkci různých orgánů. Funkce na snímku představuje lokální akumulaci radiofarmaka, která závisí právě na funkčním stavu tkáně. Scintigrafie je tak jedinou zobrazovací metodou, kterou lze zobrazit pouze živé tkáně (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 49 – 51).

Metoda je založena na známé farmakokinetice radiofarmak v organismu. Výsledný obraz zobrazuje distribuci daného radiofarmaka po určitém čase od aplikace (statická scintigrafie), nebo v průběhu času (dynamická scintigrafie) (Koranda, 2014, s. 34 – 35).

Scintigrafii lze rozdělit na planární, která se dále dělí na statickou a dynamickou, a tomografickou. V nukleární medicíně se tomografická scintigrafie označuje za emisní tomografii, jelikož je zdroj záření uvnitř organismu. V emisní tomografii existují ještě další dvě používané metody, jimiž jsou jednofotonová emisní výpočetní tomografie (SPECT) a pozitronová emisní tomografie (PET) (Koranda, 2014, s. 34 – 35).

1.3.3 Jednofotonová emisní výpočetní tomografie (SPECT)

Jednofotonová emisní výpočetní tomografie je diagnostická metoda nukleární medicíny, která k rekonstrukci obrazu distribuce radiofarmaka používá scintilační kamery. Vyšetření využívá podobná radiofarmaka a stejný typ detektoru jako planární scintigrafie (Volterrani, Mariani, Erba, Strauss a Carrio, 2019).

Principem vyšetření je, po podání radiofarmaka s gama zářením, pořízení několika scintigrafických snímků z různých rovin. Tomograf pro SPECT se obvykle skládá z jednoho nebo více detektorů, který je každý spojený s vlastním kolimátorem a schopný rotace kolem těla pacienta. Existují dva režimy otáčení, prvním režimem je tzv. kontinuální rotace, kdy se detektory nepřetržitě otáčejí okolo pacienta. Druhým režimem je „step-and-shoot“ rotace, detektory se vždy zastaví v požadovaných úhlech a pořídí snímek, poté se přesunou do další polohy (Volterrani, Mariani, Erba, Strauss a Carrio, 2019, s. 142 – 144).

Pořízené snímky se ukládají v elektronické podobě a poté se z nich pomocí počítačové rekonstrukce zhotoví celkový trojrozměrný obraz distribuce radiofarmaka v organismu. Z výsledného trojrozměrného obrazu lze následně získat i jednotlivé řezy z různých rovin, jako je například rovina transverzální, sagitální nebo je také možné získat řezy šikmé (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 51 – 53).

Hlavními výhodami SPECT jsou vyšší kontrast snímků a možnost kvantifikace radiofarmaka ve tkáni, například oproti planární scintigrafii. Nevýhodou je zeslabení a rozptýlení záření fotoefektem a Comptonovým rozptylem, kdy rozptýlené záření snižuje kontrast, zvyšuje pozadí snímku a zkresluje intenzitu. Pro korekci obrazu byla navržena celá řada metod, optimálním řešením je ale využití transmisního měření. Transmisní měření je analogií CT. Místo rentgenky využívá slabý zdroj záření gama o známé aktivitě ve formě radionuklidu. Kamery zaznamenávají emisní a transmisní impulzy, poté se počítačově odečtou potřebné hodnoty a vypočítá se četnost impulzů (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 51 – 53).

Mimo samostatného SPECT vyšetření existují v současnosti i hybridní systémy SPECT/CT, umožňující získání funkčního, ale i anatomického obrazu jedním přístrojem hned za sebou (Koranda, 2014, s. 30).

1.3.3.1 Konstrukce přístroje pro SPECT

Klíčovým komponentem přístroje pro SPECT vyšetření je scintilační kamera (gamakamera), složená z detektoru a elektronického systému čtení a sběru dat.

Scintilační detektory jsou velice citlivé pro záchyt fotonového záření, jejichž principem je převést fotonové záření na světlo a poté na elektrické signály, ze kterých je složen výsledný scintigram. Hlavní součásti scintilačního detektoru jsou scintilační krystal, fotodetekční systém a kolimátory (Volterrani, Mariani, Erba, Strauss a Carrio, 2019, s. 138 – 146).

Scintilační krystal

Použitý scintilační krystal se bude lišit podle typu detekovaného záření, primární detektory používají detekční materiál s vysokým protonovým číslem jako je například jodid sodný aktivovaný thaliem NaI (TI). Scintilační materiály lze charakterizovat pomocí hustoty, protonového čísla, množství emitovaného světla na jednotku energie a času odezvy. Tyto vlastnosti určují nejen účinnost detekce, ale také ovlivňují emitovanou energii, prostorové rozlišení a časové rozlišení detektoru. Funkcí scintilačního krystalu je převod fotonů na světelné signály, ty jsou dále zachytávány fotonásobičem (Volterrani, Mariani, Erba, Strauss a Carrio, 2019, s. 138 – 139).

Fotodetekční systém

Systém je tvořen sadou fotonásobičů umístěných za krystalem do tvaru šestiúhelníku pro lepší detekci a se scintilačním krystalem je opticky spojen pomocí světlovodiče. Fotonásobič je zařízení, složené z fotokatody, soustavy dynod (elektrod) a fotoanody, jež převádí světelný signál z krystalů na elektrický impuls. Světlo dopadající na fotonásobič způsobí uvolnění fotoelektronu z fotokatody, který je soustavou dynod urychlován směrem k fotoanodě a zároveň na každé další dynodě vyvolá emisi sekundárních elektronů. Na fotoanodu tak dopadá mnohem silnější proud elektronů, způsobující elektrický impuls, který je po výstupu zesílen v zesilovači a následně zpracováván elektronickým systémem. Zesílené impulzy postupují do amplitudového analyzátoru, kde se třídí podle amplitudy a následně tak lze zhotovit scintilační spektrum (Ziessman, O'Malley a Thrall, 2014, s. 42 – 44).

Kolimátor

Paprsky gama záření, vycházející z těla pacient, mohou být detekované kdekoli v zorném poli gamakamery a tím tak znehodnocovat obraz. Kolimátory jsou důležité komponenty kamery, způsobující řízenou kolimaci paprsků a tím tak určují jejich směrovost. Pro gama záření se využívá princip absorpční kolimace, kdy všechny paprsky směřující jiným, než požadovaným směrem, jsou pohlceny. Jelikož je absorpční kolimace necitlivá, protože je většina fotonů pohlcena, je proto důležitá optimalizace a volba vhodného kolimátoru pro každé konkrétní klinické využití. Základní dělení kolimátorů je podle použitého materiálu, geometrie kolimátoru, velikosti a tvaru otvorů a energie (Ziessman, O'Malley a Thrall, 2014, s. 44 – 46).

Materiály pro výrobu kolimátorů se volí takové, aby snižovaly pravděpodobnost Comptonova rozptylu, a naopak podpořily vznik fotoefektu. Používají se hlavně látky s vysokým protonovým číslem a vysokou hustotou, tomu odpovídají slitiny olova, wolframu nebo také zlata. Nejčastěji se vyrábějí ze slitin olova, které nejsou tak drahé a obtížné na zpracování (Volterrani, Mariani, Erba, Strauss a Carrio, 2019, s. 144 – 145).

Geometrií se rozumí rozmístění a „směr“ otvorů v kolimátoru. Nejčastěji se používají kolimátory s paralelním umístěním otvorů, existují také ale kolimátory s divergentním, nebo konvergentním uspořádáním a speciální kolimátory pinhole, které mají jen jeden otvor. Na citlivosti se podílí i tloušťka přepážek mezi otvory a délka otvorů (Volterrani, Mariani, Erba, Strauss a Carrio, 2019, s. 144 – 145).

Energie vyzařovaná použitým radionuklidem má vliv na výběr vhodného kolimátoru, a ty jsou buď pro nízké energie, například pro technecium s emitovanou energií 140 keV, pro střední energie, nebo pro vysoké energie. Jsou sestrojovány také kolimátory pro vysoké rozlišení, ultra vysoké rozlišení, nebo pro vysokou senzitivitu (Volterrani, Mariani, Erba, Strauss a Carrio, 2019, s. 144 – 145).

Nejčastěji používané typy kolimátorů jsou LEHR – nízkoenergetické s vysokým rozlišením a LEAP/LEGP – univerzální nízkoenergetické kolimátory, sestrojovány pro kompromis v rozlišení a citlivosti. Existují ale také kolimátory univerzální pro střední energie (MEAP/MEGP) a pro vysoké energie (HEAP/HEGP) (Volterrani, Mariani, Erba, Strauss a Carrio, 2019, s. 144 – 145).

Záznam a zpracování obrazu

Signály z fotodetekčního systému jsou přeneseny do počítače pro následné zpracování. Nejprve se zjistí energie záření ze součtu elektrických signálů z jednotlivých fotonásobičů. Jsou použity pouze signály v rozsahu tzv. energetického okna, které slouží k odfiltrování fotonů prošlých Comptonovým rozptylem. Pro získání polohy dopadu fotonů lze využít postup zvaný Anger logic, jež zvažuje polohu každého fotonásobiče s intenzitou signálu a vypočítává průměr naměřených hodnot, dochází tak k výpočtu těžiště krystalu – pro souřadnice x a y. Součet energie a souřadnic probíhá díky složitým výpočetním technikám, kombinujících hardwarové a softwarové vybavení se znalostmi z experimentálních kalibračních měření (Volterrani, Mariani, Erba, Strauss a Carrio, 2019, s. 140 – 141).

1.4 Radiofarmaka

Radiofarmaka jsou přípravky zobrazující fyziologii, biochemii nebo patologii v lidském těle. Jedná se o kombinaci radioaktivní molekuly, radionuklidu, jenž umožňuje vnější detekci, a nosiče určující lokalizaci a biodistribuci v organismu. Jako nosič může být použita chemická nebo biologicky aktivní látka, krevní elementy, buňky, peptidy nebo protilátky (Kraft a Pekárek, 2012).

Radionuklid je volený podle svého poločasu přeměny, druhu emitovaného záření a energie záření. Pro diagnostické využití se volí radionuklidy s emisí gama záření o vhodné energii, naopak pro terapeutická radiofarmaka je upřednostňováno záření beta. Poločas rozpadu by měl být dostatečně dlouhý na to, aby pokryl čas potřebný pro vyšetření, ale také co nejkratší, aby nedocházelo ke zbytečné zátěži pacienta a okolí (Kraft a Pekárek, 2012).

U farmaceutické složky je důležitý její metabolismus v lidském organismu, neměla by mít žádné fyziologické účinky a žádné známky toxicity (Kraft a Pekárek, 2012).

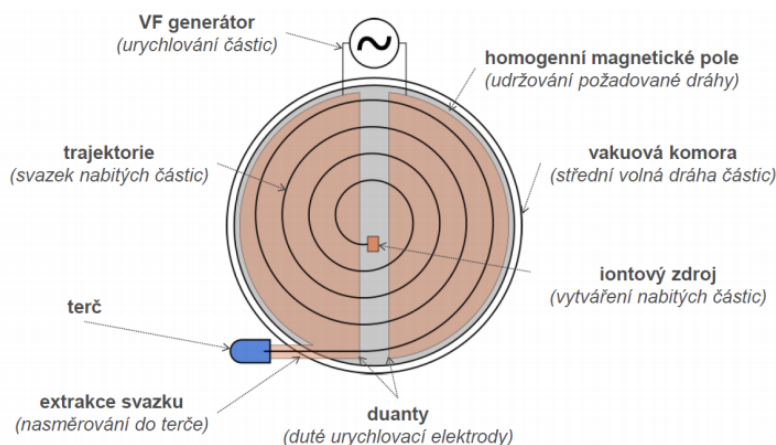
Všechna používaná radiofarmaka v českém zdravotnictví musí být v České republice registrovaná nebo schválena dle zákonných předpisů a spadají pod kontrolu Státního ústavu pro kontrolu léčiv (Kraft a Pekárek, 2012).

1.4.1 Výroba radionuklidů

K výrobě radiofarmak se v nukleární medicíně využívají pouze umělé radionuklidy. Příprava radionuklidů, může probíhat trojím způsobem, mohou se vyrábět v cyklotronech, v jaderných reaktorech, nebo je lze získávat z radionuklidových generátorů. Principem je jaderná reakce s přetavbou atomového jádra, za vzniku jádra radioaktivního (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 31 – 32).

1.4.1.1 Cyklotron

Výroba radionuklidů v cyklotronu probíhá na základě urychlování těžkých, kladně nabitých částic, jako jsou protony, alfa částice nebo deuterony v magnetickém poli, které zakřivuje jejich dráhu tak, že se částice pohybují po spirále se zvětšujícím se poloměrem, dokud nenarazí na připravený terč, obsahující vhodný nuklid. Po ozáření se terč nechá rozpustit například v kyselinách nebo alkalických rozpouštědlech a radionuklidy se z něj oddělují pomocí různých chemických metod (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 31 – 32).



Obrázek 3. Schéma cyklotronu (Vajdák, 2017)

Existují dva způsoby výroby radionuklidů v cyklotronech, ve velkých produkčních cyklotronech a v malých lékařských. Ve velkých cyklotronech se vyrábí radionuklidy s delším poločasem rozpadu, umožňující hromadnou výrobu radiofarmak, například ^{67}Ga , ^{111}In , ^{123}I , nebo ^{81}Rb . Naopak malé cyklotrony produkují radionuklidy s velmi krátkým poločasem rozpadu a musí být tedy umístěny v místě použití finálních radiofarmak. Získává se tak například pozitronové zářiče ^{18}F , ^{11}C , ^{13}N , nebo ^{15}O (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 31 – 32).

1.4.1.2 Jaderný reaktor

V jaderných reaktorech dochází k řízené řetězové reakci, palivem této reakce, neboli jejím štěpným materiálem, je nejčastěji obohacený ^{235}U . Radionuklidy se z reaktorů získávají dvěma způsoby, ozářením neradioaktivních látek neutrony, nebo izolací štěpných produktů uranu. Prvním procesem se získávají radionuklidy jak pro klinické využití – ^{131}I a ^{125}I , ^{133}Xe , ^{51}Cr , ^{59}Fe nebo ^{32}P , tak pro radionuklidové generátory – ^{99}Mo . Druhým procesem lze získat rovněž například ^{131}I a ^{99}Mo , ale také ^{90}Sr , další mateřský generátorový radionuklid. Možnost ozařování velkého množství materiálu umožňuje relativně levnou produkci radionuklidů (Kupka, Kubinyi a Šámal, 2007, s. 32).

1.4.1.3 Radionuklidový generátor

Radionuklidový generátor je zařízení představující pro nukleární medicínu užitečný zdroj radionuklidů s krátkým nebo velmi krátkým poločasem přeměny, které nelze vyrábět hromadně. Generátory obsahující vázaný mateřský radionuklid, zpravidla s delším poločasem přeměny, z něhož vzniká radionuklid dceřiný s krátkým poločasem rozpadu (Kraft a Pekárek, 2012, s. 14 – 16).

Podle konstrukce lze generátory rozdělit na sublimační, extrakční a chromatografické (eluční). Nejrozšířenějším typem je generátor eluční, díky nejmenším rozměrům a nejnižší náročnosti na obsluhu. Mezi nejpoužívanější eluční generátory patří generátor molybden (^{99}Mo)/techneciový ($^{99\text{m}}\text{Tc}$). Molybden je v olovem stíněné koloně ve formě molybdenanu amonného pevně navázán na oxid hlinitý a s poločasem přeměny 66.2 hodiny se přeměňuje na technecium. Technecium už není na oxid pevně vázáno a je tak z kolony snadno vymýváno sterilním roztokem chloridu sodného do stíněné evakuované sterilní lahvičky ve formě technecistanu sodného (Kraft a Pekárek, 2012, s. 14 – 16).

Dalšími typy generátorů jsou například rubidium (^{81}Rb)/kryptonový ($^{81\text{m}}\text{Kr}$) generátor, který produkuje inertní plyn kryptonu ($^{81\text{m}}\text{Kr}$) pro zobrazení plicní ventilace a generátor germanium (^{68}Ge)/galliový (^{68}Ga), jehož výchozím produktem je gallium – pozitronový zářič (Kraft a Pekárek, 2012, s. 14 – 16).

1.4.2 Výroba radiofarmak a kontrola jejich kvality

Příprava aplikační formy radiofarmak probíhá za stejných podmínek jako u výroby jiných léků, navíc musí být, ale dodrženy i zásady pro manipulaci s radioaktivními látkami. Radiofarmaka, stejně jako radionuklidy, lze vyrábět hromadně, ale také individuálně přímo na pracovištích nukleární medicíny, a to v závislosti na poločasu rozpadu užitého radionuklidu (Kraft a Pekárek, 2012, s. 17 – 33).

Značené sloučeniny jsou připravovány pomocí tří radiochemických metod, mezi které patří například izotopová výměnná reakce, kdy je stabilní atom nahrazen svým radioaktivním izotopem. Další metodou je chemická syntéza, při níž se využívají kovalentní a koordinační vazby mezi molekulami a poslední možností je biochemická syntéza, kdy je radionuklid zabudován do sloučeniny pomocí mikroorganismů (Kraft a Pekárek, 2012, s. 17 – 33).

Aplikační formy radiofarmak se rozdělují na parenterální, perorální, inhalační a topické (místní). Nejpoužívanější formou v klinické praxi je parenterální cesta, kde se využívají pravé roztoky, koloidní disperze a suspenze. Injekční přípravky se aplikují především intravenózně, subkutánně nebo intralumbálně, pro terapii je možné také využít intraperitoneální a intraartikulární podání (Kraft a Pekárek, 2012, s. 17 – 33).

Pro kontrolu jakosti radiofarmak jsou využívány metody fyzikální a chemické, ale také biologické. Mezi fyzikální a chemické metody patří stanovení radioaktivity, které probíhá měřením celého objemu radioaktivity ve studnové ionizační komoře. Dalšími metodami jsou kontrola radionuklidové čistoty, jež se provádí měřením energetického spektra emitovaného záření a kontrola radiochemické čistoty, pomocí chromatografických metod. Biologické metody hodnotí sterilitu a apyrogenitu injekčních přípravků, případně jejich toxicitu a bezpečnost. Déle mohou kontroly zahrnovat zhodnocení orgánové distribuce, rychlost akumulace a vylučování (Kraft a Pekárek, 2012, s. 17 – 33).

1.5 Radiologický asistent

Radiologický asistent je nelékařský zdravotnický pracovník, jenž svou pracovní povinnost vykonává ve zdravotnických zařízeních na odděleních radiodiagnostiky, radioterapie a nukleární medicíny. Při výkonu práce přichází do styku s ionizujícím zářením, proto je nutné, aby pro své povolání byl odborně způsobilý podle zákona č. 96/2004 Sb. – Zákon o nelékařských zdravotnických povoláních a podle zákona 263/2016 Sb. – Atomový zákon (zákon č. 96/2004 Sb.; zákon č. 263/2016 Sb.).

„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 předpisu⁸⁾ 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.)

1.5.1 Historie oboru

Základem pro vznik oboru bylo objevení rentgenových paprsků v 1895. Tento zlom umožnil rozšíření lékařství o radiologii a s tím související profesi, radiologického asistenta. Samotný vzdělávací program bych ale zorganizován až v polovině 20. století, kdy tehdejší normy už neumožňovaly práci na rentgenových pracovištích lidem bez požadovaného vzdělání. Postupem času se kurzy rozšiřovaly, jelikož potřeba odborné vzdělanosti stále stoupala (Společnost radiologických asistentů ČR, nedatováno).

V Praze roku 1957 se konala první oficiální konference radiologických laborantů, díky níž vznikla odborová organizace radiologických laborantů, patřící pod Českou lékařskou společnost Jana Evangelisty Purkyně. Zanedlouho od vzniku organizace, přibližně v 60 letech 20. století se Česká republika oficiálně přidala k Mezinárodní společnosti radiologických asistentů (ISRRT). Tato společnost byla založena jen pár let před naším připojením, a to roku 1962 jako nezisková organizace, nyní už s více než 90 členskými společnostmi z více než 86 zemí (ISRRT, 2021)

Od listopadu roku 1989 požadovalo shromáždění radiologických laborantů kromě změn ve výboru také osamostatnění pro svou sekci. Na konci roku 2001 dostala společnost mandát, což vedlo ke vzniku osamostatněné Společnosti radiologických laborantů a asistentů České republiky (SRLA ČR) (Společnost radiologických asistentů ČR, nedatováno).

Organizace, společenství a sdružení, ať už mezinárodní či lokální, mají významný přínos pro rozvoj profese, a to především díky výměně informací mezi jednotlivými složkami a vzájemné podpoře při zlepšování kvality péče v závislosti na technologickém pokroku. Jejich smyslem je také zlepšování metod radiační ochrany nebo spolupráce s WHO a zdokonalování zdravotní a ošetrovatelské péče, ale i tvorba standardů a odborných příruček pro zajištění kontroly kvality (Společnost radiologických asistentů ČR, nedatováno; ISRRT, 2021).

1.6 Radiační ochrana

1.6.1 Limity

Limity jsou v radiační ochraně důležitými ukazateli pro ozáření osob ionizujícím zářením a to jak ze zevního ozáření, tak i z vnitřního ozáření, jsou předem jasně stanoveny a nesmí být překročeny. Limity pracují se dvěma základními veličinami, jimiž jsou ekvivalentní a efektivní dávka. Ekvivalentní dávka je značena jako H_T a je vyjádřena součinem váhového radiačního faktoru a střední absorbované dávky v orgánu nebo tkáni. Efektivní dávka, značena jako E , je dána součinem tkáňového váhového faktoru e ekvivalentní dávky, nebo součtem takovýchto součinů. Jednotkou pro obě hodnoty je Sievert. Existuje několik druhů limitů, jako například limity obecné, limity pro radiační pracovníky, pro studenty, limity odvozené a autorizované a limity pro ozáření ve zvláštních případech (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 85 – 88).

Obecné limity platí pro obyvatelstvo, především se vztahují na kritickou skupinu obyvatel, jako jsou lidé žijící v blízkosti zdroje záření, nezahrnují však ozáření z přírodních zdrojů, profesní ozáření, lékařské ani havarijní. Oproti tomu limity pro radiační pracovníky jsou vymezeny pro ozáření profesní, tedy případy, kdy pracovník přichází do přímého kontaktu s ionizujícím zářením. Limity pro studenty platí pro osoby od 16 do 18 let, které přijdou vědomě a dobrovolně v rámci výuky a přípravy na povolání do styku s ionizujícím zářením (vyhláška č.422/2016 Sb.).

Tabulka 1. Hodnoty limitů ozáření (vyhláška č.422/2016 Sb.)

Veličiny	Hodnoty (mSv za kalendářní rok)		
	Obecné limity	Limity pro radiační pracovníky	Limity pro studenty
Efektivní dávka	1	50*	6
Ekvivalentní dávka v oční čočce	15	150	50
Ekvivalentní dávka v 1 cm ² kůže	50	500	150

*Efektivní dávka nesmí zároveň přesáhnout 100 mSv za pět po sobě jdoucích let.

Efektivní a ekvivalentní dávka nejsou přímo měřitelné veličiny, proto byly především pro osobní dozimetrii zavedeny odvozené limity, měřící osobní dávkový ekvivalent¹, který už je měřitelný. Hodnoty těchto limitů se stanovují pro hloubku 10 mm pod povrchem těla, která činí 20 mSv za rok a pro hloubku 0,07 mm pod povrchem těla, kdy limit je 500 mSv za rok (vyhláška č.422/2016 Sb.).

1.6.2 Kategorizace pracoviště a radiačních pracovníků

1.6.2.1 Kategorizace pracoviště nukleární medicíny

Oddělení nukleární medicíny je takové pracoviště, které je zpravidla stavebně odděleno od ostatních pracovišť a zároveň uspořádáno tak, aby mohla být zajištěna dostatečná radiační ochrana. Standardně sestává z ambulantní části, lůžkové části a popřípadě ještě úseku s PET (PET/CT). Další nedílnou složkou jsou místa s radionuklidovými generátory a místa pro přípravu radiofarmak, vymírací místnosti a personální zázemí (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 248).

Pro práci s jednoduchými zdroji záření, jimiž jsou otevřené radionuklidové zářiče, je oddělení zařazeno jako pracoviště II. kategorie, v případě provádění radionuklidové terapie pomocí ¹³¹I i do III. kategorie. V souvislosti s kategorizací pracoviště je na takovýchto místech nutné pro potřeby radiační ochrany jasně vymezit a stanovit sledované a kontrolované pásmo (vyhláška č.422/2016 Sb.).

¹ Dávkový ekvivalent je roven součinu absorbované dávky v bodě tkáně a jakostního činitele Q, který vyjadřuje rozdílnou účinnost různých druhů záření. Osobní dávkový ekvivalent je vztažen na určitou hloubku d pod povrchem těla (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 70).

1.6.2.2 Kategorizace radiačních pracovníků

Radiační pracovníci se z hlediska radiační ochrany, podle očekávaného a potenciálního ozáření, rozlišují do dvou kategorií – kategorie A a B. Radiační pracovník kategorie A je takový pracovník, u něhož by efektivní dávka mohla za jeden rok převýšit 6 mSv, ekvivalentní dávka na oční čočku 15 mSv a ekvivalentní dávka na kůži by mohla být vyšší, než 3/10 limitu. U takovýchto pracovníků je vyžadováno osobní monitorování, zajištěné osobními dozimetry, jejichž vyhodnocovací období činí jeden kalendářní měsíc a o jehož výsledcích musí být pracovníci informováni. Dále musí mít tyto pracovníci zajištěné lékařské prohlídky, a to jak vstupní, tak i periodickou, mimořádnou a výstupní. V neposlední řadě musí být pravidelně proškolení a pouze pracovníkům kategorie A je umožněn výkon práce v kontrolovaném pásmu. Pracovníci kategorie B jsou všichni ostatní pracovníci, kteří nebyli zařazeni do kategorie A (vyhláška č.422/2016 Sb.).

1.6.3 Sledované a kontrolované pásmo

1.6.3.1 Sledované pásmo

„Sledované pásmo se vymezuje všude tam, kde se očekává, že efektivní dávka by mohla být vyšší než 1 mSv ročně nebo ekvivalentní dávka by mohla být vyšší než jedna desetina limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny.“ (vyhláška č.422/2016 Sb.).

Sledované pásmo se standardně vymezuje jako oddělená a ucelená oblast pracoviště, která je u vstupu jasně označena jako sledované pásmo (vyhláška č.422/2016 Sb.).

1.6.3.2 Kontrolované pásmo

„Kontrolované pásmo se vymezuje všude tam, kde se očekává, že efektivní dávka by mohla být vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávka by mohla být vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny.“ (vyhláška č.422/2016 Sb.).

Podobně jako sledované pásmo se i kontrolované pásmo vymezuje jako stavebně oddělená a ucelená oblast, jež musí být u vstupu jasně označena znakem radiačního nebezpečí a upozorněním pro kontrolované pásmo, navíc musí být ještě dostatečně zabezpečena proti vstupu nepovolaných osob (vyhláška č.422/2016 Sb.).

1.6.4 Program monitorování

Na oddělení nukleární medicíny, tak jako na každém pracovišti, kde se pracuje se zdroji ionizujícího záření, musí být vypracován a uplatňován program monitorování, jenž zahrnuje monitorování pracoviště, výpustí a osobní monitorování (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 255 – 257).

V rámci monitorování pracoviště se měří zejména příkon dávkového ekvivalentu a zjišťuje se jak vnitřní kontaminace, tak kontaminace pracovních povrchů. Monitorování výpustí je důležité hlavně z hlediska vypouštění otevřených zářičů, jakožto radioaktivního odpadu do životního prostředí – zákonem jsou jasně stanovené meze a podmínky (uvolňovací úrovně), za kterých se odpad může likvidovat jako jiný nemocniční odpad a smí se vypustit do životního prostředí (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 255 – 257).

Osobní monitorování se zprostředkovává pomocí osobních dozimetrů a to u všech radiačních pracovníků kategorie A, a vybraných pracovníků kategorie B. Osobní dozimetry měří osobní dávkový ekvivalent a jsou umístěny na referenčním místě, zpravidla přední levá strana hrudníku (závisí na geometrii záření). Po uplynutí kontrolního období, jímž je pro pracovníky kategorie A jeden měsíc, jsou dozimetry vyhodnocovány celostátní službou osobní dozimetrie (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 255 – 257).

1.6.5 Radiační ochrana pacientů a personálu na oddělení nukleární medicíny

1.6.5.1 Radiační ochrana personálu

V případě otevřených záříčů, se kterými se na oddělení pracuje, je důležitá ochrana jednak před zevním zářením, ale i před vnitřní a vnější kontaminací (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 258 – 268).

Základem ochrany před zevním zářením je ochrana vzdáleností, časem a stíněním. Ochrana vzdáleností se zajišťuje několika způsoby a vychází ze skutečnosti, že dávkový příkon (dávka) klesá s druhou mocninou vzdálenosti. Jednou z možností je využívání pomůcek při přemísťování radiofarmak, jedná se například o pinzety a jiné nástroje s dlouhou rukojetí. Dalším možným způsobem je spíše aktivní ochrana, kdy si musí sám personál hlídat, aby se zbytečně nenacházel velmi blízko pacienta, jelikož při podání radiofarmaka pacientovi se z pacienta stává zdroj záření (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 258 – 268).

Ochrana časem je založena na faktu, že čím delší dobu se pracovník zdržuje v blízkosti zdroje záření, tím vyšší je jeho radiační zátěž. Ochrana se pak realizuje tím, že personál pobývá v blízkosti zdroje jen nezbytně nutnou dobu a tím tak omezuje dávkový příkon, který obdrží. Ochrana časem je také důležitá při přípravě radiofarmak, kde záleží na rychlosti – ta souvisí s kvalifikací a zkušeností pracovníků (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 258 – 268).

Mezi další způsob patří ochrana stíněním, kdy se mezi personál a zdroj záření umístí vhodný materiál, jenž zeslabuje záření. Ochrana se uskutečňuje pomocí speciálních stavebních úprav pracoviště, použitím olověného skla a využíváním stínících zástěn (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 258 – 268).

Pro ochranu před vnější a vnitřní kontaminací je zásadní používat ochranné pracovní pomůcky, a především s nimi správně zacházet. Dále se jí předchází monitorováním povrchů pracoviště a zákazem konzumace jakýchkoli potravin a nápojů v kontrolovaném pásmu. Mimo jiné je základem dostatečné proškolení personálů a zajištění jeho erudovanosti (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 258 – 268).

1.6.5.2 Radiační ochrana pacientů

Základem radiační ochrany pacientů je uplatňování tří principů – princip optimalizace, odůvodnění a limitů. Jelikož ozáření pacienta, jakožto lékařské ozáření, nespadá pod limity ozáření, řídí se radiační ochrana pacienta především zbylými dvěma principy (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 269 – 277).

Princip optimalizace pro diagnostiku v nukleární medicíně znamená aplikaci jen nezbytně nutného množství radiofarmaka, aby se zajistila dostatečná kvalita výsledných informací. Zahrnuje také snahu snížit riziko ohrožení zdraví, života, ale i životního prostředí, na co nejnižší možnou mez s ohledem na ekonomické náklady. Základem optimalizace je stanovení diagnostické referenční úrovně, což jsou hodnoty dávek, u kterých se nepředpokládá, že budou za běžného režimu překročeny. Při terapii v nukleární medicíně se taktéž používá co nejnižší aplikovaná aktivita, aby se co nejvíce šetřily zdravé tkáně a zároveň se neomezil léčebný účinek (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 269 – 277).

Princip odůvodnění znamená, že každá činnost vedoucí k ozáření musí být odůvodněna přínosem, jenž bude větší než rizika s ozářením spojená. V případě vyšetření je tedy důležité zvážit i takové metody, které buď radiační zátěž eliminují úplně, nebo ji alespoň sníží (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 269 – 277).

Dalším možným způsobem ochrany je možnost ovlivnění biokinetiky radiofarmak. Biokinetika se ovlivňuje především urychlením vyloučení radiofarmaka z těla, které je zaručeno zvýšeným příjmem tekutin a s tím spojenou častější mikcí, nebo zamezením vychytávání radiofarmaka v určitém orgánu. Nejběžněji se provádí blokáda štítné žlázy, s výjimkou vyšetření této oblasti (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 269 – 277).

U ochrany těhotných a kojících žen platí, že gravidita je absolutní kontraindikací pro vyšetření, pokud se nejedná o vitální indikace. Je nutné však zvážit všechny faktory a zvolit takové parametry vyšetření, aby se zajistila maximální možná ochrana plodu. U kojících žen je potřeba zvážit odložení výkonu až do doby, kdy žena neukončí kojení, popřípadě je doporučeno přerušení kojení (Kubinyi, Sabol a Vondrák, 2018, s. 269 – 277).

2 PRAKTICKÁ ČÁST

2.1 DaTSCAN (^{123}I -joflupan)

Radiofarmakum DaTSCAN (^{123}I -joflupan, ^{123}I -FP-CIT) je vyráběno jako čirý bezbarvý injekční roztok, určený pro diagnostické vyšetřování centrálního nervového systému člověka. Pacientovi se zpravidla aplikuje do žilního řečiště (DaTSCAN, 2021).

Léčivou látkou v tomto přípravku je joflupan značení radioaktivním nuklidem ^{123}I . Jedná se o specifický analog kokainu, jenž se prokazatelně váže s vysokou afinitou na presynaptické transportéry dopaminu. Pokud je tedy tato látka označena vhodným radionuklidem, lze ji využít pro diagnostické vyšetření k detekci hustoty dopaminových přenašečů a tak zjistit sílu přenosu signálů (DaTSCAN, 2021).

^{123}I je radioaktivní izotop jódu s relativně krátkým poločasem rozpadu, který činí přibližně 13,2 hodiny a vyzařovanou energií dosahující k 159 keV. Radionuklid se připravuje v cyklotronech, které se obvykle nenacházejí v místě aplikace (na odděleních nukleární medicíny) a musí se tedy na tato místa dovážet. K přípravě radionuklidu je možné využít hned několik dostupných metod, nejčastěji se ale pracuje se základním prvkem – ^{124}Xe , jenž je v cyklotronu zasažen protonem a za emise dvou neutronů se přemění na ^{123}Cs . Cesium se následně přemění na ^{123}Xe a konečným produktem je již ^{123}I o vysoké radiochemické a radionuklidové čistotě vhodný pro výrobu radiofarmak (Lebeda, Fišer, Hradilek, Ráliš a Seifer, 2009). V 1 ml výsledného roztoku je obsažena dávka 74 MBq k času kalibrace. K pomocným látkám v roztoku patří také etanol, kyselina octová, trihydrát octanu sodného a voda pro injekci (DaTSCAN, 2021).

2.2 Příprava a edukace pacienta

2.2.1 Příprava a edukace pacienta

Jednou z možných a také nejčastějších indikací pro scintigrafické vyšetření presynaptických dopaminových transportérů je vyloučení primárního tremoru. Ošetřující lékař, jímž bývá zpravidla neurolog, vystaví pacientovi žádanku, seznámí ho základními informacemi týkajícími se vyšetření a odešle ho na oddělení nukleární medicíny. Ošetřující lékař také pacienta poučí o tom, jaké léky, ovlivňující dopaminové transportéry, by měl před vyšetřením vynechat – jedná se zejména o léky, obsahují látky, jako jsou například benzotropin, bupropion, mazindol, methylphenidin a sertralin (Fakultní nemocnice Motol, 2012)

Na oddělení nukleární medicíny se pacient dostaví se řádně vyplněnou žádankou, radiologický asistent provede aktivní identifikaci a zkontroluje údaje na žadance. V případě, že je pacient na oddělení poprvé, založí mu asistent novou kartu, do které se budou zakládat všechny potřebné materiály související s pacientem. V případě, že se nejedná o pacientovo první vyšetření, využívá se jeho stávající karta. Následně dostane pacient informovaný souhlas (viz příloha B a C), jenž si dostatečně prostuduje a podepíše. Radiologický asistent znovu a srozumitelně pacientovi shrne poučení a vysvětlí mu průběh následujícího výkonu. Výhodou může být i doprovod, který pacienta může na oddělení doprovázet – může pacientovi ještě dovysvětlit všechny detaily a jelikož se navíc většinou jedná o osobu blízkou, pacient má pocit většího bezpečí a snáze tak informace pochopí. Součástí této základní přípravy je i zjištění výšky a váhy pacienta a případného výskytu alergií a gravidity u žen.

Po vyplnění a podepsání informovaného souhlasu jsou pacientovi podány jodové tablety, které musí požit minimálně jednu hodinu před samotnou aplikací radiofarmaka. Společně s tím je opět důkladně poučen o účelu této akce – volené radiofarmakum obsahuje jód a dochází tedy k jeho vychytávání mimo jiné i ve štítné žláze, jodové tablety „nasytí“ štítnou žlázu, a tak zabrání nechtěnému vychytávání radioaktivního izotopu.

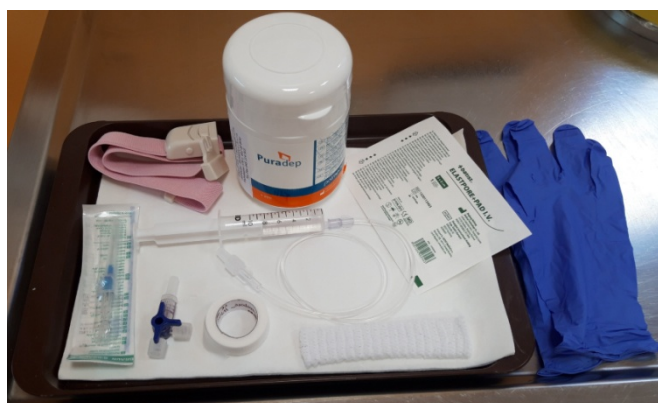
2.2.2 Zajištění žilního vstupu

Od podání jodových tablet do samotné aplikace by měla uběhnout minimálně 1 hodina. Během této doby musí pacient setrvat na oddělení a být v klidovém režimu, zároveň mu je radiologickým asistentem zajištěn intravenózní vstup, zavedením kanyly.

Pacient je nejčastěji odveden na aplikační místnost, kde je posazen do křesla. Náležitá končetina, primárně se jedná o horní končetinu, je nad místem vpichu zaškrcena turniketem a pacient je vyzván, aby si s končetinou lehce zacvičil pro zlepšení prokrvení v daném místě. Asistent vyhledá vhodnou žílu a zavede kanylu, následně povolí turniket a propláchne kanylu fyziologickým roztokem a fixuje ji tak, aby místo bylo dobře viditelné a zároveň, aby byla zabezpečená proti „vypadnutí“ a snadnému „vytažení“. Čas zavedení kanyly asistent zapíše do informovaného souhlasu (na jeho druhou stranu).



Obrázek 4. Křeslo pro aplikaci (vlastní zdroj)



Obrázek 5. Pomůcky pro zavedení kanyly (vlastní zdroj)

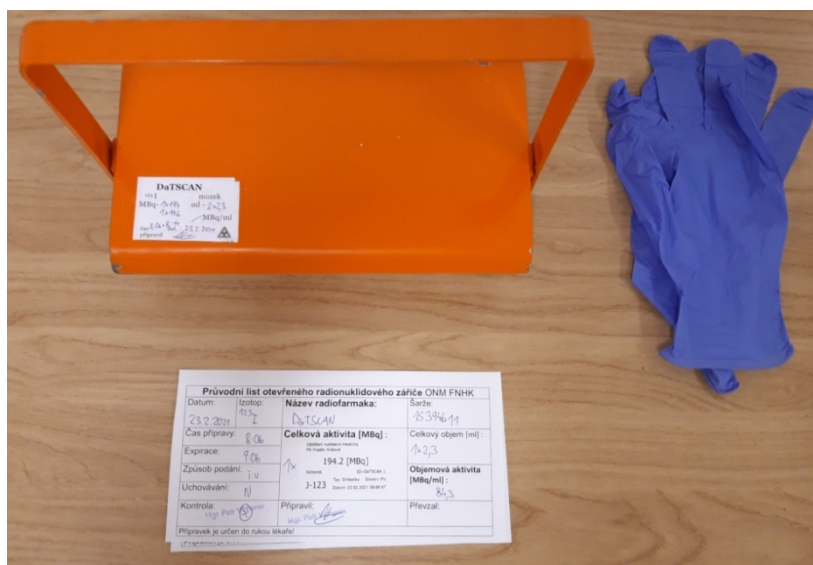
2.2.3 Aplikace radiofarmaka

Další klíčovou součástí přípravy je klidový režim, který musí pacient dodržovat. Těsně před aplikací radiofarmaka, jedná se přibližně o 5 až 10 minut před, je důležité, aby byl pacient v naprostém klidu na lůžku. Obvykle je pacient odveden do vhodné, samostatné a uzavřené místnosti s lůžkem, kde po danou dobu leží a odpočívá v naprosté tichosti a tmě.



Obrázek 6. Lůžko pro pacienta (vlastní zdroj)

Aplikovaná aktivita radiofarmaka se vypočítává podle přesné váhy pacienta a radiofarmakum je „natahováno“ těsně před aplikací, kterou provádí odpovědný lékař. Lékař nejprve znovu zkontroluje průchodnost kanyly pomocí fyziologického roztoku a poté aplikuje radiofarmakum formou pomalé aplikace, což znamená, že celková doba aplikace se pohybuje okolo jedné až dvou minut. Následně opětovně propláchně žilní vstup dostatečným množstvím fyziologického roztoku. Po aplikaci leží pacient na lůžku další 5 až 10 minut a během té doby personál kontroluje případné alergické reakce a celkový stav pacienta.



Obrázek 7. Radiofarmakum uložené v ochranném krytu (vlastní zdroj)



Obrázek 8. Stříkačka s radiofarmakem v ochranném krytu (vlastní zdroj)

Radiologický asistent odstraní pacientovi zavedenou kanylu a zkontroluje místo vpichu, reakci na kanylu zhodnotí podle tzv. VIP skóre (v případě, že je skóre vyšší než 1, řeší následnou péči o vstup lékař). Získané VIP skóre s časem aplikace radiofarmaka a vytažením kanyly zapíše asistent opět do informovaného souhlasu.

Pacient je mezitím vyslán do čekárny, kde bude znovu v klidovém režimu čekat na samotné vyšetření, jenž se provádí přibližně 3 až 6 hodiny od aplikace, kvůli správnému a dostatečnému vychytání radiofarmaka v mozku. Během této doby může pacient normálně jíst i pít.

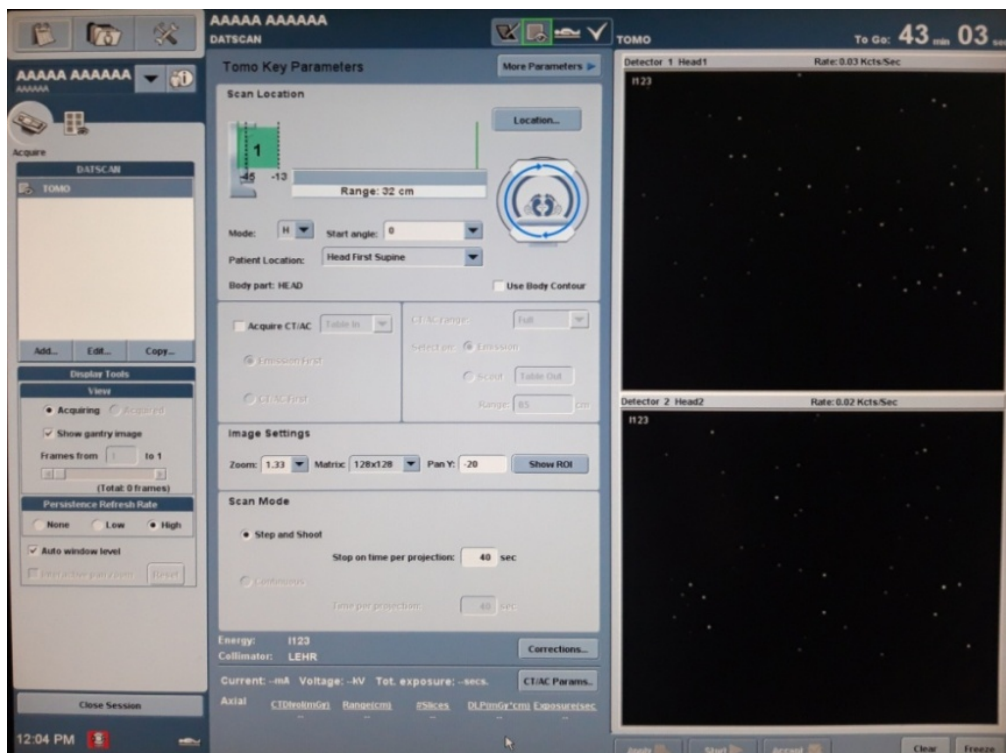
2.2.4 Likvidace odpadu

Po naaplikování pacienta je velice důležité založit průvodní list od aplikovaného radiofarmaka. Průvodní listy se zakládají do speciální, předem určené knihy, pro případ pozdější nutnosti dohledání přesných informací.

Injekční stříkačka se likviduje v souladu s platnými podmínkami pro likvidaci radioaktivního odpadu – do kryté nádoby, kde se nechá potřebnou dobu vymírat a poté se likviduje jako ostatní nemocniční odpad. Stínění, kterým je stříkačka chráněna, a kryt, ve kterém je odstíněná stříkačka přepravována, jsou odeslány zpět radiofarmaceutickým laborantům pro další využití.

2.3 Průběh scintigrafického vyšetření

Před samotným vyšetřením je pacient upozorněn radiologickým asistentem, aby si došel na toaletu a bylo tak sníženo riziko předčasného ukončení scanu a nutnosti jeho opětovného provedení. Před příchodem pacienta z toalety na vyšetřovnu si radiologický asistent připraví vše potřebné. Do počítače zadá pacientovi nacionále dle jeho karty a vybere správný protokol pro vyšetření. Jedná se o obyčejné tomografické vyšetření bez CT a taktéž bez systému pro konturování těla pacienta. Kritická je i kontrola osazení správného kolimátoru. Jelikož se při vyšetření presynaptických dopaminových transportérů využívá jako radiofarmakum ^{123}I -joflupan, kde ^{123}I emituje záření o energii 159 keV, osazuje se kolimátor pro nízké energie a s vysokým rozlišením. Dále asistent ke stolu přidělá speciální podložku s držákem hlavy, do něhož se pomocí pásu na suchý zip dostatečně pevně upevní pacientova hlava a to z důvodu nechtěného pohybu hlavy během vyšetření.



Obrázek 9. Nastavení protokolu v počítači (vlastní zdroj)

Po příchodu pacienta je znovu provedena aktivní identifikace s kontrolou údajů v počítači. Pacient je vyzván, aby si odložil své věci na místě k tomu určenému – nejčastěji se jedná o bundu, boty, tašku nebo batoh s osobními věcmi a zároveň si pacient musí odložit všechny kovové předměty z oblasti hlavy. Pacient je vyzván, aby se položil na vyšetřovací stůl, polohu zaujímá vleže na zádech s rukama podél těla. Hlavu si pacienta položí do připraveného držáku a asistent ji jen pásem na suchý zip upevní. Následně radiologický asistent zajede

s vyšetřovacím stolem, na kterém leží pacient, do gantry gamakamery tak, aby byla hlava v centru oblasti zájmu. Poté detektory gamakamery pod pečlivou vizuální kontrolou ručně přiblíží co nejbližší k hlavě pacienta a současně provede kontrolu hladké rotace kamer v rozsahu 360°. V moment, kdy je vše připravené a nastavené spouští radiologický asistent snímání. Jelikož nejde někdy pacienta přesně nastavit, je lepší zkontrolovat první snímky, zda se v centru vyšetřovacího pole nachází celá oblast zájmu.



Obrázek 10. Gamakamera s přichystaným držákem na hlavu (vlastní zdroj)

Vyšetření trvá přibližně 40 minut, provede se celkem 60 snímků s tím, že na jeden snímek připadá 40 vteřin. Kvůli délce vyšetření je sťažejní, aby pacient zůstal po celou dobu v klidu, k tomu je potřebná dobrá příprava pacienta, ale také jeho nepřetržité sledování během celého snímání. V případě, že pacientův třes je natolik silný, že by znehodnotil výsledek, nebo by nebylo vyšetření proveditelné, je zde možnost využití speciálních pomůcek. Takovými pomůckami mohou být gumové mačkácí kostičky, popřípadě i jiné tvary, kdy se u pacienta při vyvíjení aktivity v podobě mačkání gumových pomůcek stimuluje jeho třes.



Obrázek 11. Gumové pomůcky (vlastní zdroj)

Po ukončení vyšetření zkontroluje lékař sérii snímků z důvodu možnosti chybného vyšetření a v případě, že jsou snímky v pořádku, je pacient odeslán domů. Pacient po vyšetření nemusí dodržovat žádná speciální opatření, doporučuje se pouze zvýšený příjem tekutin, jelikož se radiofarmakum vylučuje močí.

2.4 Výsledek vyšetření

Výsledné scintigramy hodnotí lékař a lze na nich pozorovat akumulaci radiofarmaka v oblasti bazálních ganglií, ta jsou lékařem do obrazu zakreslena a rozdělena na jednotlivé části, čili na putamen a nucleus caudatus. Takto zakreslené hodnoty jsou porovnávány vůči svému pozadí a zároveň vůči normálním hodnotám, viz příloha D. Zhodnocené a popsané scintigramy, včetně lékařské zprávy jsou uloženy v PACSu², zároveň je jejich tištěná forma založena do karty pacienta a výsledky jsou také zaslány indikujícímu lékaři.

2.5 Nejčastější chyby při vyšetření

Během celého procesu je zde riziko vzniku relativně nepodstatných, ale i závažných chyb, jež by mohli celé vyšetření znehodnotit. Předcházení těchto chyb, ale také jejich včasné zjištění a napravení je v povinnostech radiologického asistenta.

Od příchodu pacienta na oddělení je jednou z prvních chyb, které mohou nastat, nepodání jodových tablet pacientovi před aplikací radiofarmaka. Nepodání tablet má za následek vychytávání radiofarmaka ve štítné žláze, což zvyšuje radiační zátěž štítné žlázy a může vést ke zkresleným výsledkům.

Další chybou může být nedostatečné poučení pacienta o dodržování klidového režimu a časových intervalech, čili kde se má pacient v určitou dobu nacházet. Z tohoto důvodu je někdy lepší, když má s sebou pacient doprovod, jež mu může tyto informace průběžně připomínat. Samozřejmě i přes to zdravotnický personál pacienta neustále sleduje a dohlíží, aby nutný klidový režim a stanovené časy dodržel.

Asistent by měl také dbát na zvýšené riziko při zavádění kanyly, přesněji aby kanyla nebyla zavedena tzv. „para“, tedy mimo žílu. Tento stav se dá jednoduše zkontrolovat tím, že se v komůrce kanyly objeví krev – to značí, že je napíchnutá žíla. Ověřit to lze ještě po připojení spojovací hadičky s fyziologickým roztokem – při lehkém natáhnutí, by se v hadičce měla objevit krev, opět to značí napíchnutí žíly. V případě, že by kanyla nebyla v žíle, nedostalo by se radiofarmakum do cévního řečiště a nevychytávalo by se v zájmové oblasti.

² PACS je elektronický systém pro správu, archivaci a zobrazování obrazových dat, který se využívá ve zdravotnictví (Pilný, 2021)

Po celou dobu je velmi důležitá edukace pacienta, jeho kontrola a také kontrola všech údajů před aplikací radiofarmaka. Radiologický asistent musí překontrolovat pacientovi nácionále a také potvrdit že množství aplikované aktivity radiofarmaka sedí pro daného pacienta.

V neposlední řadě je chybou pro vyšetření jednak špatné uložení pacienta, kdy ve vyšetřovacím okně není celá oblast zájmu, ale také pohyb pacienta během snímání, čímž se také výsledky znehodnotí. Radiologický asistent tedy musí dbát na to, aby byl pacient správně uložený, a po celou dobu vyšetření ho musí sledovat a zamezit jakémukoliv pohybu.

2.6 Úloha radiologického pacienta na oddělení nukleární medicíny

Radiologický asistent má, nejen na oddělení nukleární medicíny, velice důležitou roli, a to už od samotného příchodu pacienta na oddělení, kdy právě radiologický asistent provede počáteční aktivní identifikaci pacienta a ověří si veškeré potřebné základní údaje. Dále má za povinnost provést detailní edukaci pacienta, také pacienty objednává na vyšetření a vytváří jak obecný plán všech vyšetření, tak plánuje jednotlivé časy na kamerách, kdy se musí ujistit, aby se vyšetření nepřekrývala, ale plynule na sebe navazovala. V neposlední řadě provádí i samotné vyšetření pacienta.

Asistent během celé doby na pacienta dohlíží a kontroluje ho, zodpovídá za správně zavedení a ošetření intravenózního vstupu a v krajních situacích i za samotnou aplikaci radiofarmaka, častěji však při aplikaci pouze asistuje aplikujícímu lékaři. Radiologický asistent má na starosti i chystání radiofarmak, podávajících se per os a v některých případech natahuje i radiofarmaka pro intravenózní podání. V souvislosti s prací s radiofarmaky také zaručuje správnou likvidaci radioaktivního materiálu a dodržování všech bezpečnostních zásad při manipulaci s ním.

3 DISKUZE

Popis výše zmíněného scintigrafického vyšetření dopaminových transportérů je převzat z Fakultní nemocnice Hradec Králové. Místní radiologické standardy tohoto pracoviště vychází z Národní radiologických standardů dostupných z Věstníku ministerstva zdravotnictví č. 2/2016 (NRS ČR). Mimo pracoviště ve fakultní nemocnici, z těchto standardů vychází i všechna ostatní tuzemská pracoviště, dá se tedy předpokládat, že „základní kostra vyšetření“ (v rámci pojmu „základní kostra vyšetření“ je myšlena zejména indikace k vyšetření, kontraindikace, polohování pacienta, délka vyšetření a základní technické vybavení) bude na všech tuzemských pracovištích stejná (Věstník MZ č. 2/2016). NRS ČR zároveň koreluje s radiologickými standardy Evropské asociace nukleární medicíny (EANM), k níž je přidruženo 41 evropských států a 20 dalších, světových států. Mimo to EANM úzce spolupracuje ještě se Společností nukleární medicíny a molekulárního zobrazování (SNMMI), z této spolupráce také vzešel souhrn standardů pro dopaminergní zobrazování u parkinsonských syndromů. Z výše uvedeného tvrzení vyplývá fakt, že tato „základní kostra vyšetření“ je stejná, nejen na všech českých pracovištích, ale také ji při vyšetřování uplatňuje všech 61 členských zemí EANM (Djang, Janssen, Bohnen a kol., 2012; Arbizu, Barthel, Boellaard a kol., 2020).

Jednou z mála možných úprav místních standardů je přístup k blokádě štítné žlázy, která například podle NRS ČR není bezpodmínečně nutná a není zde tudíž ani upřesněná, je zde uveden pouze příklad, jímž je podání 1000 mg perchlorátu (chlorigenu, chloristanu) alespoň 30 minut před aplikací radiofarmaka (Věstník MZ č. 2/2016). Z tuzemských pracovišť uvádí podobný způsob blokády štítné žlázy například Nemocnice Pelhřimov, nebo Nemocnice Kyjov, kde podávají chlorigen dokonce 1 hodinu před aplikací (Nemocnice Pelhřimov, nedatováno; Nemocnice Kyjov, 2021). Fakultní nemocnice v Motole připravuje své pacienty taktéž pomocí chlorigenu, s tím rozdílem, že je pacientovi nejdříve podáno 400 mg přípravku 30 minut před aplikací a poté dalších 400 mg za 12 až 24 hodin po aplikaci radiofarmaka (Fakultní nemocnice Motol, 2012). Na oddělení nukleární medicíny v Hradci Králové je také standardem podávat pacientům již zmíněné chlorigenové tablety, které si pacient vezme 1 hodinu před aplikací.

Mnoho zahraničních pracovišť, jak už bylo zmíněno, vychází ze standardů EANM. V těchto standardech je blokáda štítné žlázy doporučována následovně: pomocí perorálního podání roztoku jodidu draselného, nebo Lugolova roztoku (ekvivalentně k 100 mg jodidu) nebo tablet jodidu draselného, nebo pomocí chloristanu draselného (množství 400 mg), či chloristanu sodného (množství 600 mg) a to alespoň 1 hodinu před aplikací (Djang, Janssen, Bohnen a kol., 2012). Ve Fakultní nemocnici v Augsburgu, podobně jako ve Fakultní nemocnici v Münsteru, je například preferována příprava pacienta skrze chloristanové kapky (přípravek Irenat® Tropfen) 30 minut před zahájením aplikace radiofarmaka (Universitätsklinikum Augsburg, 2021; Universitätsklinikum Münster, nedatováno)

Dalším zajímavým rozdílem, který lze u standardů pro vyšetření zaznamenat je doporučené přerušení kojení v případě laktace. NRS ČR a EANM se v tomto bodě shodují na přerušení kojení na 24 hodin po vyšetření (Věstník MZ č. 2/2016; Djang, Janssen, Bohnen a kol., 2012), SNMMI ale například udává délku 1 až 6 dnů od vyšetření (Arbizu, Barthel, Boellaard a kol., 2020), některá nemocniční zařízení v České republice, jako je Nemocnice Kyjov taktéž udává delší dobu pro přerušení kojení než pouhých 24 hodin a to přerušení až na 3 dny (Nemocnice Kyjov, 2021).

V hodnotách aplikované aktivity se zdroje většinou shodují, zlatým středem je dávka 185 MBq pro dospělého člověka (70 kg), samozřejmě je nutné přesnou dávku přepočítat podle hmotnosti pacienta. Výjimkou je Lékařská univerzita ve Vídni, kde je psána obvyklá hodnota aplikované aktivity 150 MBq (Medizinische Universität Wien, nedatováno). Menší odchylkou je rozmezí vhodného aplikovatelného množství, NRS ČR uvádí rozmezí aktivity od 150 do 200 MBq (Věstník MZ č. 2/2016), oproti tomu například EANM udává rozmezí už od 110 až do 250 MBq, některé zdroje uvádí, že by se neměla používat dávka nižší než právě 110 MBq (Djang, Janssen, Bohnen a kol., 2012; Arbizu, Barthel, Boellaard a kol., 2020).

Po aplikování radiofarmaka je na Oddělení nukleární medicíny v Hradci Králové zvykem, že pacient musí dodržovat klidový režim, tato informace však není ani v EANM, nebo SDNMMI uvedena, naopak je zde zmíněno, že pacient klidový režim dodržovat nemusí a nemusí být ani v tichém a klidném prostředí a to ani bezprostředně před i po aplikaci, kdy je na výše zmíněném oddělení pacient uložen právě do tiché a tmavé místnosti a to minimálně na 5 až 10 minut (Djang, Janssen, Bohnen a kol., 2012; Arbizu, Barthel, Boellaard a kol., 2020).

Technické parametry, jež byly v rámci této práce zahrnuty pod „základní kostru vyšetření“ se prakticky ve všech zdrojích shodují, vždy je zmíněno využití 2 až 3 detektorů s nízkoenergetickým kolimátorem a nastaveným fotopeakem na 159 keV. Pro vyšetření je doporučováno nastavení matice minimálně na 128 x 128, zoom faktor, určující velikost pixelu, odpovídá hodnotám 1,25 – 1,33 a čas potřebný na provedení jedné projekce se také, až na menší odchylky, shoduje a jeho hodnota je stanovena na $30 - 40 \pm 5$ vteřin (Věstník MZ č. 2/2016; Djang, Janssen, Bohnen a kol., 2012; Arbizu, Barthel, Boellaard a kol., 2020).

Radiofarmakum DaTSCAN (^{123}I -FP-CIT) však není jediný přípravek, který lze pro scintigrafické zobrazení transportérů dopaminu využít, další možnou variantou je například radiofarmakum ^{123}I - β -CIT. Tato látka umožňuje stejně jako joflupan zobrazení dopaminových transportérů, bohužel, oproti zmíněnému DaTSCANu dochází ke stabilnímu nasycení bazálních ganglií až za 20 – 30 hodin od aplikace, což se ukázalo jako velmi nepraktické z hlediska ambulantního vyšetření. Zahraniční studie (Eerola, Tienari, Kaakkola, Nikkinen a Launes, 2005) zmiňuje i fakt, že účinnost přípravku ^{123}I - β -CIT, tedy jeho citlivost a specifita, je dána věkem pacienta, radiofarmakum se jeví jako citlivější a specifitější především u pacientů mladších 55 let. Nespornou výhodou ^{123}I -FP-CIT je kratší čekací doba (3 – 6 hodin) pro samotné snímání obrazu, proto je právě toto radiofarmakum upřednostněno v ambulantní péči. Další zdroje (Park, 2012; Seibyl, Marek, Sheff, Zoghbi, Baldwin, Charney, Dyck a Innis, 1998) uvádějí, že i přes srovnatelnou klinickou účinnost ^{123}I - β -CIT a ^{123}I -FP-CIT, má právě ^{123}I -FP-CIT, díky rychlejší kinetice, vyšší selektivitu pro dopaminové transportéry, navíc je také oproti ^{123}I - β -CIT citlivější na redukci dopaminergních buněk a tím související hustotu absorpce radiofarmaka.

Přípravek $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -TRODAT-1 je dalším radiofarmakem, které lze k vyhodnocení odpovědi dopaminových transportérů využít. Aplikovaná aktivita tohoto radiofarmaka je však oproti ^{123}I -FP-CIT mnohem vyšší. Zatímco u DaTSCANu činí aplikovaná aktivita standardně přibližně 185 MBq (70 kg), u $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -TRODAT-1 se aplikovaná aktivita, dle některých studií, pohybovala až k 925 MBq (Laere, Ceuninck a Dom, 2004; Geng, Shi, Jiang, Xu, Hu a Shao, 2005). Zobrazování se u obou radiofarmak provádí přibližně za stejnou dobu od aplikace, u ^{123}I -FP-CIT to může být za 3 až 6 hodin a u $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -TRODAT-1 je vyšetření možné provést za 3 až 4 hodiny od podání radiofarmaka (Arjona, Toldo, Queiroz, Pedroso, Neto, Barsottini a Felicio, 2020; Geng, Shi, Jiang, Xu, Hu a Shao, 2005).

Technické parametry jsou u obou vyšetření stejné, využívá se stejné matice 128 x 128, podobná šíře řezu i čas potřebný na získání jednoho snímku. Rozdílným parametrem je ale například nastavení energetického okna, které se pro technecium nastavuje na hodnotu 140 keV (Geng, Shi, Jiang, Xu, Hu a Shao, 2005; Sasannezhad, Juibary, Sadri, Sadeghi, Sabour, Kakhki a Alizadeh, 2017).

Radiofarmakum ^{99m}Tc -TRODAT-1 není i přes své nízké pořizovací náklady, ve srovnání s výrobou ^{123}I , často používanou doménou při scintigrafickém vyšetření. Jedním z možných důvodů jsou jeho přesnost, citlivost a specifická, které jsou v porovnání s ^{123}I -FP-CIT nižší. Zahraniční studie (Laere, Ceuninck a Dom, 2004) udává jeho přesnost přibližně 87 %, citlivost 92 % a specifická pouhých 70 %, oproti tomu ^{123}I -FP-CIT s přesností až 93 %, účinností 95 % a specifickostí až 86 % se ukázalo jako výhodnější marker při sledování účinků léčby, ale i v samotné diagnostice.

4 ZÁVĚR

Bakalářská práce nesoucí název SPECT zobrazení presynaptických dopaminových transportérů v mozku u pacientů s Parkinsonovou chorobou – úloha radiologického asistenta se zabývá prospěšností oboru nukleární medicíny v oblasti diagnostiky Parkinsonovy choroby a také uceluje práci radiologického asistenta jak celkově, na oddělení nukleární medicíny, tak i při tomto konkrétním vyšetření.

Teoretická část popisuje základní anatomii mozku, konkrétněji pak anatomii bazálních ganglií. Snaží se přiblížit problematiku PCH a shrnout základní možné metody diagnostiky a terapie onemocnění. Dále zkoumá obecné aspekty z oblasti nukleární medicíny, zejména se soustředí na rozvíjení jednofotonové emisní výpočetní tomografie (SPECT), jelikož tato metoda je právě jednou z primárně užitých metod při diferenciální diagnostice PCH. Jednou z dalších kapitol je také kapitola přibližující osobu radiologického asistenta, její kompetence a umístění. Radiologický asistent je totiž nedílnou součástí oddělení nukleární medicíny a je většinou první osobou, se kterou se pacient při příchodu na oddělení setká. Radiologický asistent pacienta po celou dobu, už od jeho příchodu na oddělení, provází, seznamuje ho s výkonem a poskytuje mu veškeré možné informace a podporu během vyšetření. Poslední kapitola v teoretické části se věnuje radiační ochraně, jež je při práci se zdroji ionizujícího záření velice důležitá.

Praktická část bakalářské práce podrobně popisuje scintigrafické vyšetření dopaminových transportérů, převzaté z Fakultní nemocnice Hradec Králové. Zdůrazňuje nezbytnost přípravy pacienta a jeho edukace a znovu a podrobněji poukazuje na práci radiologického asistenta během celého vyšetření. Závěrem shrnuje nejčastější chyby, jichž se při vyšetření musí personál, převážně ale radiologický asistent, vyvarovat.

Cílem této bakalářské práce bylo ucelit a shrnout všechny základní a důležité informace o Parkinsonově chorobě do srozumitelného textu a vyzdvihnout význam nukleární medicíny v její diagnostice. Metody nukleární medicíny, zejména pak SPECT, znamenají velké pozitivum v oblasti diferenciální diagnostiky PCH, umožňují tuto nemoc odlišit od jiných příčin parkinsonismu a tím tak dopřát pacientovi správnou možnost léčby.

5 SEZNAM ZDROJŮ

5.1 Použitá literatura

ČIHÁK, Radomír, 1997. Anatomie 3. Praha: Grada, 655 s. ISBN 80-7169-140-2.

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

KRAFT, Otakar a Jan PEKÁREK, 2012. Radiofarmaka. Ostrava: Ostravská univerzita v Ostravě, Lékařská fakulta. 97 s. ISBN 978-80-7464-183-1.

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.

KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI a Martin ŠÁMAL, 2007. Nukleární medicína: [učební text]. Praha]: P3K, 185 s. ISBN 978-80-903584-9-2.

NICHOLLS, John G, 2013. Od neuronu k mozku. Praha: Academia. 675 s. ISBN 978-80-200-2155-7.

RUSINA, Robert a Radoslav MATĚJ, 2014. Neurodegenerativní onemocnění. Praha: Mladá fronta. Aeskulap, 448 s. ISBN 978-80-204-3300-8.

5.2 Elektronické zdroje

ALDRED, J. a J. NUTT. Levodopa. KOMPOLITI, Katie a Leo Verhagen METMAN, 2010. The Encyclopedia of Movement Disorders: Three-Volume Set [online]. Elsevier, 132-137 s. [cit. 2021-03-20]. ISBN 978-0-12-374105-9. Dostupné z: <http://libgen.rs/book/index.php?md5=FE7A9AA3F44C013B9073751AC15B85F2>

ARBIZU, Javier, Henryk BARTHEL, Ronald BOELLAARD a kol., 2020. EANM practice guideline/SNMMI procedure standard for dopaminergic imaging in Parkinsonian syndromes 1.0. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging [online]. 47(8), 1885 - 1912 s. [cit. 2021-04-02]. ISSN 1619-7070. Dostupné z: doi:10.1007/s00259-020-04817-8

ARJONA, Michelly, Juliana M. P. TOLDO, Natalia Carvalho QUEIROZ, Jose Luiz PEDROSO, Guilherme de Carvalho Campos NETO, Orlando G. P. BARSOTTINI a Andre C. FELICIO, 2020. A Real-World Study of Cerebral ^{99m}Tc-TRODAT-1 Single-Photon Emission Computed Tomography (SPECT) Imaging of the Dopamine Transporter in Patients

with Parkinson Disease from a Tertiary Hospital in Brazil. Medical science monitor : international medical journal of experimental and clinical research [online]. 23. prosinec 2020, 26(e925130) [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: doi: doi.org/10.12659/MSM.925130

BAREŠ, M, 2011. Diagnostika a klinické příznaky Parkinsonovy choroby. Solen [online]. č. 1, [cit. 2012-04-15]. Dostupný z: <http://solen.cz/pdfs/neu/2001/01/08.pdf>

BHATIA, Kailash P., K. Ray CHAUDHURI a Maria STAMELOU, 2017. International Review of Neurobiology: Parkinson's Disease. Svazek 132. Elsevier [cit. 2021-03-19]. 523 s. ISBN 978-0-12-809714-4. Dostupné z: <http://libgen.rs/book/index.php?md5=84486A4A652170656730BDE702995E44>

BLANCO, Roberto López a Álvaro Sánchez FERRO, 2019. The Diagnosis of Parkinson's Disease: Current Clinical Practice and Future Trends. Pathology, Prevention and Therapeutics of Neurodegenerative Disease [online]. Singapore: Springer [cit. 2021-03-19]. 103 – 116 s. ISBN 978-981-13-0944-1. Dostupné z: <https://booksc.org/book/72700971/956248>

ČESKO, 2004. Zákon č. 94/2004 Sb. [online]. 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) [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2004-96/zneni-20210101>

ČESKO, 2016. Věstník MZ č. 2/2016. [online]. Věstník č. 2/2016 [cit 2021-03-31]. Dostupné z: <https://www.mzcr.cz/vestnik/vestnik-c-2-2016/>

ČESKO, 2016. Vyhláška č. 422/2016 Sb. [online]. Vyhláška o radiační ochraně a zabezpečení radionuklidového zdroje [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.sujb.cz/fileadmin/sujb/docs/legislativa/vyhlasky/sb0172-2016.pdf>

ČESKO, 2016. Zákon č. 263/2016 Sb. [online]. Atomový zákon [cit 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.zakonyprolidi.cz/cs/2016-263>

DaTSCAN : EPAR - Product Information. European Medicines Agency: DaTSCAN [online]. Eindhoven, Nizozemsko: GE Healthcare B.V., 2021, 2. 3. 2021 [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: https://www.ema.europa.eu/en/documents/product-information/datscan-epar-product-information_cs.pdf

DIERCKX, Rudi A. J. O., Andreas OTTE, Erik F. J. de VRIES, Aren van WAARDE a Klaus L. LEENDERS, 2020. PET and SPECT in Neurology [online]. Druhé. Cham, Švýcarsko: Springer [cit. 2021-03-19]. 1289 s. ISBN 978-3-030-53167-6. Dostupné z: <http://libgen.rs/book/index.php?md5=28AC4387396E4FE5A2675E3293221560>

DJANG, D. S. W., M. J. R. JANSSEN, N. BOHNEN a kol., 2012. SNM Practice Guideline for Dopamine Transporter Imaging with 123I-Ioflupane SPECT 1.0. The Journal of Nuclear medicine [online]. 53(1), 154 - 163 s. [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: [doi:10.2967/jnumed.111.100784](https://doi.org/10.2967/jnumed.111.100784)

EEROLA, J., P. J. TIENARI, S. KAAKKOLA, P. NIKKINEN a J. LAUNES, 2005. How useful is [123I]b-CIT SPECT in clinical practice? Journal of neurology, neurosurgery, and psychiatry [online]. 76(9), 1211 - 1216 s. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: [doi:doi.org/10.1136/jnnp.2004.045237](https://doi.org/10.1136/jnnp.2004.045237)

FACTOR, Stewart A. a William J. WEINER, 2008. Parkinson's Disease: Diagnosis and Clinical Management [online]. 2. New York: Demos Medical Publishing [cit. 2021-03-19]. 858 s. ISBN 978-1-933864-00-6. Dostupné z: <http://libgen.rs/book/index.php?md5=190FB02407D1C547F40084B65DF32142>

FAKULTNÍ NEMOCNICE V MOTOLE, 2012. Informace pro pacienty - scintigrafická vyšetření. [online]. Praha: Fakultní nemocnice v Motole [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.fnmotol.cz/kliniky-a-oddeleni/cast-pro-dospELE/klinika-nuklearni-mediciny-a-endokrinologie-uk-2-1/ambulance/informace-pro-pacienty-scintigraficka-vysetreni/#6>

GENG, Yu, Guo-hua SHI, Yun JIANG, Ling-xun XU, Xing-yue HU a Yu-quan SHAO, 2005. Investigating the role of 99mTc-TRODAT-1 SPECT imaging in idiopathic Parkinson's disease. Journal of Zhejiang University Science B [online]. 6(1), 22 - 27 s. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://www.ncbi.nlm.nih.gov/pmc/articles/PMC1390754/>

HOPKINS, Corey R, 2016. Novel Therapeutic Approaches to the Treatment of Parkinson's Disease [online]. Švýcarsko: Springer International Publishing [cit. 2021-03-20]. 158 s. ISBN 978-3-319-39926-3. Dostupné z: <http://libgen.rs/book/index.php?md5=64661B6AEC352AFF4E2A8A75DC0C7FDB>

HUGHES, A. J., S. E. DANIEL, L. KILFORD a A. J. LEES, 1992. Accuracy of clinical diagnosis of idiopathic Parkinson's disease: a clinico-pathological study of 100 cases. Journal

of Neurology, Neurosurgery & Psychiatry [online]. 181 – 184 s. [cit. 2020-08-15]. Dostupné z: <https://jnnp.bmj.com/content/jnnp/55/3/181.full.pdf>.

ISRRT, 2021. About. ISRRT. ISRRT [online]. Londýn: ISRRT [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.isrrt.org/about-2>

LAERE, K. Van, L. De CEUNINCK, R. DOM, et al, 2004. Dopamine transporter SPECT using fast kinetic ligands: 123I-FP-beta-CIT versus 99mTc-TRODAT-1. European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging [online]. 31(8), 1119 – 1127 s. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: doi: doi.org/10.1007/s00259-004-1480-6

LEBEDA, O., M. FIŠER, P. HRADILEK, J. RÁLIŠ a D. SEIFERT, 2009. Souhrny přednášek: XXXI. pracovní dny sekce radiofarmacie české společnosti nukleární medicíny ČLS JEP: Výroba 123I a přednosti radiofarmak značených tímto radionuklidem. Česká a slovenská farmacie [online]. Hradec Králové, 58(3), 133 - 134 s. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-farmacie/2009-3/xxxi-pracovni-dny-sekce-radiofarmacie-ceske-spolecnosti-nuklearni-mediciny-cls-jep-7589/download?hl=cs>

MAĎA, Patrik a Josef FONTANA. 4. Neurotransmisní systémy. Funkce buněk a lidského těla [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <http://fbt.cz/skripta/regulacni-mechanismy-2-nervova-regulace/5-neurotransmisni-systemy/>

MAĎA, Patrik a Josef FONTANA. Synteza katecholaminu. In: Funkce buněk a lidského těla: 4. Neurotransmisní systémy [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <http://fbt.cz/wp-content/uploads/2013/12/Synteza-katecholaminu-011.jpg>

MEDIZINISCHE UNIVERSITÄT WIEN. Examination Spectrum. Medizinische Universität Wien: Universitätsklinik für radiologie und nuklearmedizin [online]. Vídeň [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://radnuk.meduniwien.ac.at/en/home/patient-information/examinations/neuro-nuclear-medicine/examination-spectrum>

MITCHELL, Kyle T. a Jill L. OSTREM, 2020. Surgical Treatment of Parkinson Disease. Neurologic Clinics [online]. Elsevier, 2020, květen, svazek 38, 2. vydání, 293-307 s, [cit. 2021-03-19]. Dostupné z: <https://pubmed.ncbi.nlm.nih.gov/32279711/>

NEMOCNICE KYJOV, 2021. Nukleární medicína: Informace pro odbornou veřejnost. Nemocnice Kyjov [online]. Kyjov [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.nemkyj.cz/nuklearni-medicina>

NEMOCNICE PELHŘIMOV. Oddělení nukleární medicíny: Informace o některých vyšetřeních na ONM. Nemocnice Pelhřimov [online]. Pelhřimov [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: http://www.hospital-pe.cz/?page_id=311

PARK, Eunkyung, 2012. A New Era of Clinical Dopamine Transporter Imaging Using 123I-FP-CIT. Journal of Nuclear Medicine Technology [online]. 40(4), 222 - 228 s. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: [doi:doi.org/10.2967/jnmt.112.111617](https://doi.org/10.2967/jnmt.112.111617)

PARKINSON'S FOUNDATION, 2018. Parkinson's Disease vs. Parkinsonism. [online]. Parkinson's Foundation [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.parkinson.org/sites/default/files/attachments/Parkinsons-Disease-vs-Parkinsonisms.pdf>

PILNÝ, Milan, 2021. Systémy PACS z hlediska databázových informačních systémů. SystemOnLine.cz - ekonomické a informační systémy v praxi [online]. CCB spol. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <https://www.systemonline.cz/it-pro-verejny-sektor-a-zdravotnictvi/systemy-pacs-z-hlediska-databazovych-systemu.htm>

SASANNEZHAD, Payam, Ali Ghabeli JUIBARY, Kayvan SADRI, Ramin SADEGHI, Mahsa SABOUR, Vahid Reza Dabbagh KAKHKI a Hesam ALIZADEH, 2017. 99mTc-TRODAT-1 SPECT Imaging in Early and Late Onset Parkinson's Disease. Asia Oceania journal of nuclear medicine & biology [online]. 5(2), 114 - 119 s. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: [doi: doi.org/10.22038/aojnmb.2017.8844](https://doi.org/10.22038/aojnmb.2017.8844)

SEIBYL, J. P., K. MAREK, K. SHEFF, S. ZOGHBI, R. M. BALDWIN, D. S. CHARNEY, C. H. van DYCK a R. B. INNIS, 1998. Iodine-123-beta-CIT and iodine-123-FPCIT SPECT measurement of dopamine transporters in healthy subjects and Parkinson's patients. Journal of Nuclear Medicine [online]. 39(9), 1500 - 1508 s. [cit. 2021-03-28]. Dostupné z: <https://jnm.snmjournals.org/content/39/9/1500.long>

SPOLEČNOST RADIOLOGICKÝCH ASISTENTŮ ČR. Historie oboru a Společnosti radiologických asistentů. Společnost radiologických asistentů ČR [online]. Olomouc: Společnost radiologických asistentů ČR [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <http://srlacr.cz/historie-oboru-a-spolecnosti-radiologickych-asistentu/>

UNIVERSITÄTSKLINIKUM AUGSBURG, 2021. Szintigraphie & SPECT: Diagnostik des Hirns. Universitätsklinikum Augsburg [online]. Augsburg [cit. 2021-04-02]. Dostupné z:

<https://www.uk-augsburg.de/kliniken-und-institute/klinik-fuer-nuklearmedizin/diagnostik/szintigraphie-spect.html>

UNIVERSITÄTSKLINIKUM MÜNSTER. Klinik für Nuklearmedizin: Dopamin-Transporter (DatSCAN). Universitätsklinikum Münster [online]. Münster [cit. 2021-04-02]. Dostupné z: <https://www.ukm.de/index.php?id=7781>

VAJDÁK, Šimon. Cyklotron: Vývoj a trendy [online]. ÚJV Řež [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: https://www.csfm.cz/userfiles/file/Prezentace_KRF2017/vadjak.pdf

VOLTERRANI, Duccio, Giuliano MARIANI, Paola Anna ERBA, H. William STRAUSS a Ignasi CARRIÓ, 2019. Nuclear Medicine Textbook: Methodology and Clinical Applications [online]. Cham, Švýcarsko: Springer International Publishing [cit. 2021-03-20]. 1321 s. ISBN 978-3-319-95563-6. Dostupné z: <http://libgen.rs/book/index.php?md5=8DF3DC1E654AA4C648CBBA52C1C84546>

ZIESSMAN, Harvey A., Janis P. O'MALLEY a James H. THRALL, 2014. Nuclear Medicine: The Requisites [online]. Čtvrté. Filadelfie: Elsevier [cit. 2021-03-19]. 456 s. ISBN 978-0-323-08299-0. Dostupné z: <http://libgen.rs/book/index.php?md5=46671F0718D7737FF417A77812296C41>

5.3 Zdroje obrázků

MAĎA, Patrik a Josef FONTANA. Synteza katecholaminu. In: Funkce buněk a lidského těla: 4. Neurotransmisní systémy [online]. [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: <http://fblt.cz/wp-content/uploads/2013/12/Synteza-katecholaminu-011.jpg>

NIEUWENHUYS, R., J. VOOGD a C. van HUIJZENI 2008. Section I Orientation, Development, Gross Anatomy, Blood Supply and Meninges. The human central nervous system [online]. 4th ed. Berlin: Springer, 145 - 170 s. [cit. 2021-03-23]. ISBN 978-3-540-34684-5. Dostupné z: <http://libgen.rs/book/index.php?md5=79FB9469DBDB34F8D711B39566684AEB>

VAJDÁK, Šimon, 2017. Cyklotron: Vývoj a trendy [online]. ÚJV Řež [cit. 2021-03-20]. Dostupné z: https://www.csfm.cz/userfiles/file/Prezentace_KRF2017/vadjak.pdf

6 PŘÍLOHY

Příloha A Diagnostická kritéria Parkinsonovy choroby britské mozkové banky (UKPDSBB) (Hughes, Daniel, Kilford a Lees, 1992).....	63
Příloha B Informovaný souhlas (přední strana) (Oddělení nukleární medicíny FNHK).....	64
Příloha C Informovaný souhlas (zadní strana) (Oddělení nukleární medicíny FNHK)	65
Příloha D Rozmezí normálních hodnot pro zhodnocení výsledků (Oddělení nukleární medicíny FNHK)	66

Příloha A Diagnostická kritéria Parkinsonovy choroby britské mozkové banky (UKPDSBB) (Hughes, Daniel, Kilford a Lees, 1992)

Krok 1: Diagnóza parkinsonského syndromu
<ul style="list-style-type: none">- hypokineze- a nejméně jeden z následujících příznaků:<ul style="list-style-type: none">▪ svalová rigidita▪ klidový třes (4 – 6 Hz)▪ posturální instabilita (není způsobena primární poruchou zraku, vestibulární, mozečkové nebo proprioceptivní funkce)
Krok 2: Vylučovací kritéria Parkinsonovy choroby
<p>U pacienta se nesmí vyskytovat žádný z následujících příznaků:</p> <ul style="list-style-type: none">- historie opakovaných mrtvic s postupným vývojem parkinsonských rysů- opakované úrazy hlavy- prodělaná encefalitida- okulogyrní krize- neuroleptická léčba při nástupu příznaků- více než jeden podobný případ v rodině- trvalá remise- výlučně jednostranné postižení po více než třech letech trvání obtíží- supranukleární pohledová obrna- mozečkové příznaky- časné těžké autonomní postižení- časná těžká demence poruchami paměti, řeči a poruchami praxe- Babinskiho příznak- přítomnost mozkového nádoru nebo komunikujícího hydrocefalu na CT- negativní odpověď na vysoké dávky L-DOPA (pokud je vyloučena malabsorpce)- vystavení MPTP
Krok 3: Podpůrná prospektivní pozitivní kritéria Parkinsonovy choroby
<p>Pro diagnostiku definitivní Parkinsonovy nemoci musí být přítomny tři a více příznaků:</p> <ul style="list-style-type: none">- jednostranný nástup- klidový třes- progresivní průběh- trvalá asymetrie ovlivňující nejvíce stranu nástupu- vynikající odpověď na Levodopu (70-100 % zlepšení)- těžká chorea vyvolána Levodopou- odpověď Levodopy po dobu 5 nebo více let- klinický průběh 10 a více let

Příloha B Informovaný souhlas (přední strana) (Oddělení nukleární medicíny FNHK)



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: SPECT zobrazení dopaminových transporterů ve striatu pomocí
ligandů značených ^{123}I

Radiofarmakum: ^{123}I – joflupan

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:

Příloha C Informovaný souhlas (zadní strana) (Oddělení nukleární medicíny FNHK)

Podání $KClO_4$ 2x200mg tbl čas: podal/a:

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:

Příloha D Rozmezí normálních hodnot pro zhodnocení výsledků (Oddělení nukleární medicíny FNHK)

DaTSCAN

Putamen Left	3.72
Normal	3.03 - 3.83
Putamen Right	3.99

Caudate Left	4.89
Normal	3.97 - 5.05
Caudate Right	4.97

Striatum Left	4.25
Normal	3.49 - 4.39
Striatum Right	4.43

Put/Caud Left	0.84
Normal	0.80 - 0.87
Put/Caud Right	0.87

Indexy:

ROI (rekonstrukce, korekce na atenuaci)	Index
→ Striatum (OSEM,AC)	2,6 ± 0,5
→ Striatum (FBP,AC)	2,8 ± 0,5
→ Caudatum (OSEM,AC)	2,8 ± 0,5
→ Caudatum (FBP,AC)	3,0 ± 0,5
→ Putamen (OSEM,AC)	2,4 ± 0,5
→ Putamen (FBP,AC)	2,6 ± 0,5