

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

BAKALÁŘSKÁ PRÁCE

2023

Matěj Bulant

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

Studijní program: Specializace ve zdravotnictví (B5345)

Matěj Bulant

Studijní obor: Radiologická asistence (B0914P360016)

VYŠETŘENÍ CNS METODAMI NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY

Bakalářská práce

Vedoucí práce: MUDr. Alexander Malán

PLZEŇ 2023

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem bakalářskou práci vypracoval/a samostatně a všechny použité prameny jsem uvedl/a v seznamu použitých zdrojů.

V Plzni dne

.....

vlastnoruční podpis

Poděkování:

Děkuji vedoucímu práce MUDr. Alexandru Malánovi za odborné vedení práce, poskytování rad a materiálních podkladů

Anotace

Příjmení a jméno: Bulant Matěj

Katedra: Katedra záchranářství, diagnostických oborů a veřejného zdravotnictví

Název práce: Vyšetření CNS metodami nukleární medicíny

Vedoucí práce: MUDr. Alexander Malán

Počet stran – číslované: 56

Počet stran – nečíslované: 17

Počet příloh: 1

Počet titulů použité literatury: 20

Klíčová slova: nukleární medicína, centrální nervový systém, bazální ganglia, multisystémová atrofie, radiofarmaka, Parkinsonova choroba

Souhrn:

Bakalářská práce nese název Vyšetření centrálního nervového systému metodami nukleární medicíny. Je rozdělena do dvou částí. Teoretická část se skládá z 6 kapitol a zahrnuje základní anatomii a patologii CNS, vznik radioaktivního záření a jednotlivých druhů záření včetně jednotlivých fyzikálních veličin s nimi spojených, dále radiofarmaka a jejich výroba. Poté je popsána nukleární medicína a zobrazovací metody užívané v nukleární medicíně. Závěrem a zároveň nejdůležitější částí je vyšetření CNS metodami nukleární medicíny, kde jsou obsažena jednotlivá vyšetření včetně užívaných radiofarmak, indikace a hodnocení jednotlivých vyšetření. Praktická část se skládá ze statistického rozboru vyšetření prováděných na oddělení nukleární medicíny FN Plzeň a čtyřech případových studiích, které popisují symptomy, diagnostiku a léčbu Parkinsonovy choroby.

Abstract

Surname and name: Bulant Matěj

Department: Department of emergency medicine, diagnostic fields and public health

Title of thesis: Examination of the central nervous system using nuclear medicine methods

Consultant: MUDr. Alexander Malán

Number of pages – numbered: 55

Number of pages – unnumbered: 20

Number of appendices: 1

Number of literature items used: 20

Keywords: nuclear medicine, central nervous system, basal ganglia, multisystem atrophy, radiopharmaceuticals, Parkinson disease

Summary:

The bachelor's thesis is called examination of the central nervous system using nuclear medicine methods. It is divided into two parts. The theoretical part includes the basic anatomy and pathology of the central nervous system, radioactivity and individual types of radiation, including the individual physical quantities associated with them, as well as radiopharmaceuticals and their production. Then nuclear medicine and the imaging methods used in nuclear medicine are described. The conclusion and at the same time the most important part is the examination of the central nervous system by nuclear medicine methods, which includes individual examinations including the radiopharmaceuticals used, indications and evaluation of individual examinations. The practical part consists of a statistical analysis of examinations performed at the Department of Nuclear Medicine of the FN Plzeň and four case studies that describe the symptoms, diagnosis and treatment of Parkinson's disease.

OBSAH

ÚVOD.....	15
TEORETICKÁ ČÁST	16
1 ANATOMIE CENTRÁLNÍHO NERVOVÉHO SYSTÉMU	16
1.1 Mozek	16
1.2 Páteřní mícha (medulla spinalis).....	16
1.3 Meningy (mozkomíšní pleny).....	17
1.4 Komorový systém	17
1.5 Mozkomíšní mok	17
2 PATOLOGIE CENTRÁLNÍHO NERVOVÉHO SYSTÉMU	18
2.1 Mozková smrt	18
2.2 Hydrocefalus	18
2.3 Cévní mozková příhoda	18
2.4 Epilepsie.....	19
2.5 Degenerativní onemocnění	19
2.6 Migréna	20
2.7 Nádory mozku.....	21
3 ATOM, RADIONUKLIDY A RADIOAKTIVITA	22
3.1 Atom	22
3.2 Radioaktivita.....	22
3.2.1 Přeměna alfa	23
3.2.2 Přeměna beta ⁻	23
3.2.3 Přeměna beta ⁺	23
3.2.4 Přeměna gama.....	23
3.2.5 Elektronový záchyt.....	24
3.2.6 Izomerní přechod.....	24
3.3 Energie záření	24
3.4 Aktivita	24
3.5 Poločas rozpadu	25
3.6 Interakce záření s hmotou	25
3.6.1 Fotoefekt.....	25
3.6.2 Comptonův rozptyl.....	26
3.6.3 Tvorba elektron-pozitronového páru	26
4 RADIOFARMAKA.....	27
4.1 Výroba radiofarmak	27
4.1.1 Výroba v Jaderném reaktoru.....	27

4.1.2	Výroba v cyklotronu	27
4.1.3	Výroba v generátorech.....	28
4.2	Kontrola radiofarmak.....	28
4.3	Lékové formy radiofarmak	29
4.4	Uchovávání radiofarmak.....	29
4.5	Kontrola SÚJB.....	30
5	ZOBRAZOVACÍ METODY NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY	31
5.1	Nukleární medicína.....	31
5.2	Gama kamera	31
5.3	Scintigrafie.....	32
5.4	SPECT	32
5.5	PET	33
5.6	CT	34
5.7	Magnetická rezonance	34
5.8	Hybridní zobrazovací metody NM	35
5.8.1	SPECT/CT	35
5.8.2	PET/CT.....	35
5.8.3	PET/MR.....	36
6	VYŠETŘENÍ CNS METODAMI NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY	37
6.1	Statická scintigrafie mozku.....	37
6.2	Perfuzní scintigrafie mozku	37
6.2.1	Indikace a hodnocení	38
6.3	Zobrazení dopaminových drah	39
6.3.1	Indikace a hodnocení	39
6.4	PET vyšetření mozku pomocí ¹⁸ F-FDG.....	39
6.4.1	Indikace a hodnocení	40
6.5	Zobrazení tumorů ostatními radiofarmaky	40
6.6	Radionuklidová cisternografie	40
6.6.1	Indikace a hodnocení	40
	PRAKTICKÁ ČÁST	42
7	CÍLE PRÁCE, VÝZKUMNÉ OTÁZKY, METODIKA	42
7.1	Hlavní cíle.....	42
7.2	Výzkumné otázky	42
7.3	Metodika	42
8	STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ	43
8.1	Zastoupení jednotlivých zobrazovacích v kombinaci s radiofarmaky.....	43
8.2	Zastoupení dle pohlaví.....	45

8.3	Zastoupení pohlaví u jednotlivých vyšetření	46
8.4	Uskutečněná vyšetření za jednotlivé roky	48
8.4.1	SPECT/CT – ^{99m}Tc – bicisát	48
8.4.2	SPECT/CT – ^{99m}Tc – HMPAO.....	49
8.4.3	PET/CT – ^{18}F – FDG	50
8.4.4	PET/CT – ^{18}F – FLT	51
8.4.5	PET/CT – ^{18}F – L - DOPA	52
8.4.6	PET/MR – ^{18}F – FLT	53
8.4.7	PET/MR – ^{18}F –L-DOPA	54
8.5	Věkové zastoupení pacientů na PET/CT s RF ^{18}F -IASODOPA	55
8.6	Věkové zastoupení pacientů na PET/MR s RF ^{18}F -IASODOPA	56
9	KAZUISTIKY	58
9.1	Kazuistika č. 1.....	58
9.2	Kazuistika č. 2.....	60
9.3	Kazuistika č. 3.....	63
9.4	Kazuistika č. 4.....	65
	DISKUZE	67
	ZÁVĚR.....	70
	SEZNAM GRAFŮ	11
	SEZNAM OBRÁZKŮ	12
	SEZNAM TABULEK	13
	SEZNAM ZKRATEK	14
	SEZNAM LITERATURY	71
	SEZNAM PŘÍLOH	73

SEZNAM GRAFŮ

Graf 1 - Zobrazovací metody užité v NM pro diagnostiku CNS.....	44
Graf 2 - Procentuální zastoupení dle pohlaví	45
Graf 3 - Zastoupení pohlaví u jednotlivých vyšetření CNS v NM.....	47
Graf 4 – Časový vývoj u zobrazovací metody SPECT/CT ⁹⁹ mTc-bicisát	48
Graf 5 - Časový vývoj u zobrazovací metody SPECT/CT – ⁹⁹ mTc – HMPAO	49
Graf 6 - Časový vývoj u zobrazovací metody PET/CT – ¹⁸ F – FDG.....	50
Graf 7 - Časový vývoj u zobrazovací metody PET/CT – ¹⁸ F – FLT.....	51
Graf 8 - Časový vývoj u zobrazovací metody PET/CT – ¹⁸ F – L - DOPA	52
Graf 9 - Časový vývoj u zobrazovací metody PET/MR – ¹⁸ F – FLT.....	53
Graf 10 - Časový vývoj u zobrazovací metody PET/MR – ¹⁸ F–L-DOPA	54
Graf 11 - Věkové zastoupení pacientů vyšetřených na PET/CT s RF ¹⁸ F-IASODOPA	55
Graf 12 - Věkové zastoupení pacientů vyšetřených na PET/MR s RF ¹⁸ F-IASODOPA	57

SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1 - Vyšetření na PET/MR - větší akumulace RF vpravo	59
Obrázek 2 - Podezření na PN u pacienta č.2	61
Obrázek 3 - Doplnující vyšetření MR mozku u pacienta č.2	62
Obrázek 4 - Pacient č.3 s diagnostikovanou PN.....	64
Obrázek 5 - Pacient č.4 s nálezem výrazného narušení dopaminergního systému	66

SEZNAM TABULEK

Tabulka 1 - Jednotlivá vyšetření za sledované období ve FN Plzeň	43
Tabulka 2 - Zastoupení vyšetření dle pohlaví	45
Tabulka 3 - Zastoupení pohlaví u jednotlivých radionuklidových vyšetření CNS	46
Tabulka 4 - Věkové zastoupení pacientů na PET/CT s RF ¹⁸ F-IASODOPA.....	55
Tabulka 5 - Věkové zastoupení pacientů na PET/MR s RF ¹⁸ F-IASODOPA.....	56

SEZNAM ZKRATEK

CNS – centrální nervový systém

CMP – cévní mozková příhoda

ACTH – adenokortikotropní hormon

MDF – methyldifosfát

SPECT – jednofotonová emisní tomografie

PET – pozitronová emisní tomografie

CT – výpočetní tomografie

MR – magnetická rezonance

BGO – bismut germania

LSO – lutecium oxyorthosilikát

FDG – fluorodeoxyglukóza

HEB – hematoencefalická bariéra

HMPAO – hexymethylpropylenamino oxim

ECD – bicisát, diethyl ester dihydrochloride

FLT – fluorothymidin

DOPA – dyhydroxyfenylalanin

DTPA – diethylentriaminpentaacetát

PN – Parkinsonova nemoc

RF – radiofarmakum

MSA – multisystémová atrofie

FN – Fakultní nemocnice

ÚVOD

Nukleární medicína je i nadále aktuálním multidisciplinárním oborem. Vzhledem k nahrazování některých vyšetření modernějšími přístroji a neustálý tlak na snížení radiační zátěže je i přesto v nukleární medicíně vyšetření CNS v mnoha případech stále nezastupitelnou součástí zobrazování fyziologických funkcí a patologií CNS. Nejvýznamnější z nich je detekce neuroendokrinních nádorů, prokázání mozkové smrti nebo vyšetření dopaminergního systému – Parkinsonova choroba a Parkinson + syndromy. Díky velmi rychlému vývoji magnetické rezonance se některá vyšetření na nukleární medicíně již neprovádějí v takové míře, jako tomu bylo dříve. Patří mezi ně např. vyšetření epilepsie a komorového systému mozku.

Ve své práci jsem zkoumal zobrazovací metody a vyšetření, která se v nukleární medicíně ve FN Plzeň používala a používají, jaká se využívají radiofarmaka a postup u jednotlivých vyšetření a jaká je jejich četnost. Nedílnou součástí jsou i kazuistiky, na kterých jsem se snažil zjistit svůj poslední cíl, a to v jaké fázi onemocnění je pacient, který je indikován k vyšetření dopaminergního systému na oddělení nukleární medicíny.

Ke svému výzkumu jsem využil především literaturu v tištěné podobě a odborné články z internetových stránek. Bakalářskou práci jsem sestavil tak, aby na sebe témata logicky navazovala a poukázala na všechny souvislosti nukleární medicíny.

TEORETICKÁ ČÁST

1 ANATOMIE CENTRÁLNÍHO NERVOVÉHO SYSTÉMU

Centrální nervový systém – z anatomického hlediska se dělí na **mozek** a **míchu**. Oba jsou tvořeny nervovou tkání, přičemž mozek se nachází primárně v oblasti lebeční dutiny a mícha zasahuje do páteřního kanálu. (1)

1.1 Mozek

na jeho povrchu se nachází kůra neboli cortex, která je tvořena šedou hmotou. Ta obsahuje těla nervových buněk a přijímá nervové impulzy. Je zde přítomna i bílá hmota, která je obsažena ve vnitřní části mozku a tvoří ji nervová vlákna zvaná bazální ganglia . Ta nervové impulzy přenáší. Mozek lze rozdělit na menší celky. (2)

Koncový mozek (cerebrum) - je největší částí mozku. Jeho povrch tvoří rýhy (sulci), hlubší zářezy nazýváme zářezy (fissurae). Uprostřed těchto struktur se nachází mozkové záhyby (gyri). Dělí se na 2 hemisféry, pravou a levou, z nichž každá řídí protilehlou část těla. V každé z hemisfér se nachází corpus callosum, ve kterém se nachází velké množství nervových vláken a postranní mozkové komory (ventriculi laterales), které jsou vyplněné mozkomíšním mokem. (1)

Mozeček (cerebellum) - tvoří asi 1/10 celkové hmotnosti mozku. Jeho struktury umožňují správné fungování rovnováhy. (2)

Mezimozek (diencephalon) - nachází se mezi mozkovými hemisférami a je tvořen thalamem a hypothalamem. Do thalamu přichází veškeré informace, které poté putují do mozkové kůry. Řídí spánek a bdělost. Hypothalamus je nedílnou součástí endokrinního systému kvůli úzkému spojení s hypofýzou, která uvolňuje hormony a řídí další tělesné funkce, jako je například homeostáza, pocit hladu a žízně a další. (2)

Mozkový kmen – je tvořen Varolovým mostem (pons Varoli), středním mozkem (mesencephalon) a prodlouženou míchou (medulla oblongata), která postupně přechází v **páteřní míchu** (medulla spinalis) (1)

1.2 Páteřní mícha (medulla spinalis)

tenká dlouhá trubice, která je plynulým pokračováním prodloužené míchy. Její vnitřek je vyplněný šedou hmotou. Tato hmota je uspořádána do tvaru „H“ a je obklopena

bílou hmotou. Lze tedy říci, že uspořádání hmoty míchy oproti mozku je opačné. Vnitřek míchy je vyplněn mozkomíšním mokem. Z míchy odstupuje 31 párů míšních nervů, z nichž každý pár vychází z jednoho segmentu. Při přerušení míchy dochází k ireverzibilní ztrátě motorických a sensorických funkcí. (1)

1.3 Meningy (mozkomíšní pleny)

Existují 3 vrstvy obklopující mozek a míchu, tvořené pojivovou tkání. Nejzvnějščí vrstvou je tvrdá plena (dura mater), která je ze všech zmiňovaných vrstev nejtvrdší. Prostřední vrstvou je pavučnice (arachnoidea mater), pod ní se nachází subarachnoidální prostor (cavum subarachnoideum). Ten je vyplněn mozkomíšním mokem a obsahuje velké krevní cévy zásobující mozek. Nejvnitřnější vrstvou je omozečnice (pia mater), která obepíná povrch mozku a míchy a je bohatě protkána mozkovými tepnami. Pokud se tyto vrstvy nachází v oblasti mozku, nazýváme je mozkové pleny. V případě míchy se jedná o míšní pleny. (2)

1.4 Komorový systém

skládá se ze 4 dutin, kterými protéká mozkomíšní mok, který zde zároveň i vzniká. První dvě komory se nazývají ventriculi laterales, které jsou identické, každá se nachází v jedné z mozkových hemisfér, tj. levá a pravá postranní komora. Obě mají tvar podkovy (tvar U) a každá se skládá ze 3 rohů – přední roh (cornu frontale), cornu occipitale a cornu parietale. Třetí komora (ventriculus tertius) je nepárová dutina, která párově propojena s postranními komorami pomocí foramen interventriculare (Monroi). Ta pokračuje do čtvrté mozkové komory (ventriculus kvartus) prostřednictvím Sylviova kanálku (Aquaeductus mesencephali). Ta je ohraničena mozečkem, Varolovým mostem a prodlouženou míchou. (1)

1.5 Mozkomíšní mok

vzniká v mozkových komorách produkcí plexus choroideus a ultrafiltrací krevní plasmy ve čtvrté komoře. Má různé funkce – chrání mozek díky své tekuté složce před otřesy, před cizorodými látkami, udržuje stálost prostředí a další. Samotný komorový systém obsahuje asi 150 ml mozkomíšního moku. Denní produkce včetně resorpce se udává 500 - 600ml. (3)

2 PATOLOGIE CENTRÁLNÍHO NERVOVÉHO SYSTÉMU

2.1 Mozková smrt

nenávratný zánik všech funkcí mozku včetně mozkového kmene. Došlo k vymizení tepenného i žilního zásobení mozku. (4)

2.2 Hydrocefalus

lze ho popsat jako zvětšení objemu likvoru v mozkových komorách včetně dilatace těchto struktur. Rozlišujeme několik typů hydrocefalu. (4)

Obstrukční hydrocefalus (nekomunikující) – vzniká obstrukcí cirkulace mozkomíšního moku. (4)

Hydrocefalus komunikující – obstrukce je v subarachnoidálních prostorech, dochází tedy k jejich rozšíření včetně postranních komor. Příčinou může být nedostatečná resorpce likvoru nebo jeho nadměrná produkce z důvodu patologie samotných choroidálních plexů. (4)

Kongenitální (vrozený) hydrocefalus – je patrný již od narození. Dosud nesrostlými mozkovými švy dochází dilatací postranních komor k rozestupu jednotlivých švů, a tudíž k nárůstu objemu hlavy. Tento fenomén do jisté míry hydrocefalus kompenzuje. Léčbou je zavedení ventrikulo-perineálního shuntu, což je zavedení hadičky odvádějící mozkomíšní mok do dutiny břišní. (4)

2.3 Cévní mozková příhoda

Je jedním z nejzávažnějších neúrazových onemocnění, které končí buď smrtí nebo trvalou invaliditou. Z důvodu delšího neokysličení mozkových buněk dochází k jejich nevratnému poškození. Podle příčiny se rozděluje na ischemické a hemorhagické. (5)

Ischemická CMP – Hlavní příčinou je ucpání tepny – dochází ke snížení nebo zastavení přívodu krve do mozku, které způsobuje nedokrvení příslušné tepenné větve. Tvoří zhruba 80 % všech diagnostikovaných CMP. (6)

Hemorhagická CMP – Nejčastější příčinou je arteriální hypertenze. K ruptuře tepny může dojít prakticky kdekoliv v mozku. Podle místa vzniku rozlišujeme epidurální, subdurální, subarachnoidální a intracerebrální krvácení. Pokud tepna praskne v místě

bazálních ganglií, krev se dostane do oblasti komorového systému, způsobí hemocefalus a následný hydrocefalus, který způsobí utlačení komorového systému krví. (6)

2.4 Epilepsie

Neurologické onemocnění, které se vyznačuje epileptickými záchvaty, což jsou abnormální výboje neuronů, při kterých dochází k poruše vědomí. Jsou náhlé, opakující se, nejdou ovlivnit vůlí. Často souvisí se změnou chování či jednání. Epileptický záchvat může být vyvolán nepřiměřeným podnětem u epileptika, u zdravého člověka tohoto výsledku stejným podnětem dosáhnout nelze. Je nutno brát v potaz, že jedinec, který prodělal 1x v životě epileptický záchvat (např. po užití některých léků) nemusí být nutně epileptik. Příčinou může být i jiné onemocnění, například při rostoucím nádoru, prodělaném krvácení do mozku nebo probíhajícím zánětu centrálního nervového systému. Epileptický záchvat může proběhnout i bez očividných příznaků pouze na křivce EEG záznamu. V dnešní době lze epilepsii korigovat farmakologicky, a to až 90 % všech epilepsií. Zbýlých 10% projevy alespoň částečně utlumí. Jako etiologickou příčinou se pokládá období vývoje mozku jedince, tudíž např. prenatální příčinou mohou být různé choroby matky v těhotenství, v období dětství různá traumata (posttraumatická epilepsie), infekce CNS a v období dopívání např. abstinence při abusu návykových látek či alkoholu. (7)

2.5 Degenerativní onemocnění

Je skupina onemocnění, která vzniká z neznámé příčiny. Počátek onemocnění je nenápadný. Dochází k postupnému zhoršení paměti, dezorientaci v čase až ke ztrátě samostatnosti. Je u ní patrný familiární výskyt, např. Huntingtonova choroba. (4)

Alzheimerova choroba – neurodegenerativní onemocnění mozku, při kterém dochází k postupnému ubývání mozkových buněk. Udává se, že nástup nemoci může trvat až desítky let před samotným diagnostikováním nemoci. Onemocnění převládá hlavně ve vyšším věku. (4)

Pickova choroba – druh demence postihující temporální a frontální laloky. Má radikálnější průběh než Alzheimerova choroba. Atrofie laloků inhibuje behaviorální poruchy a poruchy osobnosti. Nemoc se může vyskytnout již po 40. roce věku, Léčba není dosud známa. (7)

Parkinsonova choroba – Neurodegenerativní onemocnění centrální nervové soustavy, při které dochází k úbytku dopaminergních neuronů, které produkují dopamin v tzv. substantia nigra. (4)

Mezi hlavní příznaky Parkinsonovy choroby patří poruchy hybnosti. Ty mohou nemocného omezit v jakémkoliv pohybu. Nemocný má problém pohyb inicializovat, je omezen v rozsahu pohybů a není schopen pohyb vykonat rychle. Mezi další příznaky patří svalový třes (tremor), který nemocného omezuje v každodenních činnostech, například psaní či odemykání dveří. Choroba způsobuje tzv. posturální nestabilitu, která negativně ovlivňuje držení těla jak vestoje, tak při chůzi. Například se mění i držení těla, kdy je nemocný v mírném předklonu. Mezi další příznaky patří i poruchy řeči. (8)

Multiinfarktorová (vaskulární) demence – vzniká následkem opakovaných mozkových příhod, které způsobují cévní změny mozku. Oproti Alzheimerově chorobě je její prevalence spíše u starších jedinců. (4)

2.6 Migréna

Označuje se jako pulzující bolest hlavy. Je záchvatovitá, podobně jako u epilepsie. Migréna se v populaci vyskytuje velmi často. Udává se, že až 70 % pacientů má hereditární předpoklady k migréně. Dle nejnovějších poznatků jde o neurovaskulární poruchu, kdy nemocného mozková tkáň reaguje nestandardně na určité podněty. Příčinou migrény může být způsob stravování, nedostatek nebo naopak přebytek spánku, počasí a v neposlední řadě stres. Vliv na migrénu mohou mít také neurotransmitery a jejich receptory – např. dopaminové, serotoninové, prostaglandinové a další. Migréna se podle průběhu rozděluje na klasickou (s aurou) a bez aury. Samotné migréně předchází tzv. prodromy – předzvěst migrény. Při té ještě nedochází k bolesti hlavy. (7)

Migréna s aurou – Aura se dá popsat jako změna zrakových a sluchových vjemů, např. dvojité vidění, popř. vidění „hvězdiček“, šelest, pískání v uších. Dostavuje se pocit na zvracení (nauzea), světloplachost a hyperakuze (zvukoplachost). Bolest trvá v řádu několika hodin až dní. Úleva přichází pro většinu nemocných po spánku. (7)

Migréna bez aury – vyznačuje se jako chronická migréna. Opakuje se častěji, přičemž typ bolesti zůstává stejný, ale není doprovázen nauzeou, zvracením a doprovázejícími vjemy. (7)

2.7 Nádory mozku

V CNS jsou nádory příčinou syndromu nitrolební hypertenze. Pokud uvnitř lebky dochází k jeho růstu, zvyšuje se nitrolební tlak a z důvodu omezeného objemu lebky se utlačují její orgány. Nádory se základně rozdělují na benigní a maligní, podle metastáz na primární, které vznikají z buněk mozkové tkáně a sekundární, které se udávají jako dceřinné. Dále se rozdělují podle lokalizace, velikosti a fadingu (stupně malignity). To je také známo jako TNM staging a GDM grading systém. Udává se, že nádorem mozku trpí 5–6 lidí ze 100 000 vzorku obyvatel. Některé nádory jsou navázány na pohlaví nebo věk. Příkladem lze uvést meningiom u žen starších 40 let. Moderními zobrazovacími metodami došlo k významnému zlepšení diagnostiky nádorů – hlavně díky výpočetní tomografií a nukleární magnetické rezonanci a jejich kombinaci s modalitami nukleární medicíny, tj. např. PET/CT, PET/MR. (7)

Gliom – Takto je diagnostikována více než polovina nádorů CNS. Patří mezi nádory astrocytů, což jsou buňky vyživující neurony. Ty se řadí mezi neuroglie – gliom. (7)

Meningeom – benigní nádor, který se jeví velmi pomalým růstem a je indikován zhruba u 15-20 % všech nádorů CNS. Existuje i maligní forma tohoto nádoru zvaná meningosarkom. Meningeom roste z arachnoidey a prorůstá do dury mater. Nádor se vyskytuje nejčastěji u žen mezi 40.-60. rokem věku. (7)

Neurinom (schwannom) – benigní nádor, který postihuje primárně obaly V. a VIII. hlavového nervu. Doprovází ho jednostranná porucha sluchu. (7)

Adenomy hypofýzy – Jsou to benigní nádory. Maligní formou je adenokarcinom. Prvním typem je adenom s nadprodukcí STH (růstového hormonu). Způsobuje akromegalii, což je nadměrné zvětšení koncových částí těla, jako jsou ruce, nohy a dolní čelist. (7)

Druhým typem je adenom s nadprodukcí ACTH (adrenokortikotropního hormonu), které způsobují tzv. Cushingův syndrom, ten způsobuje obezitu, měsíčkovitý obličej, změny na kůži, např. strie a řídnutí kostí. (7)

Meduloblastom – velice agresivní maligní nádor u dětí. Vyrůstá z buněk horní části čtvrté komory, kde tlačí na Sylviov kanálek a způsobuje hydrocefalus. (7)

Ependymom – benigní nádor mozkových komor, jeho maligní formou je ependymoblastom. Mezi symptomy patří hydrocefalus a nitrolební hypertenze. (7)

3 ATOM, RADIONUKLIDY A RADIOAKTIVITA

3.1 Atom

Je základní částicí hmoty. Skládá se z jádra a elektronového obalu, přičemž jádro má asi 2000x větší hmotnost než elektronový obal. Jádro obsahuje protony, které mají kladný náboj a neutrony, které se jeví jako nábojově neutrální. V elektronovém obalu jsou v neustálém pohybu elektrony. Ty mají záporný náboj. Atom se ke svému okolí ve svém základním stavu jeví jako elektricky neutrální kvůli stejnému počtu elektronů v elektronovém obalu a protonů v atomovém jádře. (9)

Abychom rozeznali jednotlivé atomy, je potřeba je blíže specifikovat. K tomu slouží nukleonové číslo (A), protonové číslo (Z) a chemický název prvku (X), tedy A_ZX . Nukleonové neboli hmotnostní číslo udává počet protonů a neutronů v jádře, respektive jejich celkový počet. Protonové číslo udává počet protonů v jádře a chemický název prvku je jakýkoliv prvek z periodické tabulky prvků. Atomy, které mají stejný počet nukleonů, nazýváme nuklidy. Příkladem lze např. uvést ${}^{57}\text{Co}$. Nuklidy se stejným počtem neutronů jsou izotopy. Například to jsou 3 různé nuklidy uhlíku, ${}^{13}\text{C}$, ${}^{14}\text{C}$, ${}^{15}\text{C}$, které jsou zároveň jejich izotopy. (9)

Důležité pro nukleární medicínu jsou izomery. To jsou nuklidy, které se liší energetickým stavem jádra, přičemž se jedná o stejný prvek. Přebytečné energie se izomer zbavuje zářením gama. Je tedy vždy radioaktivní. Značí se pomocí indexu „m“ za nukleonovým číslem, které značí metastabilní stav jádra. Pro nukleární medicínu je typickým příkladem ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$. (10)

Izotopy se podle stability dělí na stabilní a nestabilní. Nestabilním izotopem je radionuklid. U radioaktivní přeměny radionuklidu dochází k přeměně složení a snížení vazebné energie atomového jádra doprovázeného příslušným typem uvolněného záření. (9)

Dalšími důležitými termíny jsou excitace a ionizace. K excitaci dochází dodáním energie elektronu, který přeskočí do vyšší energetické vrstvy, která je vzdálenější od jádra. Elektron tedy získal energii potřebnou k přesunu do vyšší energetické hladiny. (9)

3.2 Radioaktivita

Jev, při kterém dochází k samovolné přeměně radioaktivních jader na jádra jiných prvků, přičemž je ve stejném čase emitováno ionizující záření. Jádra, která se přeměňují, nazýváme jádra mateřská a jádra, na která se přeměňují, nazýváme jádra dceřiná. Každý

radionuklid se jeví specifickými vlastnostmi. Tzn. že má specifický typ přeměny (alfa, beta +, beta -, gama...), vyzařovanou energii těchto částic vzniklých z přeměny (např. ^{99m}Tc má energii emitovaného gama záření 140 keV a poločas rozpadu 6,03h). (9)

3.2.1 Přeměna alfa

Při přeměně alfa dochází k vypuzení jádra helia ^4He z atomu. Emitované jádro má 2 protony a dva neutrony. To znamená, že po přeměně alfa dceřiný nuklid bude o dvě místa nalevo v periodické tabulce oproti nuklidu mateřskému. Částice alfa je velmi ionizující, její dolet je velmi malý, ve vzduchu několik centimetrů, ve tkáních asi 0,03mm a lze ho odstínit např. listem papíru. Jako příklad lze uvést přeměnu Radia na Radon: $^{226}_{88}\text{Ra} \rightarrow ^{222}_{86}\text{Rn} + ^4_2\text{He}$. (10)

3.2.2 Přeměna beta⁻

Při přeměně beta⁻ dochází u atomového jádra k emisi elektronu a částice zvané neutrino. Neutron se vypuzením elektronu přemění na proton, tudíž dceřiné jádro má o jeden proton více, přičemž dochází k jeho posunu o jedno místo v periodické tabulce doprava. Záření beta⁻ má větší pronikavost než částice alfa. Dolet částic ve tkáních je nyní v řádech milimetrů. Díky tomu jsou elektrony vhodné i pro terapii. Jako příklad lze uvést přeměnu Cesia na Baryum: $^{137}_{55}\text{Cs} \rightarrow ^{137}_{56}\text{Ba} + {}^0_{-1}\text{e}^- + \text{elektronové antineutrino}$. (10)

3.2.3 Přeměna beta⁺

K přeměně beta⁺ dochází u jader s nadbytečným počtem protonů v atomovém jádře za současné emise kladně nabitého elektronu neboli pozitronu. Dochází k přeměně protonu na neutron a vzniklé dceřiné jádro se posouvá v periodické tabulce o jedno místo doleva. Vylétnuvší pozitron prakticky ihned zaniká srážkou s elektronem, tzv. anihilací, za vzniku dvou kvant gama o energii 511 keV, které letí z místa anihilace vzájemně opačným směrem. Toto záření je využíváno v nukleární medicíně u pozitronové emisní tomografie (PET). Příkladným zářičem je $^{18}\text{F} \rightarrow ^{18}\text{O} + {}^0_{+1}\text{e}^+ + \text{neutrino}$. (10)

3.2.4 Přeměna gama

Při přeměně gama nedochází ke změně počtu protonů a neutronů v atomovém jádře, nýbrž dochází k vyzařování nadbytečné energie elektromagnetickým vlněním. Jádro je tedy v excitovaném stavu. Záření gama je vyzářeno při přechodu z excitačního do základního stavu. Záření gama má čárové spektrum. Příkladem lze uvést ^{99}Tc , které vyzařuje záření gama o energii 140keV. (9)

3.2.5 Elektronový záchyt

Jedná se o druh přeměny, kdy dojde k uchvácení elektronu z nejbližších vrstev elektronového obalu k jádru protonem, a to nejčastěji u vrstvy K nebo L. Reakcí protonu a elektronu vzniká neutron. Přeměnou dochází k posunutí dceřiného jádra v periodické tabulce o 1 místo doleva. Uchvácený elektron je zaplněn elektronem z vyšší energetické vrstvy. Aby byl zachován zákon zachování energie, z atomu se uvolní kvantum gama záření. Jako příklad lze uvést přeměnu Galia na Zinek: ${}_{31}^{67}\text{Ga} + {}_{-1}^0\text{e}^- \rightarrow {}_{30}^{67}\text{Zn}$ (10)

3.2.6 Izomerní přechod

Týká se jader, které mají stejné protonové i neutronové číslo, jediným rozdílem je jejich energetický stav. Je to přechod do nižšího energetického stavu, tzv. metastability, které lze za speciálních podmínek dosáhnout. Typickým příkladem je výše zmíněné ${}^{99\text{m}}\text{Tc}$. (9)

3.3 Energie záření

Základní jednotkou energie je 1 Joule (J). Pro záření se používá odvozená jednotka elektronvolt. $1 \text{ eV} = 1,602 \cdot 10^{-19} \text{ J}$. V nukleární medicíně jsou nejčastěji používány keV (kiloelektronvolty) a MeV (megaelektronvolty). S velikostí energie roste pronikavost záření. Proto je nutné najít optimální rozhraní energie radiofarmaka, při kterém nedochází k nadměrné absorpci záření ve tkáních a zároveň aby nebyla snížena kvalita výsledného obrazu. Tou je rozmezí 100–200 keV pro scintigrafii. Pro PET je tato energie 511 keV u fotonů vzniklých anihilací. U zářičů beta⁻ je toto rozmezí v rámci stovek keV až do 2,7 MeV. (11)

3.4 Aktivita

Udává počet přeměn ve vzorku radionuklidu za jednotku času. Jednotkou aktivity je Becquerel (Bq), což je vlastně 1 přeměna za 1 sekundu. Sama o sobě je tato jednotka velmi malá. Proto se používají větší jednotky, jako třeba kBq, MBq, GBq a TBq. Dříve se používala jednotka Curie (Ci), což je v přepočtu 37GBq. Aktivita klesá exponenciálně, při poklesu je tedy potřeba aplikovat větší množství radiofarmaka. K tomuto účelu slouží Výpočet pro změnu aktivity, který je: $A(t) = A_0 e^{-\lambda t}$, kde A je aktivita po uplynuté době, A_0 je původní aktivita, e je eulerovo číslo, pro které je hodnota přibližně 2,71, λ je přeměnová konstanta a t je čas, pro který chceme aktivitu vypočítat. (9)

3.5 Poločas rozpadu

Doba, za kterou se rozpadne přesně polovina jader mateřského radionuklidu na dceřiný radionuklid. Je vyjádřena exponenciálou. Počítá se: $T_{1/2} = \frac{\ln 2}{\lambda}$, kde $\ln 2$ je přirozený logaritmus 2, což je přibližně 0,693. λ je přeměnová konstanta. Její jednotkou je s^{-1} . Tzn. že za každý poločas klesne aktivita radionuklidu o polovinu, tedy exponenciálně na 50 %, poté na 25 %, poté na 12,5 % atd. Pro potřeby nukleární medicíny se některá radiofarmaka vyrábí přímo na pracovišti. Například ^{99m}Tc , vyráběné v molybdenovém generátoru, s poločasem rozpadu 6,03 hodiny. Těmi jsou i radiofarmaka s velmi krátkým poločasem rozpadu, například ^{91m}Kr , vyráběný v rubidiovém generátoru, který má poločas rozpadu 8,57 sekundy. Radiofarmaka s vysokým poločasem rozpadu v rámci desítek až stovek dnů jsou vhodná pro převoz z distribučního centra na pracoviště nukleární medicíny, ovšem nevhodná z hlediska radiační zátěže pacienta. (11)

Biologický poločas rozpadu (T_b) – čas, během kterého se z těla pacienta vyloučí přesně polovina aplikovaného radiofarmaka. (10)

Efektivní poločas rozpadu (T_{ef}) – čas, během kterého se sníží aktivita podaného radionuklidu na polovinu. Je rychlejší než fyzikální poločas rozpadu, a to vlivem biologického poločasu rozpadu v těle pacienta. Počítá se: $\frac{1}{T_{ef}} = \frac{1}{T_{1/2}} + \frac{1}{T_b}$. (10)

3.6 Interakce záření s hmotou

Interakci záření s hmotou lze rozdělit na 2 skupiny podle způsobu, jakým ionizuje prostředí. Prvním je **přímo ionizující záření**, mezi které patří záření alfa, β^+ , β^- a protony. Tyto částice mají elektrický náboj. Při interakci s cizím atomem dochází k vyrazení elektronu z jeho elektronového obalu, a tedy k ionizaci daného atomu. (11)

Nepřímo ionizující záření, mezi které patří částice bez náboje, je např. záření gama (včetně záření X) a neutronové záření. Toto záření samo nemá ionizační účinky, předává je totiž jiné nabitě částici, která se tímto zářením ionizuje a vypustí nabitou částici do okolí, nejčastěji elektron. (11)

3.6.1 Fotoefekt

Je nejslabší interakce záření gama s hmotou. Dochází k předání veškeré energie elektronu na slupce blízké atomovému jádru, vyrazení elektronu z elektronového obalu. Při

obsazení elektronem ze vzdálenější vrstvy dochází k následnému vyzáření charakteristického záření X. (9)

3.6.2 Comptonův rozptyl

Je jev, při kterém dochází k interakci fotonu s elektronem z vnější vrstvy elektronového obalu. Foton elektron vyrazí, přičemž mu předá jen část své energie, odrazí se a pokračuje dál jako foton s menší energií. Při dostatečné energii může dojít k opětovnému Comptonovu rozptylu nebo k zániku fotonu fotoefektem. (9)

3.6.3 Tvorba elektron-pozitronového páru

K jejich tvorbě dochází při interakci záření s vysokou energií nad 1,02 MeV v elektrickém poli atomového jádra. Foton se přemění na pozitron a elektron, přerozdělení energie mezi tyto částice je randomizované. Vzniklý pozitron po ztrátě energie interaguje s elektronem za vzniku dvou anihilačních kvant záření gama o energii 511keV. (12 str. 55)

4 RADIOFARMAKA

Radiofarmakum se skládá z léčiva nebo jiných anorganických či organických látek, které jsou značeny jedním nebo více radionuklidy. Mohou to být například peptidy, proteiny, krevní elementy a další. Radionuklid je vázán na příslušnou molekulu v iontové vazbě, ve formě komplexu nebo také chelátu. (9)

Radiofarmaka se dají charakterizovat podle poločasu rozpadu, podle druhu a energie záření. Dle těchto získaných informací spolu s množstvím radiofarmaka lze zjistit jeho přesnou aktivitu. (9)

4.1 Výroba radiofarmak

Radionuklidy pro potřeby nukleární medicíny jsou vyráběny uměle, a to buď v jaderných reaktorech, cyklotronech nebo generátorech. (3)

4.1.1 Výroba v Jaderném reaktoru

Je komplexní zařízení, ve kterém probíhá jaderné štěpení. Palivem neboli štěpným materiálem je ^{235}U , který se ostřeluje neutrony, a tím dochází k řetězové reakci štěpení jader uranu. Produktem mohou být i radionuklidy vhodné pro nukleární medicínu, které je však nutno ze štěpných produktů vyčlenit a separovat. (9)

Další možností je ostřelování neradioaktivních jader neutrony. Produktem obou druhů výroby je například jod ^{131}I nebo molybden ^{99}Mo , který je posléze využíván jako mateřský nuklid do radionuklidového generátoru $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. (11)

Výhodou separace ze štěpných produktů uranu ^{235}U je vysoká výtěžnost radionuklidů oproti prostému ostřelování neradioaktivních jader a vysoká radionuklidová čistota. (9)

4.1.2 Výroba v cyklotronu

Cyklotron je zařízení, ve kterém dochází k urychlování kladně nabitých částic, např. protonů ^1_1p , deutronů ^2_1p nebo částic alfa ^4_2He . Tyto kladně nabitě částice jsou následně urychleny elektrickým polem a zakřívovány magnetickým polem tak, aby se pohybovaly po tvaru spirály. S větší energií urychlovaných částic roste poloměr urychlovaných částic ve spirále. Při dosažení požadované energie se částice sráží s terčem specifického radionuklidu za vzniku požadovaného radionuklidu jadernou reakcí. Příkladem je ostřelování kadmia protony za vznikuvšího radionuklidu india emitujícího neutrony: $^{111}_{48}\text{Cd} + ^1_1\text{p} \rightarrow ^{111}_{49}\text{In} + ^1_0\text{n}$. (9)

Mezi další radionuklidy hromadně vyráběné radionuklidy užívané v nukleární medicíně jsou ^{67}Ga , ^{201}Tl a ^{81}Rb využívány pro radionuklidový generátor $^{81}\text{Rb}/^{81\text{m}}\text{Kr}$ (3)

Existují i radionuklidy vyráběné přímo na pracovištích nukleární medicíny, a to z důvodu krátkého poločasu rozpadu nejčastěji biogenních prvků. Nejznámější je např. ^{18}F ($T_{1/2} = 110$ min). Ostatní prvky ^{15}O , ^{13}N a ^{11}C mají poločas rozpadu v řádu několika jednotek až desítek minut. (9)

4.1.3 Výroba v generátorech

V generátorech dochází k přeměně mateřského radionuklidu s delším poločasem rozpadu na dceřiný nuklid s kratším poločasem rozpadu. Nejčastěji využívaný je tzv. chromatografický generátor, který umožňuje specifickými fyzikálními a chemickými postupy separovat požadovaný radionuklid. (13)

Mezi nejužívanější patří chromatografický generátor $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$. Technecium získáváme elucí neboli promytím pertechnetátového iontu $^{99\text{m}}\text{TcO}_4$ fyziologickým roztokem. Vzniklý eluát je finálním produktem v chemické sloučenině pertechnetátu sodného $\text{Na}^{\text{m}}\text{TcO}_4$. Ten je pro nukleární medicínu nejvhodnější z důvodu energie záření (140KeV) a přijatelným poločasem rozpadu (6,02h). (3)

Druhým nejužívanějším je generátor $^{81}\text{Rb}/^{81\text{m}}\text{Kr}$, který slouží k vyšetření plicní ventilace. Rubidium je vázáno na tzv. iontoměničovou pryskyřici, ze které dochází k eluci kryptonu $^{81\text{m}}\text{Kr}$ vzduchem. (3)

Nevýhodou radionuklidu je krátký poločas rozpadu rubidia (4,58h), proto je nutné objednání generátoru a následné provádění ventilace plic v předem naplánovaných dnech. Výhodou dceřiného $^{81\text{m}}\text{Kr}$ je díky nízkému poločasu rozpadu (13 s) velmi nízká radiační zátěž. (11)

4.2 Kontrola radiofarmak

Radiofarmaka stejně jako ostatní léčiva musí vyhovovat určitým požadavkům, tzv. zkouškám kvality. Kvůli přítomnému radionuklidu musí splňovat ještě řadu dalších kritérií. (11)

Radionuklidová čistota – udává, kolik % aktivity daného radionuklidu je v celkové aktivitě vzorku. Ve většině případů je radionuklidová čistota nad 99 %. Zbytek, který vzorek kontaminuje, tvoří tzv. kontaminanty, které jsou ve vzorku nepřipustné, protože mají jinou

energii záření a tím mohou znehodnotit vyšetření, popř. způsobit zbytečný nárůst radiační zátěže pacienta. To jsou např. mateřská jádra ^{99}Mo v $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Radionuklidová čistota se měří tzv. energetickým spektrem záření, které měří energii vylétajících fotonů ze vzorku. (11)

Radiochemická čistota – udává, kolik % aktivity daného radionuklidu vázaného v požadované chemické sloučenině je v celkové aktivitě vzorku. Pokud je radionuklid vázán na jinou sloučeninu, je označován jako nečistota. Ta může znehodnotit vyšetření, popř. zvýšit radiační zátěž ozářením jiných než indikovaných orgánů. Příkladem jsou volné technecistanové $^{99\text{m}}\text{Tc}$ ionty v radiofarmaku methyldifosfátu (MDP), které mohou zbytečně zvýšit radiační zátěž štítné žlázy. Radiochemická čistota se kontroluje tzv. chromatografickými metodami. (11)

Hmotnostní aktivita – jiným pojmem také měrná aktivita. Udává aktivitu radionuklidu na jednotku hmotnosti radiofarmaka. (10)

Objemová aktivita – Také je označována jako hustota aktivity. Tato veličina udává aktivitu radionuklidu na jednotku objemu radiofarmaka. (10)

4.3 Lékové formy radiofarmak

Radiofarmaka je možné pacientům podávat v následujících formách.

Parenterální podání – podání injekční jehlou. Mohou být podány jako pravé roztoky (technecistan sodný), koloidní disperze ($^{99\text{m}}\text{Tc}$ nanokoloid) nebo ve formě suspenzí (makroagregáty albuminu). (11)

Perorální podání – neboli per os. Jsou to roztoky, koloidy a emulze. Příkladem je jodid sodný podávaný buď ve formě vodného roztoku nebo jako tuhá látka v želatinové tobolce. (11)

Inhalační podání – neboli vdechnutí. Jsou to radioaktivní plyny, např. $^{81\text{m}}\text{Kr}$ užívané v plicní ventilaci anebo ve formě aerosolů, např. $^{99\text{m}}\text{Tc}$ DTPA. (11)

4.4 Uchovávání radiofarmak

Radiofarmaka se musí uchovávat v místech, která jsou dobře odstíněna před radioaktivním zářením a zároveň musí splňovat národní a mezinárodní předpisy pro uchovávání radioaktivních látek. (13)

Každé radiofarmakum musí být zřetelně označeno, a to názvem přípravku, výrobcem, identifikačním číslem, aktivitou k referenčnímu datu a dobou spotřeby. Jako přídatné označení se může objevit i cesta podání, popřípadě při přidání přísad název a jejich koncentrace, nebo způsob speciálního uchovávání. (13)

4.5 Kontrola SÚJB

Zejména každým rokem je na pracovišti nukleární medicíny provedena kontrola příslušným pracovníkem Státního úřadu pro jadernou bezpečnost. Pracovník kontroluje proces nakládání s radiofarmaky včetně dodržování aspektů radiační ochrany v kontrolovaném i sledovaném pásmu. (12)

5 ZOBRAZOVACÍ METODY NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY

5.1 Nukleární medicína

Je multidisciplinární lékařský obor, který se používá k diagnostice a terapii prostřednictvím tzv. otevřených zářičů do vnitřního prostředí organismu pacienta. Těmi mohou být plyny, tuhé látky i kapaliny. Základní zobrazovací metodou pro tento obor je scintigrafie, která svůj název získala díky scintilačnímu detektoru, který je obsažen v gamakameře, jiným názvem také Angerova kamera. Ta snímá záření gama, které vyzařují radionuklidy aplikované do těla pacienta. (10)

Podle způsobu aplikace radiofarmak lze rozlišit metody in vivo a in vitro. Metoda in vivo spočívá v aplikaci radiofarmaka do těla pacienta, nejčastěji intravenózním podáním, kde se poté distribuuje do jednotlivých orgánů. Metoda in vitro pracuje s tělními tekutinami pacienta ve zkumavce, nejčastěji za použití radioimunoanalýzy. Pracuje se např. s hormony nebo tumorovými markery, takže pacient s radiofarmakem vůbec nepřichází do styku. (14)

Vlivem změn metabolismu a jiných fyziologických procesů vznikají místa s buď zvýšenou nebo sníženou kumulací radiofarmaka (hot spot a cold spot) a tím se dá případný problém lokalizovat. Takto lze pomocí nukleární medicíny zjistit případnou patologii mnohem dříve než při vyšetřování ostatními metodami radiologie. Jako příklad lze uvést různé metastázy a karcinomy. (10)

5.2 Gama kamera

Také Augerova nebo scintilační kamera. Tvoří základ zobrazování pro nukleární medicínu a registraci ionizujícího záření gama. Skládá se ze scintilačního krystalu, kterým je většinou jodid sodný aktivovaný thaliem, světlovodivý materiál, kolimátor a fotonásobič. Absorpcí fotonu záření gama scintilačním krystalem dochází k dočasné excitaci elektronů. Při jejich následné deexcitaci vzniká viditelné světlo úměrné energii fotonu gama. Vzniklé záblesky jsou světlovodivým materiálem přivedeny do fotonásobiče, ve kterém dochází k uvolnění elektronu z fotokatody dopadem světla. Elektron dopadá na dynodu, kde způsobí emisi dalších elektronů. Takto dochází ke zmnožení počtu elektronů, které dopadají na anodu fotonásobiče. Zde se detekcí napětí, popř. proudu vytvoří signál, přičemž informace o místě dopadu fotonu zůstává zachována. (15)

Záření lze eliminovat kolimátorem, což je zařízení propouštějící záření pouze v požadovaném směru. Zbytek záření je kolimátorem absorbován. Pro dosažení nejlepšího možného zobrazení gama kamerou je nutná co nejmenší vzdálenost mezi kolimátorem a pacientem. (15)

5.3 Scintigrafie

Nazyvaná také jako planární gamagrafie, je metoda zobrazující rozložení radiofarmaka v pacientovi. Záření gama se snímá scintilační kamerou. Obraz je pouze ve 2D, dochází v něm často k sumaci zaznamenaného záření v různých hloubkách, a tedy ke špatnému prostorovému rozlišení. Dalšími nevýhodami scintigrafie, které ovlivňují výsledný obraz, jsou kvantový šum a lineární součinitel zeslabení. Kvantový šum je ovlivněn nehomogenitou v množství emitovaného záření. Lineární součinitel zeslabení udává, že fotony vycházející z pacienta z větší hloubky jsou častěji pohlceny tkání, a proto jsou detekovány méně než fotony s menší vzdáleností od gamakamery. Absorpce závisí na hustotě tkáně, jejím složení a energii záření, které tkání prochází. (15)

Na rozdíl od zobrazovacích metod, které fungují na principu fyzikálně chemických vlastnostech tkání, scintigrafie zobrazuje funkci těchto tkání. Tzn. že lze zobrazit např. perfuzi srdce, zánět, hypoxii, popř. koncentraci receptorů. Mrtvé buňky scintografií není možné zobrazit. (9)

Zobrazení scintografií funguje na principu rozložení radiofarmak v organismu neboli farmakokinetice. Léčivo značené radionuklidem se hromadí v cílové tkáni, a to buď po uběhnutí určité doby od podání radiofarmaka (statická scintigrafie) nebo se hromadí s časem (dynamická scintigrafie). (9)

5.4 SPECT

Je zkratka pro single photon emission computed tomography, přeloženo do češtiny jako jednofotonová emisní tomografie. Vyšetřování pacienta probíhá stejně jako u planární scintigrafie, akorát s tím rozdílem, že náběr dat vychází z principu výpočetní tomografie. Kamera se otáčí okolo pacienta a v různých úhlech dochází ke snímání. Výsledkem je trojrozměrný obraz. Pomocí různých rekonstrukčních parametrů, např. iteračních (algebraických) nebo analytických rekonstrukcí lze sestavit obraz v transverzální rovině a tím určit distribuci radiofarmaka uvnitř pacienta. (15)

Výhodou SPECT je vyšší kontrast zobrazeného ložiska oproti planární scintigrafii. Nevýhodou SPECT je horší rozlišovací schopnost z důvodu větší vzdálenosti pacienta od kolimátoru oproti planární scintigrafii. (11)

V současné době se v praxi využívá přístroj s více gama kamerami, nejčastěji dvěma gama kamerami. Sníží se tak významně doba vyšetřování pacienta. Nejčastější radiofarmaka pro SPECT se nejčastěji používá ^{99m}Tc , ale také thalium ^{201}Tl , ^{131}In nebo ^{67}Ga . Vyšetření na oddělení nukleární medicíny je dávkově ekvivalentem k vyšetření rentgenem. (15)

5.5 PET

Neboli pozitronová emisní tomografie je zobrazovací metoda využívající fotony vzniklé anihilací pozitronových zářičů radiofarmaka uvnitř pacienta. Ty mají oproti klasickým radionuklidům mnohem vyšší energii (511 keV). Zobrazení klasickou scintografií nedosahuje vyšetření požadované kvality z důvodu špatného prostorového rozlišení a z důvodu absorpce pouze malého množství fotonů scintilačním krystalem NaI(Tl). (16)

Jev, kterým se detekuje místo vzniku anihilačních kvant gama se nazývá koincidence. Fotony kvant gama letí opačným směrem ve tvaru přímky a letí rychlostí světla. Čas, ve kterém je detekce těchto fotonů uskutečněna, je stejný s rozdílem několika nanosekund. Vznik je spočítán geometricky podle tzv. transaxiálního řezu. (16)

Dnes jsou využívány systémy s uspořádáním detektorů a scintilačních krystalů do kruhu, a to v řádech desetitisíců. Postupem času byl využíván novější typ scintilačního krystalu, BGO (bismut-germanium). K nejmodernějším dnes patří GSO (Gadolinium oxosilikát) a hlavně LSO (lutecium oxyorthosilikát), umožňující kratší scintilaci, a tedy lepší zpracování fotonových toků vyšší energie. (16)

Mezi nejčastěji využívaný radionuklid při vyšetření PET patří ^{18}F tvořící radiofarmakum ^{18}F -FDG neboli fluordeoxyglukózu. Dalšími jsou ^{11}C , ^{13}N a ^{15}O , které se taktéž řadí do biogenních prvků, které se nacházejí přirozeně v lidském organismu. Ty se vyrábějí v cyklotronu přímo na oddělení nukleární medicíny z důvodu krátkého poločasu rozpadu těchto prvků. Prvky jako např. ^{68}Ga nebo ^{82}Rb se vyrábějí podobně jako ^{99m}Tc v generátoru, jediný rozdíl je ve vyzařované částici, kterou je pozitron. (16 str. 16)

5.6 CT

Přeloženo jako výpočetní tomografie je zobrazovací metoda využívající rentgenového záření k zobrazování vnitřních orgánů vyšetřovaného. Funguje na principu otáčení rentgenky v gantry okolo pacienta. (17)

CT od svého vzniku prošlo dlouhou fází technického vývoje. Ta se dělí se do pěti generací, z nichž je v současné době nejpoužívanější třetí generace. Ta spočívá ve vějířovité konstrukci, která umožňuje současný pohyb rentgenky a detektorů současně po klouzavých vodivých spojích, tzv. slip ring technologie. Detektory jsou víceřadé, tzn. že dochází ke snímání více řezů současně, tzv. multi-slice CT. (4)

Výslednou hodnotou vzniklou počítačovým zpracováním je tzv. Hounsfieldova jednotka (HU – Hounsfield unit), která je pojmenována po svých tvůrcích G.N. Hounsfieldovi a C. N. Cormackovi, je číselná hodnota stupně šedi, která se porovnává s vodou, pro kterou je práh 0 HU. Mezi příklady dalších hodnot jsou vzduch nebo vakuum - 1000 HU, tuková tkáň - 40– (-100 HU), měkká tkáň 40–80 HU, bílá hmota mozková 20–30 HU, šedá hmota mozková 37–45 HU, kostní struktury 100–1000 HU. Lidské oko je schopné pojmut zhruba 16 odstínů šedi. Pro lepší orientaci došlo k rozdělení celkového rozsahu na jednotlivá okna s menším rozsahem hounsfieldových jednotek. Hodnoty pod škálou zobrazení se zobrazují černě a nad škálou bíle. Příkladem je měkkotkáňové okno s rozsahem 0–80 HU. (4)

Výpočetní tomografie se stala hlavní vyšetřovací metodou z hlediska dostupnosti, rychlosti vyšetření, nízké ceně vyšetření, a kromě radiační dávky neexistujících kontraindikací. Díky anatomické přesnosti je CT využíváno i v nukleární medicíně spojením v tzv. hybridních zobrazovacích metodách. (4)

5.7 Magnetická rezonance

Je zobrazovací metoda, která k samotnému vyšetřování nevyužívá ionizujícího záření. Oproti CT, které je vhodné spíše k zobrazování kostních struktur, magnetická rezonance skvěle zobrazuje měkkou tkáň, tedy mozek včetně míchy, svaly, šlachy a vazy. Z tohoto důvodu je z hlediska rozlišení jednotlivých struktur vhodnější u vyšetření kloubů, např. kolene a ramene. To samé platí i pro diagnostiku nebo terapii tumorů mozku. (18)

Princip magnetické rezonance spočívá v nabitých částicích s lichým počtem protonů, nejčastěji vodíku. V lidském těle je vodík zastoupen nejhojněji v molekulách vody. Jádro

vodíků má až 1000x silnější vyslaný signál oproti jiným prvkům, např. ^{13}C , ^{23}Na a ^{31}P . Každé jádro je orientováno vlastním směrem, a to paralelně ve směru magnetického pole nebo antiparalelně proti směru magnetického pole. Má svůj vlastní pohyb rotace po plášti kužele, tzv. precesní pohyb o určité frekvenci. Ta se počítá jako gyromagnetický poměr γ ($\text{Hz}\cdot\text{s}^{-1}$) násobený magnetickou indukcí (T), neboli $f_L = \gamma \cdot B$. Pro vodík při magnetické síle o indukci 1 T je gyromagnetický poměr 42,58MHz. V klidu má každá částice pouze podélnou magnetizaci. Aplikací radiofrekvenčního pulzu (90°) kolmý na směr magnetické indukce dochází ke vzniku tzv. transverzální magnetizace, která odkloní směr výsledné magnetizace směrem k pulzu. Vznikem transverzální magnetizace klesá podélná magnetizace. Po odeznění pulzu transverzální magnetizace opět klesá. (4)

Vzniklý obraz je výsledkem tzv. Fourierovy transformace. V magnetické rezonanci existuje několik typů zobrazení, základními je T1 a T2 vážené zobrazení, které jsou výsledkem měření v určité hodnotě poklesu transverzální nebo podélné magnetizace. Jednotlivé signály jsou zachyceny pomocí cívky, která je přiložena co nejbližší k tělu pacienta pro nejvyšší efektivitu zachycení signálu. (4)

Kontraindikacemi MR je výskyt jakéhokoliv kovu uvnitř pacienta, a to z důvodu posunu nebo ohřevu a vzniku artefaktů v jejich bezprostředním okolí. Příkladem může být jakákoliv kloubní náhrada, popřípadě stent. Kontraindikací je také gadolinium obsažené v kontrastní látce pro pacienty s poruchami ledvin a jater. (4)

5.8 Hybridní zobrazovací metody NM

Jsou spojením modalit zobrazovacích metod radiodiagnostiky a nukleární medicíny, které umožňují přesnější analýzu fúzovaných obrazů z hlediska anatomické přesnosti a funkci zobrazovaných tkání. Mezi nejznámější patří SPECT/CT, PET/CT a PET/MR. (16)

5.8.1 SPECT/CT

Přístroj se skládá ze SPECT, který zobrazuje funkční část a CT, která zobrazuje anatomickou část zobrazení. Mají dva režimy, s nízkou nebo vysokou dávkou, přičemž u nízké dávky jsou patrné anatomické rozlišení pouze orientačně a s vysokou dávkou je vyšší anatomické rozlišení vyšetření. (11)

5.8.2 PET/CT

Tato zobrazovací metoda je fúzí dvou zobrazovacích metod, a to PET a CT. PET má horší prostorové rozlišení (5–8 mm) než CT (0,5-2 mm). Dochází tedy k přesné anatomické

lokalizaci tkáně a struktur se zvýšenou nebo sníženou absorpcí radiofarmaka. Radiační zátěž je kombinací obou vyšetření zmíněných přístrojů. (11)

5.8.3 PET/MR

Je kombinací přístrojů PET a magnetické rezonance. Lze říci, že po vzniku PET/CT je PET/MR logickým následovníkem ve vývoji zobrazovacích metod. Spojením výhod magnetické rezonance, která je v současné době dominantní zobrazovací metodou v zobrazování měkkých tkání, a tudíž více než vhodná pro vyšetřovací metody nukleární medicíny, nesla problém v technickém propojení PET do magnetického pole MR, a to konkrétně ve fotonásobičích. Problém byl vyřešen konstrukcí tzv. lavinových fotonásobičů, v nichž nejsou anihilační fotony ovlivňovány magnetickým polem. Obrovskou výhodou PET/MR je významné snížení radiační zátěže oproti PET/CT eliminací CT přístroje. (19)

6 VYŠETŘENÍ CNS METODAMI NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY

6.1 Statická scintigrafie mozku

Funguje na principu poškození hematoencefalické bariéry (HEB). V případě poškození se radiofarmakum – nejčastěji ^{99m}Tc -DTPA nebo ^{99m}Tc technecistan sodný akumuluje v místě patologie umožňující její zobrazení a lokalizaci. V současné době s příchodem hybridních zobrazovacích metod je toto vyšetření obsoletní. (20)

Před vyšetřením se podává Chlorigen neboli chloristan draselný per os. Ten zabraňuje akumulaci RF ve štítné žláze, plexus choroideus a slinných žlázách. (3)

6.2 Perfuzní scintigrafie mozku

Vyšetření je indikováno u akutních a chronických onemocnění mozku, diagnostiky demence, lokalizaci epileptického ložiska, popř. mozkové smrti. Je zcela závislé na stavu cévního řečiště a jeho průtoku. Vlastní vyšetření začíná aplikací radiofarmaka, většinou o aplikaci 600-800 MBq. Akumulace je evidentní již při prvním průtoku mozem. Radiofarmakum díky svému lipofilnímu charakteru prochází přes HEB a v intracelulárním prostředí neuronů získávají hydrofilní charakter, tudíž nemůže dojít k jeho zpětné redistribuci a zpětnému průchodu hematoencefalickou bariérou. K hodnocení perfuze mozku se využívá ^{99m}Tc -HMPAO (hexamethylpropylenamino oxim) a ^{99m}Tc -ECD (ethylcysteinat dimer neboli bicusát). U ^{99m}Tc -HMPAO dochází k přeměně na hydrofilní formu interakcí s glutathionem. Během prvního průtoku dojde k vychytání zhruba 80% radiofarmaka, pouze u 3–6 % se ukládá v mozkové tkáni. Nejvhodnější provedení scintigrafického vyšetření je kolem půldruhé hodiny. Přeměnou ^{99m}Tc -bicusátu dochází vlivem deesterifikace vlivem funkce mozkové tkáně. Oproti ^{99m}Tc -HMPAO je radiofarmakum o 10 % méně vychytáno při prvním průtoku a o 2 % více deponováno v mozkové tkáni, tj. 5-6 %. Výhodou bicusátu je rychlé odplavování radiofarmaka z organismu, a to až 95 % celkového objemu do jedné hodiny. Proto je nejvhodnější provedení vyšetření od 45 do 60 minut od podání tohoto radiofarmaka. (20)

Výsledkem vyšetření jsou tomografické řezy ve 3 základních anatomických rovinách. Prvně k posouzení výsledku vyšetření je nutnost vyloučení pohybových artefaktů způsobených pohybem pacienta. Poté lékař zhodnotí vizuálně ložiskové změny a

symetričnost zobrazení mozkových hemisfér, popřípadě porovná aktivitu v oblasti zájmu s referenčním místem. (3)

6.2.1 Indikace a hodnocení

Cerebrovaskulární onemocnění – zjednodušeně lze vyšetření popsat jako rozsah ischemie v mozku. Při aplikaci radiofarmaka se ischemické nebo hemorhagické ložisko zobrazí jako studené, a to z důvodu neproniknutí radiofarmaka do oblasti postižení. Tkáň je tedy postižena nekrózou. Pokud je tkáň pouze poškozená, ale stále funkční, paradoxně se v ní radiofarmakum kumuluje více než v jejím okolí z důvodu poškození HEB. Tento fenomén se nazývá luxusní perfuze. Po prodělané mozkové příhodě lze popsat i jiný fenomén, zkříženou mozečkovou diaschýzu, kdy je perfuze na kontralaterální straně mozečku slabší. (20)

Tranzitorní ischemická ataka – neboli krátkodobá porucha funkce mozku způsobená změnou v jeho prokrvení bez viditelného poškození mozku. Lze hodnotit pouze několik hodin od vzniku ataky. (3)

Vyšetření cerebrovaskulární perfuzní rezervy – indikuje se při podezření na stenózu některé z mozkových tepen. Pacientovi je podán acetazolamid nebo inhaluje 5 % směs CO₂ a vzduchu. Tím dochází k dilataci mozkových cév. Pokud je některá z tepen postižena stenózou, bude zobrazena hypoperfuzně. Výsledek vyšetření je indikací k angiografickým výkonům, např. posouzení léčby uzávěru Arteria Carotis interna (ACI) při nedostatečné kompenzaci Willisovým okruhem. (20)

Diagnostika demence – Rozděluje se na 3 typy. Nejčastěji diagnostikována je posteriorní neboli Alzheimerova demence. K té patří také demence s Lewyho tělísky nebo demence projevující se při Parkinsonově chorobě. Projevuje se jako snížení perfuze radiofarmaka v cortexu parietálních a temporálních laloků. Ve finální fázi jsou postiženy i frontální laloky. Pro frontotemporální demence je typickým představitelem Pickova choroba. Pro vaskulární typ demence je typickým rozdílem její příčina, tedy porucha perfuze mozku. Diagnostikou lze rozlišit tento typ demence od Alzheimerovy choroby. (20)

Detekce epilepsie – Popisuje se jako primární ložisko způsobující iktus. Na počátku záchvatu se pacientovi aplikuje radiofarmakum a snímá se oblast zájmu. Ložisko způsobující záchvat má vyšší perfuzi i metabolismus, jeví se tedy jako hot spot. V období interiktálním

jsou ložiska hypoperfundovaná. Není zde tedy taková výtěžnosti z vyšetření jako v období iktálním. (3)

Mozková smrt – provedení vyšetření a jeho pozitivita je nutností k odběru orgánů, tedy k transplantaci. Při pozitivitě u scintigrafického vyšetření se nezobrazují mozkové tepny ani tepny Willisova okruhu. Radiofarmakum se nezobrazí ani v mozkových hemisférách, mozečku a mozkovém kmeni. (20)

6.3 Zobrazení dopaminových drah

Tohoto vyšetření se využívá při zobrazení dopaminového metabolismu v bazálních gangliích mozku. Nejdůležitější roli zde hraje dopamin, který je součástí presynaptických i postsynaptických dopaminových receptorů, popř. dopaminových transportérů, které dopamin vychytávají a vrací jej zpět při dalším vzruchu do synaptické štěrbině. Dopamin je neurotransmitter, který zajišťuje správnou funkci pohybu, motivace a dalších kognitivních funkcí. Existují dva typy kanálů při přenosu vzruchu, tzv. akčním potenciálu, a to D1 kanály, které otevírají draslíkové kanály a D2 kanály, které je zavírají. (3)

Využívaná radiofarmaka jsou analogy kokainu. Jsou to např. ^{123}I -Ioflupan využívaný při DATSCANU, který zobrazuje dopaminové receptory a jejich distribuci presynapticky. Postsynaptické D2 receptory lze zobrazit pomocí ^{123}I -IZBM (jodobenzamidem). Dalším typem radiofarmak jsou i pozitronové zářiče, ^{18}F -DOPA (dihydroxyphenylalanin), kterým lze zobrazit presynapticky nervová zakončení striatu, a to aktivity DOPA-dekarboxylázy. (20)

6.3.1 Indikace a hodnocení

Parkinsonova choroba – Indikuje se při podezření na poškození aferentních nervových drah. Pokud je poškozeno přímo striatum uvnitř bazálních ganglií, řadí se tato patologie do okruhu Parkinson+ s poškozením nervových drah presynapticky i postsynapticky. Před aplikací radiofarmaka je nutné vysadit všechny léky, které mohou ovlivnit dopaminové transportéry. Při pozitivitě lze zřetelně popsat deficit dopaminových transportérů v Putamen a Nucleus Caudatus ztrátou tvaru půlměsíce. (3)

6.4 PET vyšetření mozku pomocí ^{18}F -FDG

Vyšetření spočívá v aplikaci radiofarmaka ^{18}F -FDG vázaného v glukóze, které je spotřebováno v místě největší metabolické aktivity, tedy v mozku. Vyšetřením s ^{18}F -FDG se diagnostikují primárně tumory. Diagnostikovat lze i určité typy demence a epilepsii, ovšem

nevýhodou je krátký poločas rozpadu ^{18}F pro diagnostiku periiktální epilepsie a sekundárně vyšší cena radiofarmaka. Z celkové aktivity se v mozku vychytávají zhruba 4 % z celkové aktivity. Snímá se pomocí PET, nejčastěji v kombinaci s CT pro anatomickou komparaci. (20)

6.4.1 Indikace a hodnocení

Tumory – Vyšetření se provádí při podezření na high-grade gliomy mozku, např. indikace před radioterapií Lekselovým gama nožem, popř. ke kontrole po radioterapii nebo operační excizi. Při pozitivní diagnostice se nádory sytí glukózou více než ostatní tkáň mozku. To se může jevit i jako nevýhoda u šedé hmoty mozkové, kdy je akumulace radiofarmaka stejně vysoká jako u tumoru. (20)

6.5 Zobrazení tumorů ostatními radiofarmaky

Pro diagnostiku tumorů existují i jiná radiofarmaka vhodná pro SPECT i PET zobrazení. Těmi mohou být i značené aminokyseliny, např. ^{18}F -fluoroetylytyrosin, ^{11}C -metionin (^{11}C -MET), nebo ^{11}C -thymidin. Tato radiofarmaka jsou oproti ^{18}F -FDG schopna akumulace i v low-grade gliomech v šedé hmotě mozkové. Pro radiofarmakum ^{18}F -Fluorothymidin (^{18}F -FLT) platí, že se v low-grade gliomech příliš neakumuluje, je tedy vhodnější pro zobrazení high-grade gliomů. Pro zobrazení meningeomu slouží radiofarmakum ^{111}In -pentetreotid. Další radiofarmaka vhodná pro zobrazení high-grade gliomů jsou $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -MIBI a ve formě iontů ^{201}Tl . (20)

6.6 Radionuklidová cisternografie

Zobrazení spočívá v aplikaci radiofarmaka pomocí lumbální punkce do subarachnoidálního prostoru. Pacient musí být po aplikaci v horizontální poloze. Z důvodu časové náročnosti vyšetření (až 24 hodin) je $^{99\text{m}}\text{Tc}$ s poločasem rozpadu 6 hodin nevhodné. Vhodnější je radiofarmakum s delší poločasem rozpadu, a to je ^{111}In -DTPA s poločasem rozpadu 67 hodin. Po jedné hodině od aplikace se zobrazí bazální cisterny, po 2-6 hodinách frontální laloky, za 12 hodin frontální sinus a za 24 hodin sagitální sinus. Vyšetření se provádí pomocí statické scintigrafie ve 4 základních projekcích. (20)

6.6.1 Indikace a hodnocení

Likvorea – Indikuje se při nejasném úniku tekutiny do nosu nebo uší. Pacient je zatamponován, poté se mu podá radiofarmakum a po časovém odstupu se při pozitivním nálezu detekuje radioaktivita mnohem vyšší při porovnání s krevní plasmou. Pouze masivní likvoreu lze snímat scintigraficky, jinak je neprůkazná. (3)

Komunikující hydrocephalus – indikací může být např. subarachnoidální krvácení nebo nádorové onemocnění. Mozkomíšní mok proniká do postranních komor, nedostatečně se resorbuje a dochází k opačnému směru jeho toku. (3)

Průchodnost ventrikulárních shuntů – Vyšetření se provádí při podezření na neprůchodnost ventrikulárních shuntů. Při správné funkci jsou shunty při scintigrafickém vyšetření naplněné mozkomíšním mokem a radiofarmakem. (3)

PRAKTICKÁ ČÁST

7 CÍLE PRÁCE, VÝZKUMNÉ OTÁZKY, METODIKA

7.1 Hlavní cíle

1. Zjistit četnost jednotlivých vyšetření na pracovišti nukleární medicíny ve FN Plzeň od 1.11.2013 do 31.10.2023.
2. Zjistit a statisticky zpracovat časový vývoj vyšetření CNS na pracovišti nukleární medicíny v Plzni v období od 1.11.2013 do 31.10.2023
3. Zjistit nejčastější indikaci pro vyšetření dopaminových drah.

7.2 Výzkumné otázky

1. Kolik vyšetření CNS se provedlo na oddělení NM za posledních deset let od 1.11.2013 do 31.10.2023 ve FN Plzeň?
2. Stoupá počet pacientů indikovaných k vyšetření CNS na pracovišti nukleární medicíny FN Plzeň?
3. V jaké fázi onemocnění je pacient poslán k vyšetření Parkinsonovy choroby?
4. Jsou vyšetřováni zobrazovacími metodami nukleární medicíny na nádory CNS více muži nebo ženy?

7.3 Metodika

Praktickou část jsem zpracoval kvantitativním výzkumem na bázi vypracování statistiky a kvalitativním výzkumem zpracováním několika kazuistik. Výběr pacientů se týkal množiny nemocných s neurodegenerativní poruchou podstupujících vyšetření na nukleární medicíně starších 65 let. Ke zpracování je potřebný souhlas ke sběru informací ve FN Plzeň (příloha 1).

8 STATISTICKÉ ZPRACOVÁNÍ

Cílem mého statistického zpracování je porovnání počtu pacientů podstupujících jednotlivé vyšetřovací metody CNS na NM, jejich věku, pohlaví a užitých zobrazovacích metod na dvou pracovištích nukleární medicíny v období od 1.11.2013 do 31.10.2023

8.1 Zastoupení jednotlivých zobrazovacích v kombinaci s radiofarmaky

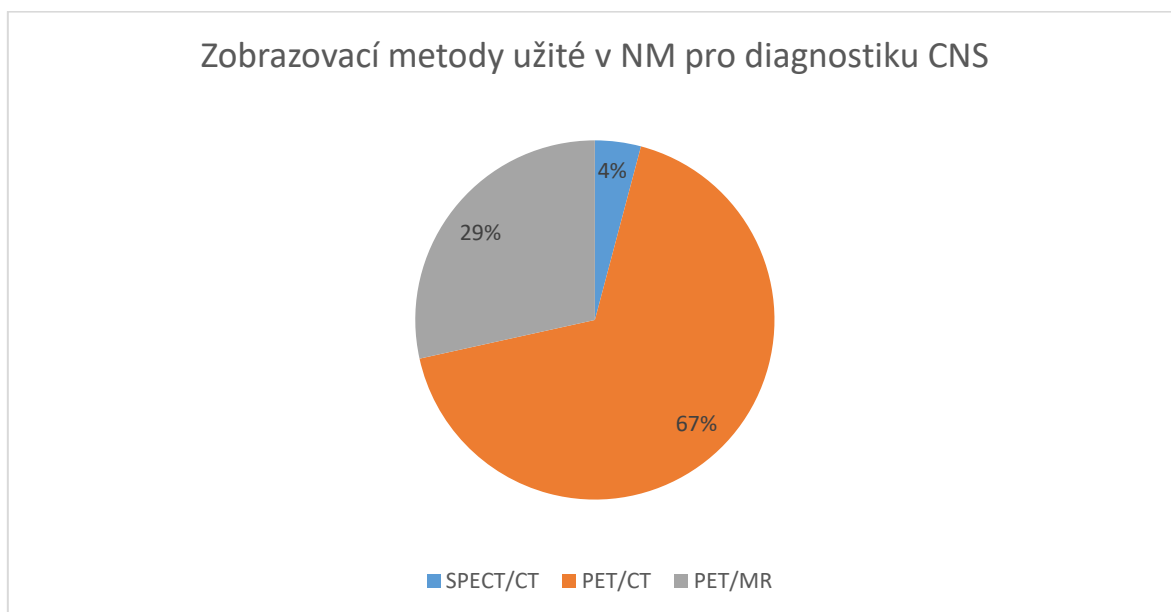
Tabulka 1 - Jednotlivá vyšetření za sledované období ve FN Plzeň

Vyšetřovací metoda a užití RF	Počet pacientů
SPECT/CT – ^{99m} Tc – bicisát	2
SPECT/CT – ¹²³ I – Ioflupan	0
SPECT/CT – ¹¹¹ In – DTPA	0
SPECT/CT – ^{99m} Tc – HMPAO	24
PET/CT – ¹⁸ F – FDG	25
PET/CT – ¹⁸ F – FLT	104
PET/CT – ¹⁸ F – L - DOPA	295
PET/MR – ¹⁸ F – FLT	60
PET/MR – ¹⁸ F – L - DOPA	119
Celkem	629

Zdroj: vlastní

V tabulce č.1 je znázorněn počet jednotlivých vyšetření na oddělení NM FN Plzeň. Za sledované období se uskutečnilo 639 vyšetření, z nichž nejčetnější bylo vyšetření na PET/CT s aplikací ¹⁸F – L - DOPA s četností 295 vyšetření, následně PET/MR mozku s aplikací ¹⁸F-DOPA, které tvořilo 129 vyšetření a 26 scintigrafických vyšetření, z nichž 24 bylo s aplikací ^{99m}Tc-HMPAO. Vyšetření SPECT/CT s užitím RF ¹²³I – Ioflupan pro vyšetření DATSCAN a ¹¹¹In – DTPA pro vyšetření radionuklidové cisternografie se za zkoumané období nevykonávaly.

Graf 1 - Zobrazovací metody užívané v NM pro diagnostiku CNS



Zdroj: vlastní

V grafu č.1 je procentuálně znázorněn poměr jednotlivých zobrazovacích metod využívaných na oddělení NM ve FN Plzeň Z grafu lze vyčíst, že nejčastěji se pro diagnostiku využívá hybridní zobrazovací metoda PET/CT, a to z 67 %. Vhodnost pro volbu této zobrazovací metody lze přisuzovat i pacientům, kteří z důvodu různých kontraindikací nemohli být vyšetřeni pomocí MR, např. pacienti s kardiostimulátorem, kochleárním implantátem či jinými implantáty nevhodnými pro vyšetření magnetickou resonancí. Na druhém místě jsou metody zobrazování pomocí hybridní metody PET/MR (29 %). Výhodou pro indikaci MR je žádná radiační zátěž a možnost vyšetření pacientů s renální insuficiencí. Nejméně používanou zobrazovací metodou je SPECT/CT (4 %).

8.2 Zastoupení dle pohlaví

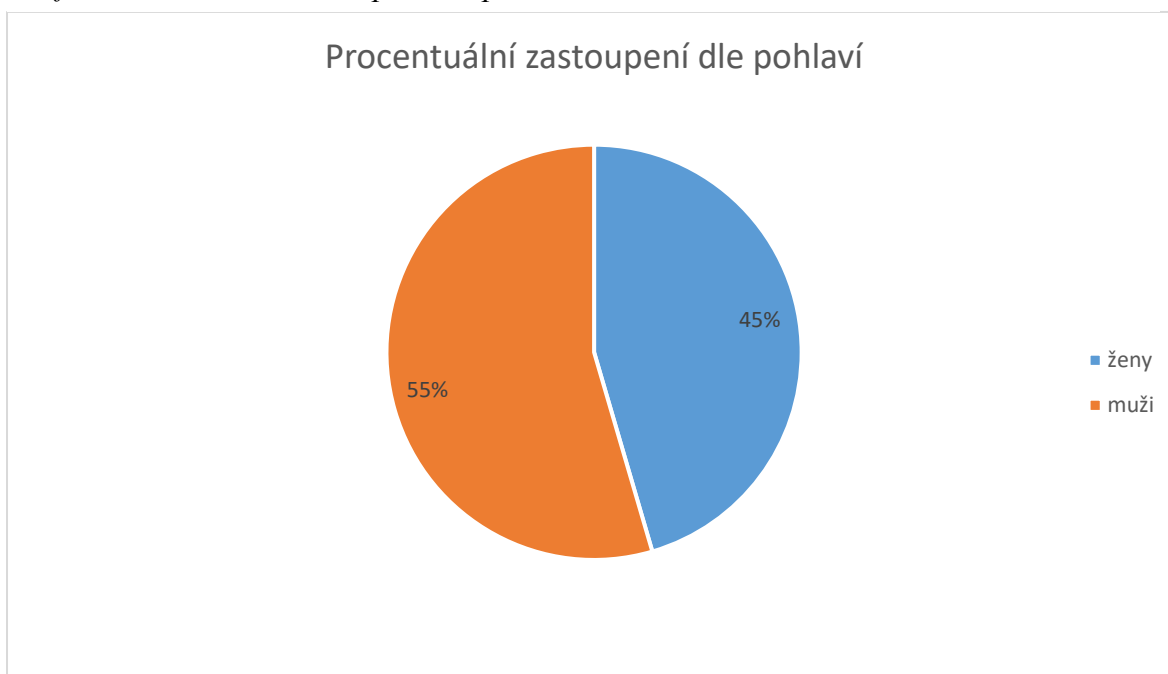
Ve zkoumaném období od 1.11.2013 do 31.10.2023 bylo indikováno pro vyšetření CNS na NM celkem 629 pacientů, z nichž bylo 343 mužů a 286 žen. Blíže v tabulce č.2.

Tabulka 2 - Zastoupení vyšetření dle pohlaví

Pohlaví	Počet pacientů	Procentuální zastoupení
Muži	343	54,53 %
Ženy	286	45,47 %
Celkem	629	100 %

Zdroj: Vlastní

Graf 2 - Procentuální zastoupení dle pohlaví



Zdroj: vlastní

Graf č.2 zobrazuje procentuální zastoupení pohlaví u vyšetření CNS metodami NM. Zastoupení podstoupených vyšetření u mužů je vyšší než u žen.

8.3 Zastoupení pohlaví u jednotlivých vyšetření

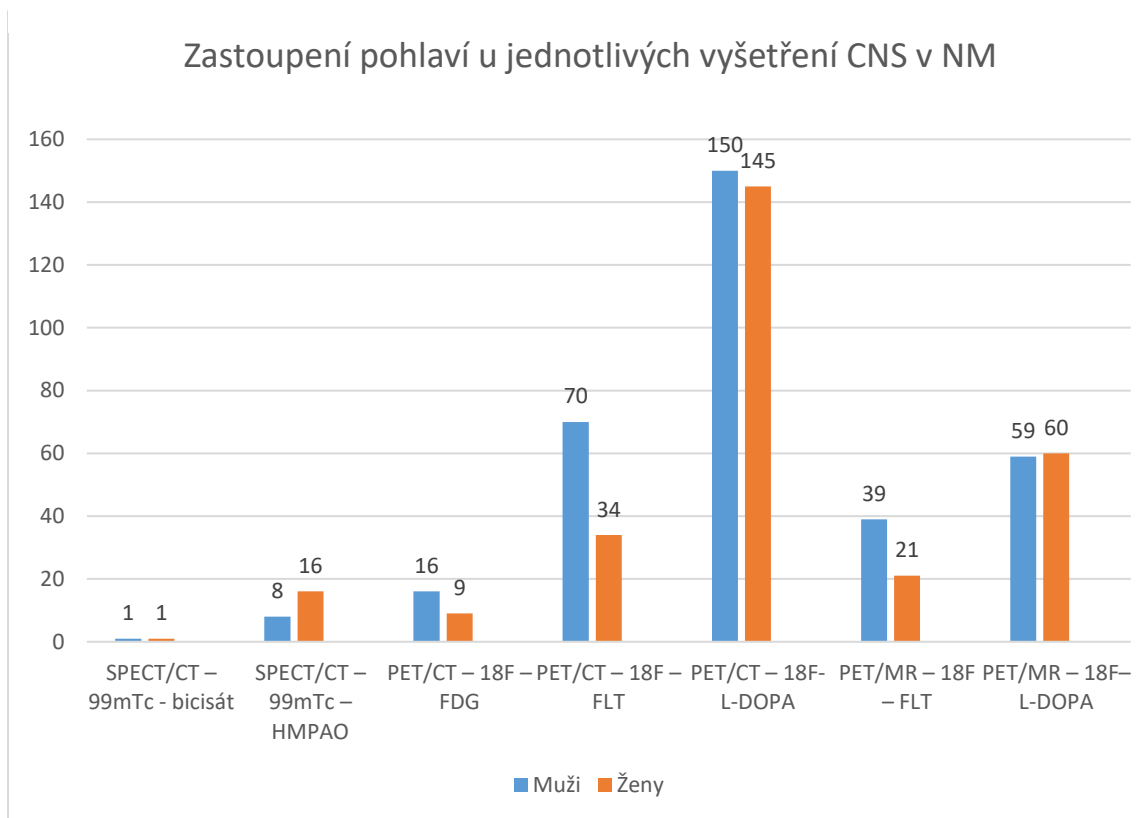
Ze souboru 629 pacientů rozdělených podle pohlaví do 343 mužů a 286 žen je zobrazeno v tabulce a následně též v grafu zastoupení pohlaví u jednotlivých radionuklidových vyšetření CNS.

Tabulka 3 - Zastoupení pohlaví u jednotlivých radionuklidových vyšetření CNS

Pohlaví	Muži	Ženy	Celkem vyšetření	Procentuální zastoupení muži	Procentuální zastoupení ženy
SPECT/CT – ^{99m} Tc – bicisát	1	1	2	50 %	50 %
SPECT/CT – ^{99m} Tc – HMPAO	8	16	24	33,33 %	66,66 %
PET/CT – ¹⁸ F – FDG	16	9	25	64 %	36 %
PET/CT – ¹⁸ F – FLT	70	34	104	67,31 %	32,69 %
PET/CT – ¹⁸ F – L-DOPA	150	145	295	50,85 %	49,15 %
PET/MR – ¹⁸ F – FLT	39	21	60	65 %	35 %
PET/MR – ¹⁸ F – L-DOPA	59	60	119	49,58 %	50,42 %

Zdroj: Vlastní

Graf 3 - Zastoupení pohlaví u jednotlivých vyšetření CNS v NM



Zdroj: vlastní

V grafu č.3 jsou znázorněna jednotlivá vyšetření a podíl pohlaví zkoumaných pacientů. Významná prevalence mužů (67,31 %) oproti ženám (32,69 %) je evidentní při vyšetření PET/CT za použití RF ^{18}F – Fluorothymidinu. Podobný efekt lze pozorovat i u obdobného vyšetření magnetickou resonancí, u mužů 65 % a u žen 35 %.

Další významný rozdíl je zřejmý u PET/CT mozku s použitím RF ^{18}F – FDG, kde je rozdíl téměř dvojnásobný (muži 64 %, ženy 36 %). Podobnost lze sledovat i u vyšetření SPECT/CT s aplikací RF $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – HMPAO, kde muži tvoří 33,33 % vyšetřovaných a ženy 66,67 %.

8.4 Uskutečněná vyšetření za jednotlivé roky

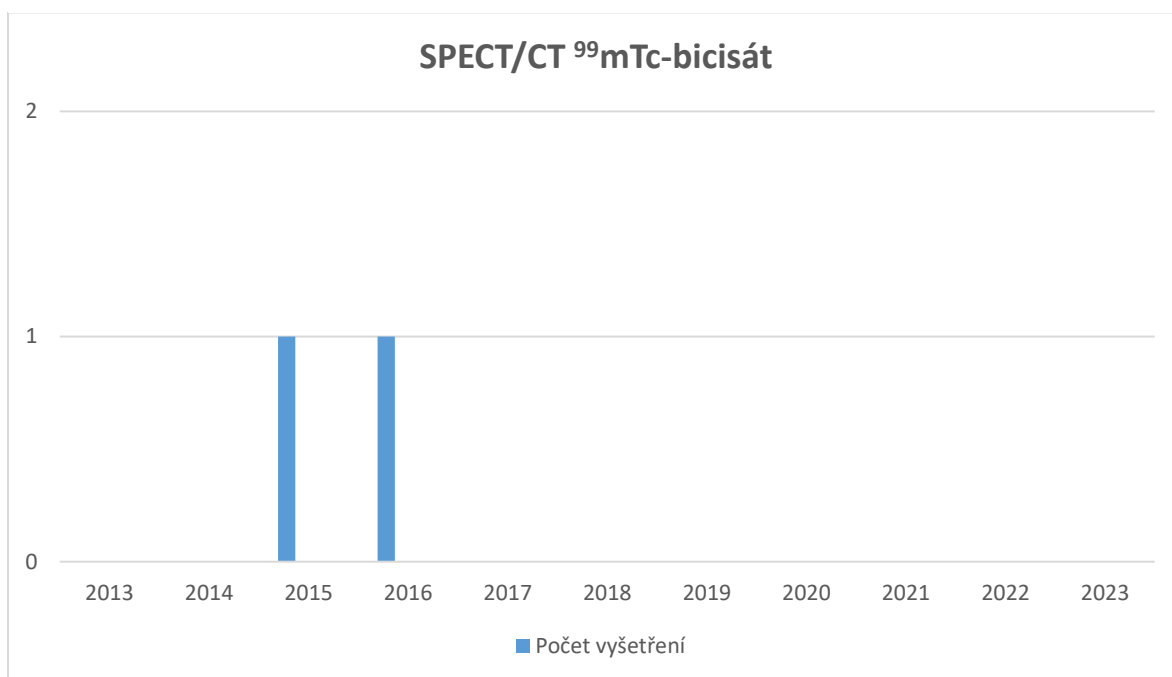
Ze souboru 629 pacientů je mým cílem vyzkoumat, jaký je časový vývoj jednotlivých vyšetření na oddělení nukleární medicíny FN Plzeň. Tzn., zdali počet vyšetření stoupá, klesá nebo zůstává stejný. Uskutečněná vyšetření jsou rozpracována podle zobrazovacích metod a užitých RF do jednotlivých grafů.

Zobrazovací metoda PET/MR je v provozu ve FN Plzeň od roku 2016.

V roce 2019 vypukla pandemie COVID-19, z tohoto důvodu se vyšetření CNS prakticky neprováděla.

8.4.1 SPECT/CT – ^{99m}Tc – bicisát

Graf 4 – Časový vývoj u zobrazovací metody SPECT/CT ^{99m}Tc -bicisát

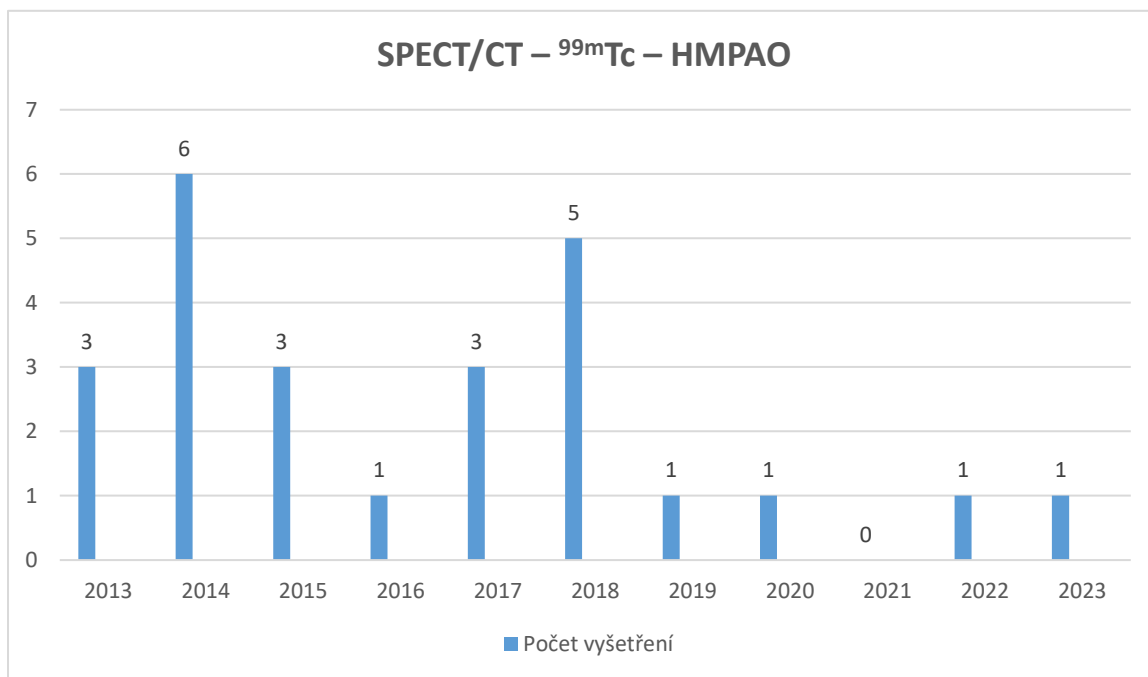


Zdroj: vlastní

Z grafu č. 4 lze vyčíst, že za zkoumané období byla vyšetření vykonána pouze v letech 2015 a 2016. Ve zbylých obdobích se vyšetření CNS s použitím RF ^{99m}Tc -bicisát nevykonávalo.

8.4.2 SPECT/CT – ^{99m}Tc – HMPAO

Graf 5 - Časový vývoj u zobrazovací metody SPECT/CT – ^{99m}Tc – HMPAO

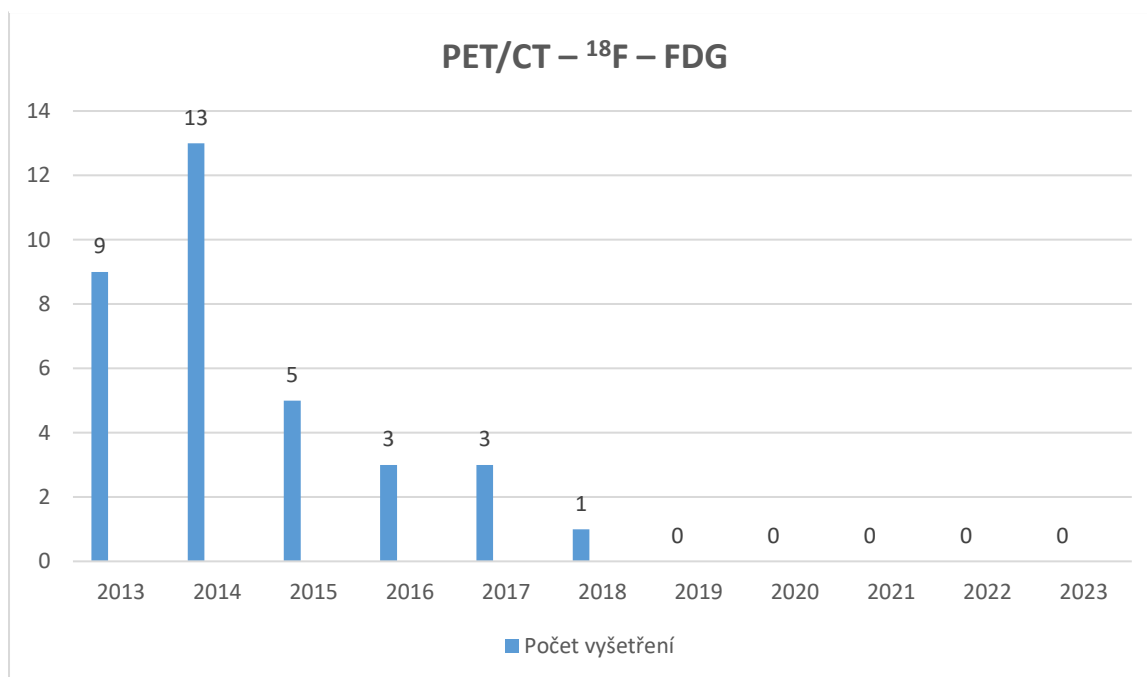


Zdroj: vlastní

Graf č. 5 zobrazuje časový vývoj RF ^{99m}Tc – HMPAO. Tato vyšetření za použití zobrazovací metody SPECT/CT se častěji prováděla v řádu jednotek do roku 2019. Největší počet vyšetření byl proveden v roce 2014, a to 6 vyšetření. Od roku 2019 se vyšetření perfuze mozku provádí zpravidla okrajově.

8.4.3 PET/CT – ¹⁸F – FDG

Graf 6 - Časový vývoj u zobrazovací metody PET/CT – ¹⁸F – FDG

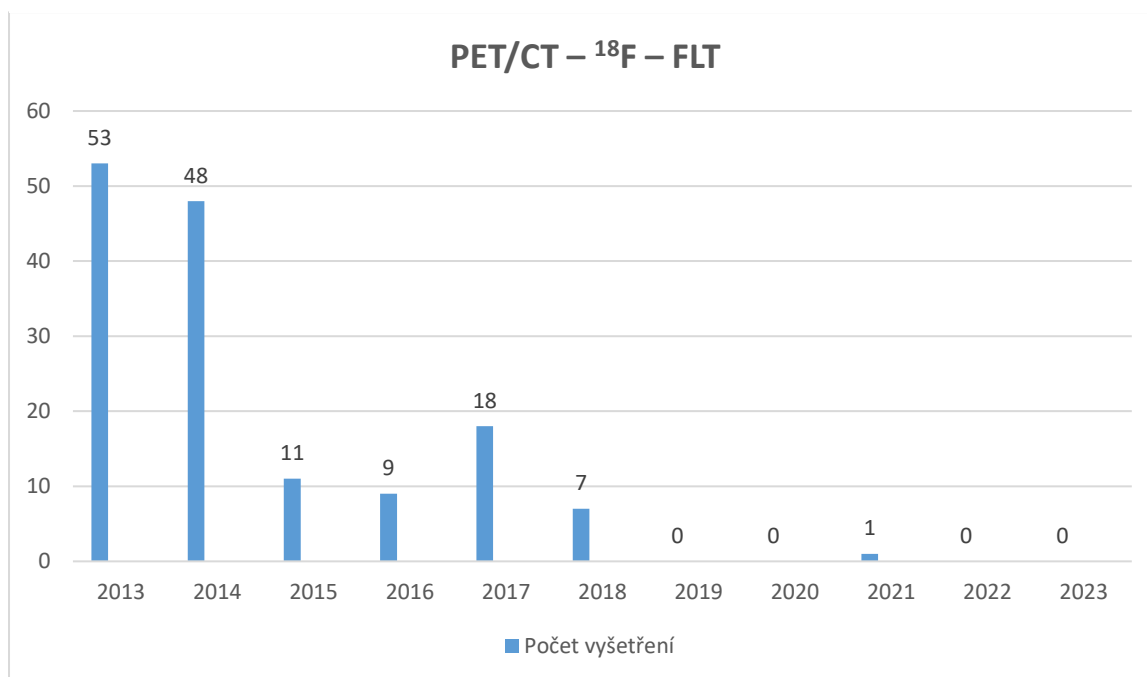


Zdroj: vlastní

Z grafu č. 6 lze vyčíst postupný pokles uskutečněných vyšetření PET/CT mozku. Za poklesem nejspíše stojí zavedení nové zobrazovací metody ve FN Plzeň, a to PET/MR od roku 2016. Od roku 2019 nebyla provedena žádná vyšetření.

8.4.4 PET/CT – ¹⁸F – FLT

Graf 7 - Časový vývoj u zobrazovací metody PET/CT – ¹⁸F – FLT

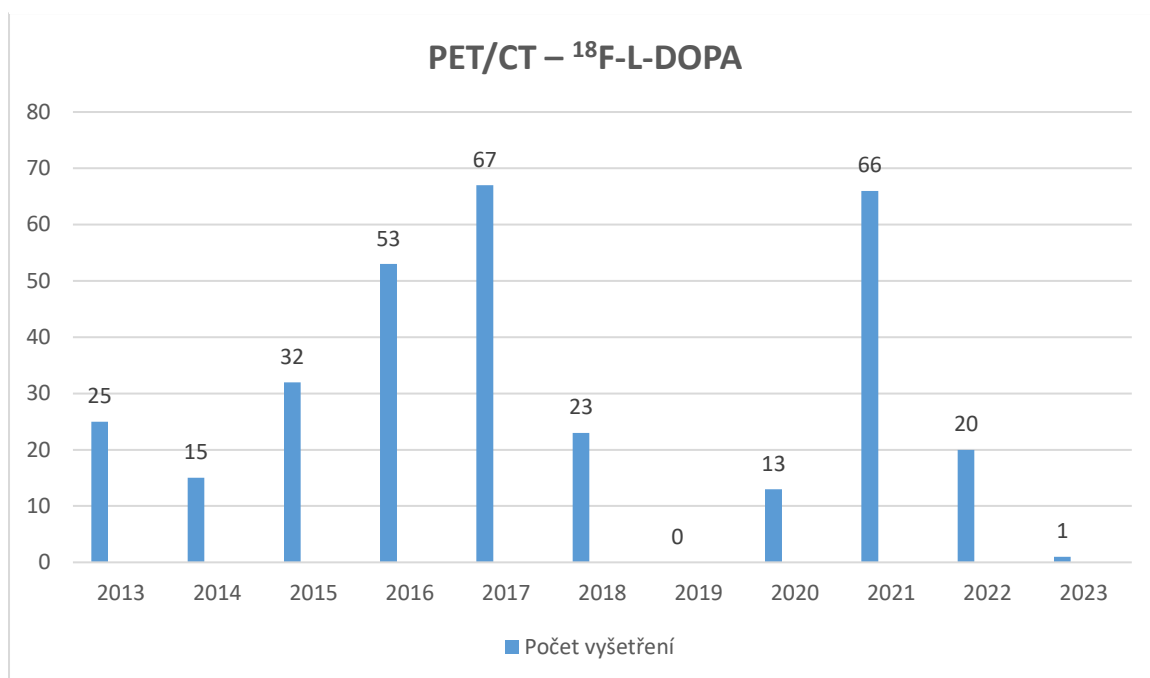


Zdroj: vlastní

Z grafu č. 7 lze vyčíst u vyšetření PET/CT s použitím radiofarmaka ¹⁸F – FLT obdobnou tendenci klesání počtu vyšetření. V letech 2013 a 2014 byl počet vyšetření signifikantně větší oproti následujícím rokům. Od roku 2015 se počet vyšetření snížil v letech 2016 a 2018 až do řádu jednotek. Od roku 2019 se tato vyšetření prakticky neprovádějí.

8.4.5 PET/CT – ¹⁸F – L - DOPA

Graf 8 - Časový vývoj u zobrazovací metody PET/CT – ¹⁸F – L - DOPA

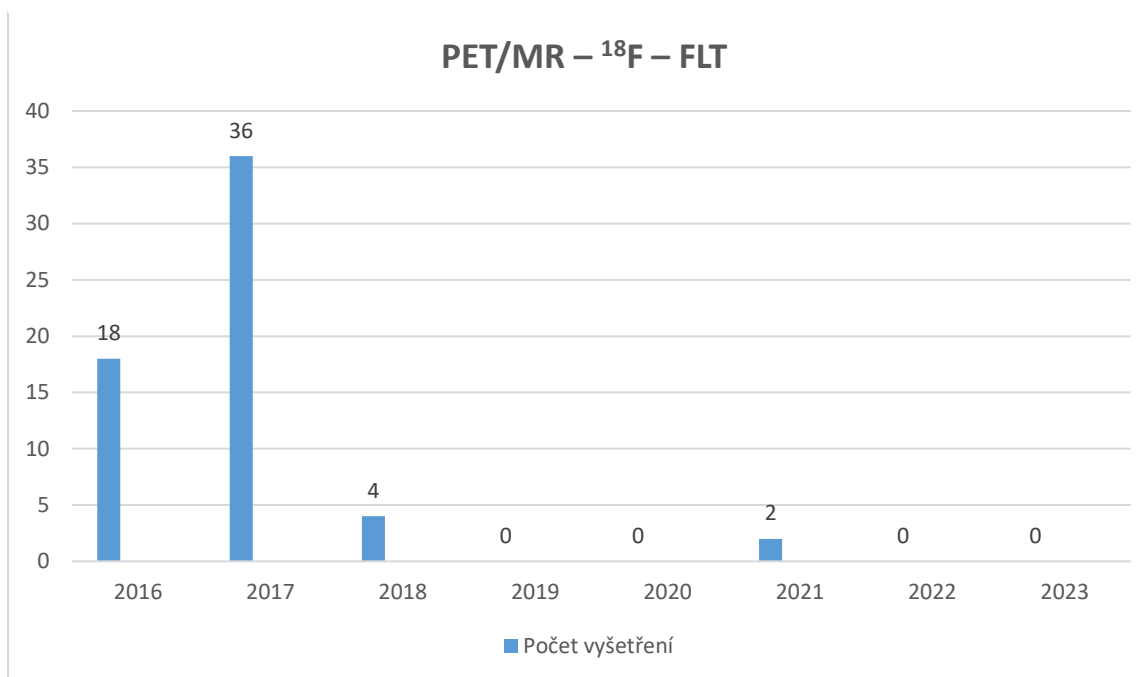


Zdroj: vlastní

Graf č. 8 zobrazuje počet vyšetření PET/CT s použitým RF ¹⁸F-L-DOPA. Diagnostika neuroendokrinních tumorů a dopaminergního systému za použití této zobrazovací metody mírně klesá. Za rok 2019 se nevykonalo žádné vyšetření a v roce 2023 pouze 1 vyšetření. Nejvíce vyšetření se vykonalo v letech 2017 a 2021.

8.4.6 PET/MR – ^{18}F – FLT

Graf 9 - Časový vývoj u zobrazovací metody PET/MR – ^{18}F – FLT

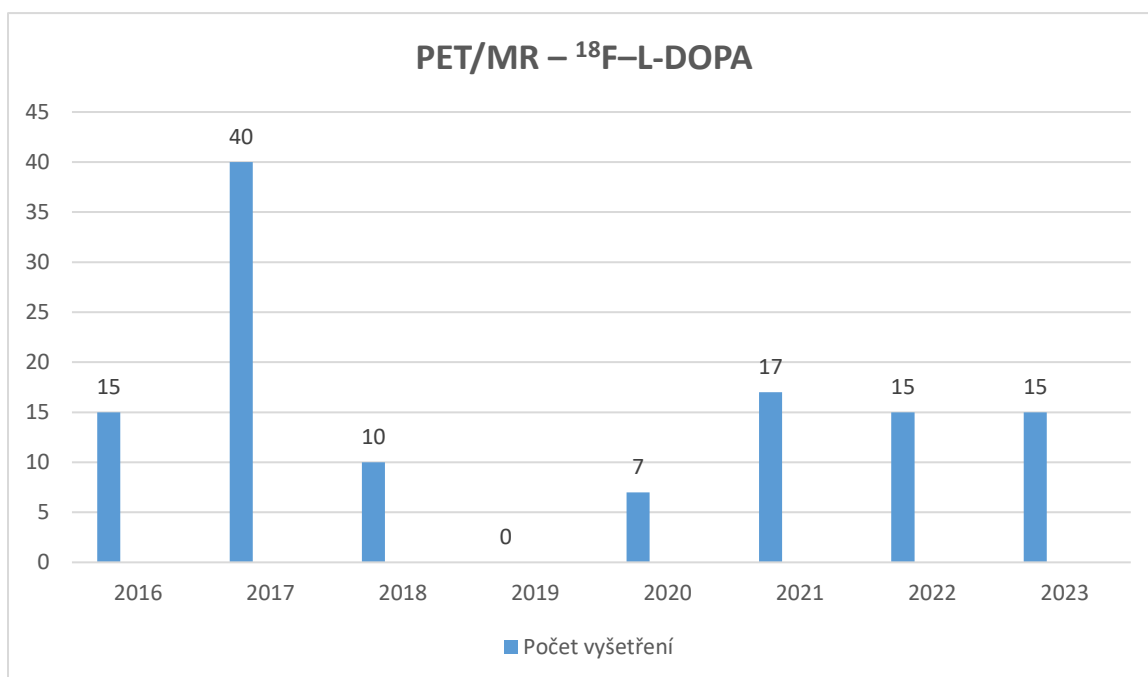


Zdroj: vlastní

V grafu č. 9 je zřejmé, že uvedené zobrazovací metody CNS s použitím RF ^{18}F – FLT se nejvíce prováděly v letech 2016 a 2017. V letech 2018 a 2022 se provedlo pouze několik vyšetření v řádu nižších jednotek. Ve zbylém období se žádná vyšetření neprováděla.

8.4.7 PET/MR – ^{18}F -L-DOPA

Graf 10 - Časový vývoj u zobrazovací metody PET/MR – ^{18}F -L-DOPA



Zdroj: vlastní

Graf č. 10 zobrazuje vyšetření PET/MR za použití RF ^{18}F -L-DOPA. Nejvíce vyšetření bylo provedeno v roce 2017, celkem 40. Za to nejméně jich bylo provedeno v roce 2019, a to 0. Ve zbylých obdobích je počet vyšetření přibližně stejný.

8.5 Věkové zastoupení pacientů na PET/CT s RF ¹⁸F-IASODOPA

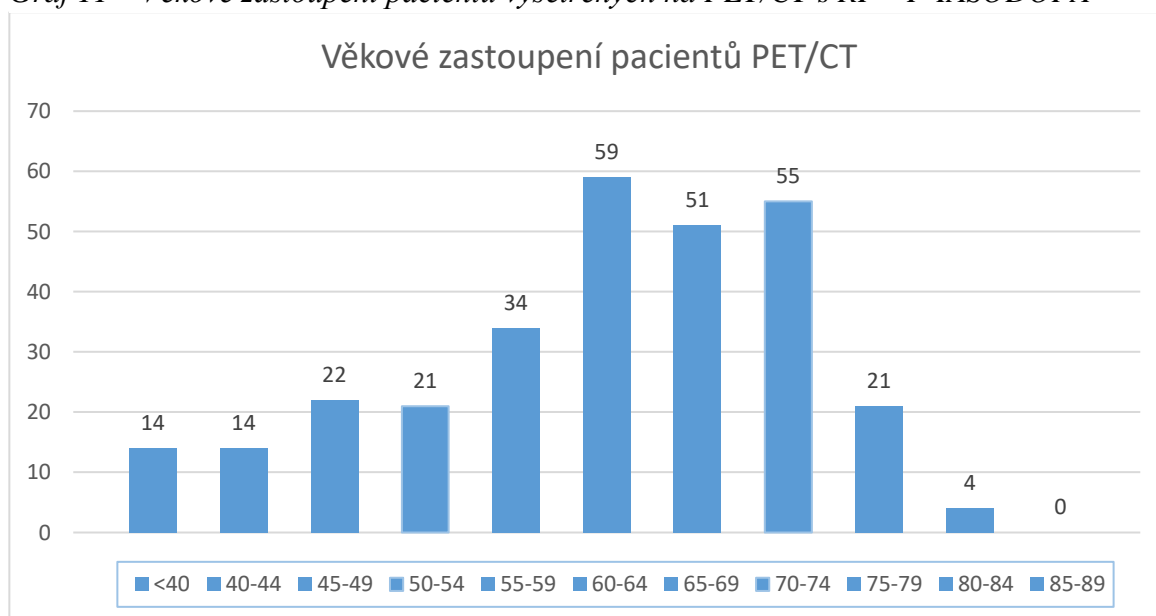
Tabulka č. 4 pojednává o zastoupení pacientů vyšetřených na PET/CT s aplikací RF ¹⁸F – IASODOPA rozdělených do jednotlivých věkových kategorií. Věková škála je rozdělena do jedenácti kategorií s odstupem 5 let.

Tabulka 4 Věkové zastoupení pacientů na PET/CT s RF ¹⁸F-IASODOPA

Věk	Počet pacientů	Procentuální zastoupení
<40	14	4,75 %
40-44	14	4,75 %
45-49	22	7,46 %
50-54	21	7,12 %
55-59	34	11,53 %
60-64	59	20 %
65-69	51	17,29 %
70-74	55	18,64 %
75-79	21	7,12 %
80-84	4	1,36 %
85-89	0	0 %
Celkem	295	100 %

Zdroj: vlastní

Graf 11 – Věkové zastoupení pacientů vyšetřených na PET/CT s RF ¹⁸F-IASODOPA



Zdroj: vlastní

Graf č. 11 zobrazuje věkové zastoupení pacientů, kteří byli indikováni k vyšetření PET/CT s aplikací RF ¹⁸F – IASODOPA. Celkově lze říci, že signifikantní skupinu pacientů tvoří ti ve věkové kategorii 55-74 let. Nejpočetnější skupinu tvoří pacienti ve věkové kategorii 60-64 let.

8.6 Věkové zastoupení pacientů na PET/MR s RF ¹⁸F-IASODOPA

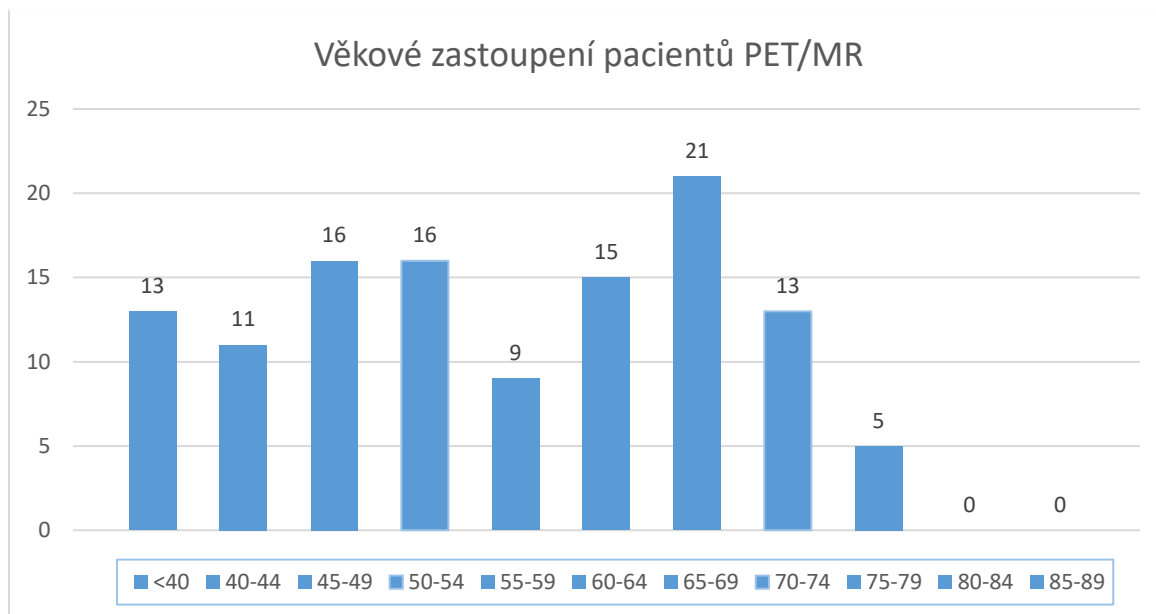
Tabulka č. 5 obsahuje zastoupení pacientů vyšetřených na PET/MR s aplikací RF ¹⁸F – IASODOPA rozdělených do jednotlivých věkových kategorií. Věková škála je též rozdělena do jedenácti kategorií s odstupem 5 let.

Tabulka 5 – Věkové zastoupení pacientů na PET/MR s RF ¹⁸F-IASODOPA

Věk	Počet pacientů	Procentuální zastoupení
< 40	13	10,92 %
40-44	11	9,24 %
45-49	16	13,45 %
50-54	16	13,45 %
55-59	9	7,56 %
60-64	15	12,61 %
65-69	21	17,65 %
70-74	13	10,92 %
75-79	5	4,20 %
80-84	0	0 %
85-89	0	0 %
Celkem	119	100 %

Zdroj: vlastní

Graf 12 - Věkové zastoupení pacientů vyšetřených na PET/MR s RF ¹⁸F-IASODOPA



Zdroj: vlastní

V grafu č. 13 je zřejmé taktéž jako v předchozím grafu zobrazení věkového zastoupení pacientů. Nejpočetnější věkovou kategorií tvoří pacienti ve věku 65-69 let. Oproti předchozímu grafu, kde byl evidentní nárůst od věkové skupiny 55-59 let, je počet pacientů různých věkových kategorií vyšetřených PET/MR s RF ¹⁸F-IASODOPOU přibližně stejný.

9 KAZUISTIKY

9.1 Kazuistika č. 1

Anamnéza

Muž, 72 let

OA: Léčen pro arteriální hypertenzi, hyperurikémií, nespavost, trpí benigní hyperplazií prostaty, hyperlipoproteinemie, Menierova choroba (hyperakuza a tinnitus vlevo), hepatopatie.

Operace: po operaci páteře kvůli iradiaci do LDK v r. 1967 a 1994. Operace kýly vpravo, katarakta bil. v r. 2014

RA: matka – třes obou HK

FA: Omeprazol 20, Milurit, Prenessa, Tamsulosin, Anopyrin 100 1-0-0, Atorvatstain 10mg, Trittico 150 0-0-1/2, Avertin 24 2-1-2.

AA: žaludeční dyspepsie po tetracyklinu (TTC)

SA: žije s manželkou

PA: dříve hajný

Abusus: exkuřák 10 let, alkohol občas

NO: Pacient přijat na neurologické ambulanci pro zhoršení stavu. V roce 2017 vyšetřen na CT mozek nativně i postkontrastně, diagnostikována frontální atrofie mozku. Od roku 2018 udává třes levé ruky, o půl roku později třes i na druhé končetině. V témže roce nasazen Isciom, pro žaludeční obtíže (nauzea, vomitus) netoleroval. Léčba změněna na Madopar a Corbiltu, také netoleroval. Od roku 2018 udává třes obou DKK i vsedě či vleže. Užívání L-DOPY ve spádu, frekvence a užívání léku není známo. Předepsán Nakom mite 0-0-1/2, dále dle tolerance dávku zvyšovat až na 2,5-2,5-2,5 tbl. denně. Pacient byl objednan na vyšetření F-DOPA PET/MR mozku se zaměřením na extrapyramidové příznaky.

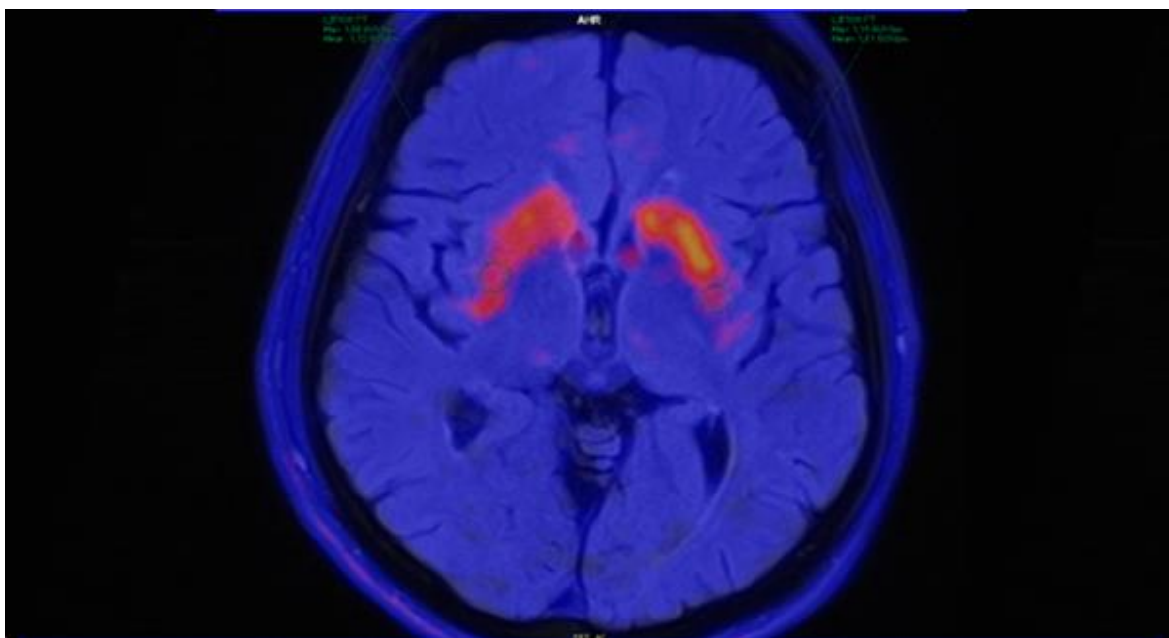
Vyšetření PET/MR s aplikací ^{18}F -IASOdopa (DOPA)

O měsíc později v r. 2018 byl pacient vyšetřen za indikace extrapyramidových příznaků. PET záznam byl proveden za pomalé intravenózní aplikace ^{18}F -IASOdopa (FDOPA) o aktivitě 97MBq. Vyšetření bylo provedeno v rozsahu mozku.

Nález: Symetrie akumulace F-DOPA difuzně v Putamen vpravo, okrskovitě vlevo. Při kvantifikaci striatooccipitálního poměru (SOR) akumulace zřetelnější vpravo, ovšem bez významného stranového rozdílu. Normální akumulace F-DOPA v oblasti mozkového kmene. Mozková tkáň bez zřetelné expanze, frontální rozšíření SA prostorů na 10 mm.

Závěr: Lehká stranová asymetrie akumulace FDOPA v bazálních gangliích, nález podporuje dg. Parkinsonovy nemoci.

Obrázek 1 - Vyšetření na PET/MR – větší akumulace RF vpravo



Zdroj: Winmedicalc FN Plzeň

9.2 Kazuistika č. 2

Anamnéza

Žena, 68 let

OA: oboustranný glaukom, chronická gastritida, hyposmie

Operace: cysta v r. 2004, katarakty 2007 pravá, 2008 levá, glaukom bilat – 2008, nefrolithiasa ledviny v r. 2004,

RA: negativní

FA: Euthyrox, Detralex, Anopyrin, Controloc

AA: negativní

SA: bydlí sama v bytě, vlastní zahrádku, zvířata nemá

PA: dříve administrativní pracovnice, nyní pomáhá v účetnictví

Abusus: alkohol výjimečně

NO: Pacientka přijata na neurologické ambulanci. od roku 2016 popisuje pocit ztuhlosti a necitelnosti celé levé paže. Byla vyšetřena spádovým neurologem, hodnoceno jako cervikobrachiální syndrom. Poté následovalo částečné zlepšení. Neurolog pojal podezření na syndrom karpálního tunelu, protože potíže postupovaly akrálně. Pak poté doplnil vyšetření CT mozku uskutečněného v roce 2017 ve FN Plzeň bez nálezu. Pacientka udává zhoršení písma, obtíže pozoruje i u PDK. Hypersalivace. Nasazen v titraci Nacom mite. Pacientka ho užívá 1-1-1-1/2 chybně s jídly. Po užívání Nacomite zlepšení obratnosti PHK, přestala bolest PDK. Další kontrola domluvena telefonicky v lednu následujícího roku.

13.1.2018 - Pacientka užívala i přes názorný rozpis léčby zcela špatně. Udává ospalost během dne. Akineticko-rigidní symptomatika je se zřetelnou převahou vpravo bez třesu s reakcí na L-DOPU, podezření na dg. Parkinsonovy nemoci. Léčba změněna na Glepark 0,7mg 1-1/2-1, Isicom 100mg 2x1/4, až do postupného navýšení 1,5-1,5-,1,5-1,5. Pacientka objednána na vyšetření PET/CT s aplikací ¹⁸F-IASOdoma (F-DOPA) na březen 2018.

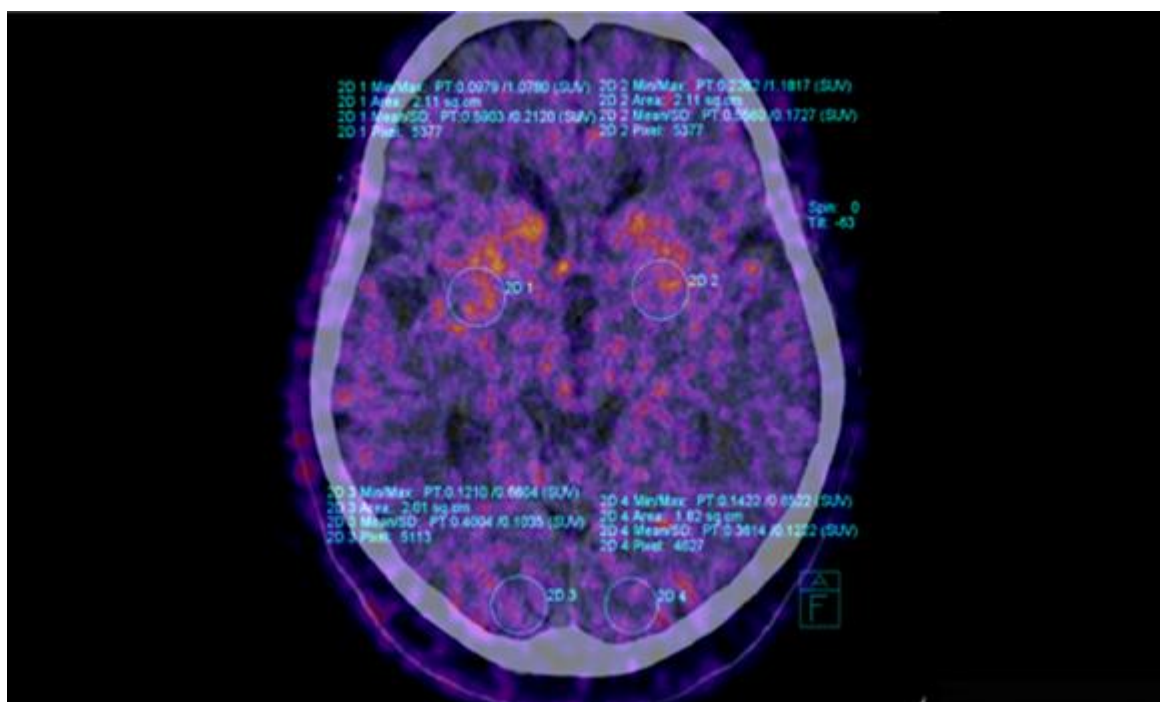
Vyšetření PET/CT s aplikací ^{18}F -IASO_{dopa} (F-DOPA)

Pacientka byla vyšetřena za indikace Parkinsonovy nemoci, spíše pro oblast Parkinson + příznaků z důvodu symptomatiky na obou pravých končetinách. Vyšetření bylo provedeno za i.v. aplikace ^{18}F -IASO_{dopa} (FDOPA) o aktivitě 177,2MBq. Vyšetření bylo provedeno v rozsahu mozku.

Nález: Vizuálně snížená akumulace F-DOPA v Putamen oboustranně, více vlevo. Při kvantifikaci striatooccipitálního poměru (SOR) jsou hodnoty obou stran stejné čili je stranový rozdíl nevýznamný. Na sagitální rekonstrukci udán tvar mozkového kmene tvaru kolibříka. V oblasti Falx Cerebri drobný lipom. Širší subarachnoidální prostory nad oběma hemisférami mozku i mozečku se projevují jako atrofie mozku. Středočárové struktury bez posunu. Komorová soustava hraniční šíře.

Závěr: Nález odpovídá oboustrannému snížení akumulace F-DOPA, nález je vzhledem ke tvaru mozkového kmene dán spíše supranukleární obrnou. Doporučeno MRI vyšetření pro potvrzení PN.

Obrázek 2 - Podezření na PN u pacienta č.2



Zdroj: Winmedicalc FN Plzeň

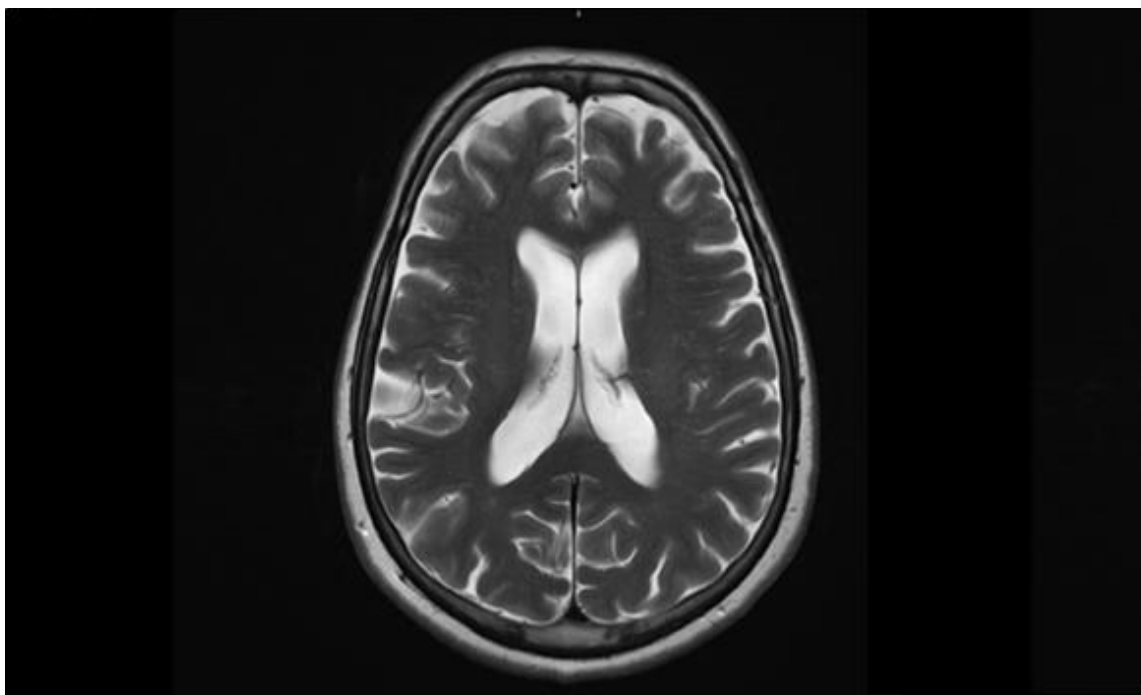
Vyšetření MR mozku

Pacientka byla pro nejasnost předchozího vyšetření indikována na doplňující vyšetření mozku pomocí MR.

Nález: V bílé hmotě mozkové nalezeno několik T2 hypersignálních ložisek do velikosti 3 mm. Podle Fazekasovy stupnice udávající poškození bílé hmoty – stupeň 1, tedy je zjevná globální atrofie se širšími SA prostory i komorovým systémem. GCA (giant cell arteritis) st. 1-2. Vyloučen tvar MK jako tvar „kolibříka“, bez vystupňované atrofie nebo expanze. Středočárové struktury bez laterizace.

Závěr: Potvrzuje dg. PN.

Obrázek 3 - doplňující vyšetření MR mozku u pacienta č.2



Zdroj: WinMedicalc FN Plzeň

9.3 Kazuistika č. 3

Žena, 68 let

OA: diabetes mellitus, arteriální hypertenze, nadváha, hyposmie od r. 2005, depresivní porucha

Operace: Appendektomie v r. 1973,

RA: nevýznamná

FA: Glukophage, Enigid, Tanadril, Bisoprolol, Madopar, Venlafaxin

AA: žádné

SA: bydlí v domku, vlastní psa

PA: Pracovala jako vedoucí v potravinách

Abusus: alkohol příležitostně

NO: Pacientka léčena na susp. PN od r. 2012, brala správnou léčbu. PN začala třesem PHK, postupně i LHK. Poslední dobou udává zhoršení chůze a pocit vnitřního třesu. Bez kolísání stavu. Původní dávka Madoparu 1-1/2-1/2-1 zvýšena na 1-1-1-1, poté po 14 dnech navýšena na 1-1-1-1-1. Podezření na Parkinsonovu nemoc, depresivní porucha. Předepsán Venlafaxin – 1 dopoledne.

Při kontrole o půl roku později v r. 2020 pacientka na účinnost Venlafaxinu neudává pozitivní ani negativní efekt. Poukazuje na ospalost po užití 4 tbl Madoparu za den, noční dávku zaspává. Udává účinnost medikace na třes, který se projevuje pouze při stresu, zlepšila se chůze. Dávka Madoparu zůstává nezměněna.

Pacientka objednána na PET/CT vyšetření s apl. IASODOPY.

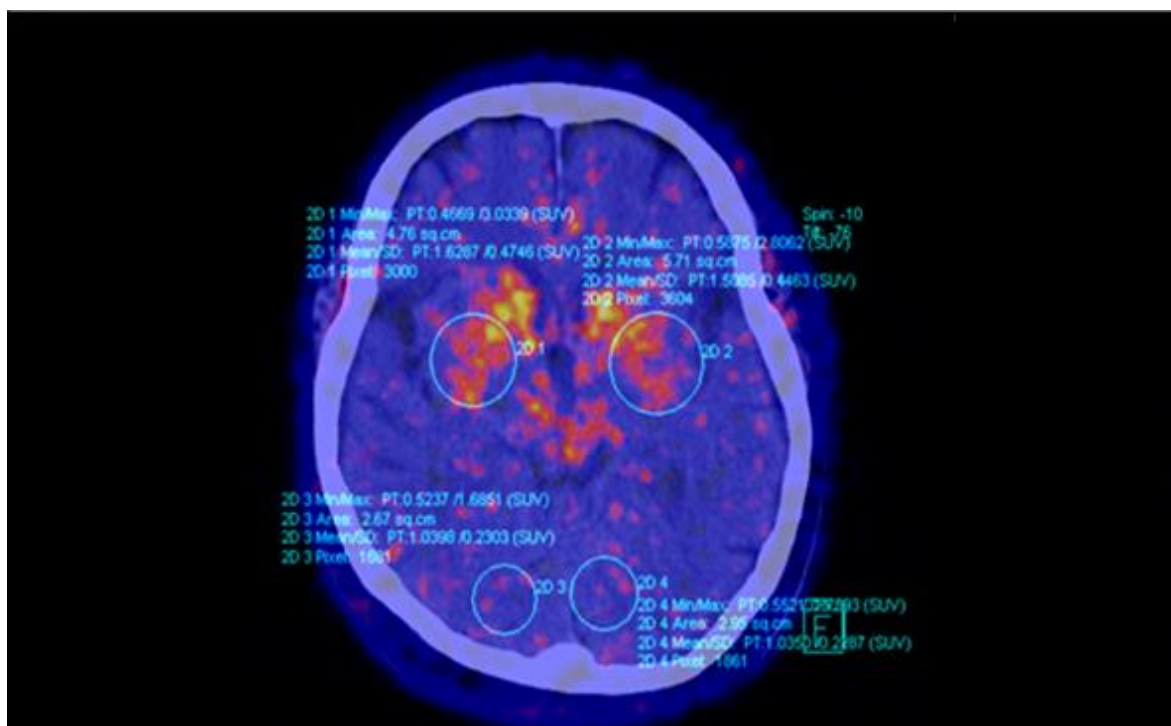
Vyšetření PET/CT s aplikací ^{18}F -IASO_dopa (F-DOPA)

Pacientka vyšetřena za indikace PN, podezření na MSA – P v počátečním stadiu bez klinických příznaků. PET záznam byl proveden za i.v. aplikace F – IASO_dopa (FDOPA) o aktivitě 102,9MBq. Vyšetření bylo provedeno v rozsahu mozku.

Nález: Vizuálně snížena akumulace F-DOPA v Putamen bilaterálně více vlevo. Při kvantifikaci SOR je stranový rozdíl nevýznamný. Mozková tkáň neobsahuje žádná ložiska. Jsou širší SA prostory nad oběma hemisférami mozku i mozečku – atrofie mozku. Středočárové struktury a komorová soustava jsou v normálu.

Závěr: Oboustranné snížení akumulace F-DOPA, nález je zřejmě dán Parkinsonovským syndromem. Vyloučení systémové atrofie.

Obrázek 4 - Pacient č.3 s diagnostikovanou PN



Zdroj: WinMedicalc FN Plzeň

9.4 Kazuistika č. 4

Muž, 72 let

OA: Spánková apnoe/hypopnoe dg. 9/2015, benigní hyperplazie prostaty, divertikulóza,

Operace: snesení 3 polypů tračníku 11/2009,

RA: otec zemřel na CA střeva v 58 letech, matka zemřela na poruchu krvetvorby v 84 letech, děti zdravé.

FA: Omnic, Isicom od 4/2018

AA: nejuje

SA: bydlí v rodinném domě s manželkou

PA: důchodce, předtím pracoval jako hasič

NO: Doporučen neurologem, kterým byl vyšetřen v dubnu 2018, v květnu realizováno CT. Diagnostikována širší III. komora, ovšem komorový systém je ještě přiměřené šíře. Zahájena terapie L-DOPOU. Pacient udává, že poslední 2 roky je celkově zpomalený, při chůzi je nakloněn a šoupe nohama. Udává také mírný třes rukou. Terapie – Isicom 250mg 1-1-1 tbl. denně, poté do 14 dnů navýšení až na 2,5-2,5-2,5.

Po kontrole po 5 týdnech udává pacient pozitivní efekt na výše zmíněné potíže (šoupavá chůze, zpomalenost, horší písmo). Po navýšení již necítil výrazné zlepšení. Udává také usnadnění některých pohybů. Nežádoucí účinky L-DOPY nejsou. Závěr: Parkinsonova nemoc možná, dif. Dg. Parkinsonového syndromu vaskulární nebo Parkinson+ syndromy. Po domluvě s pacientem navýšení dávky L – DOPY na 1200mg. Při nezlepšení příznaků bude deescalace léčby a vyloučení PN.

V 10/2018 pacient i jeho manželka neudávají další zlepšení pacientových příznaků. Pacient užívá L – DOPU v dávce 1200 mg za den. Pacient je bez klidového třesu, posturální nestabilitou. Po domluvě s pacientem a manželkou postupné snižování dávky L – DOPY o 50 mg každé 3 dny.

Pacient objednan na doplnění na PET/MR mozku s aplikací ¹⁸F-IASOdopa na 11/2018.

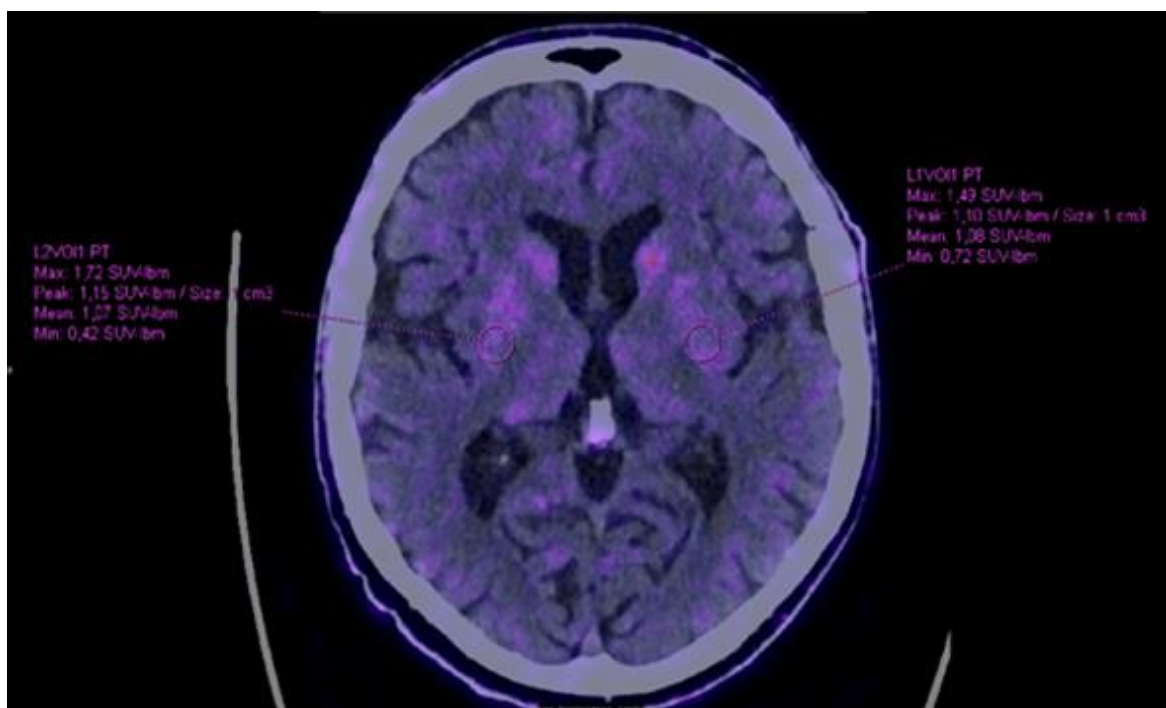
Vyšetření PET/CT s aplikací ^{18}F -IASOdopa (F-DOPA)

Pacient indikován pro doplňující vyšetření PN. PET záznam byl proveden za i.v. aplikace ^{18}F – IASOdopa (FDOPA) o aktivitě 113,1 MBq. Vyšetření bylo provedeno v rozsahu mozku. Vzhledem k nemožnosti provedení MR z důvodu páteřní deformity provedeno PET/CT.

Nález: Výrazně snížená akumulace F-DOPA v obou Ncc. Lentiformes, lehké snížení v oblasti Nc. Caudati oboustranně. SOP vpravo 1,6, vlevo 1,86, čili oboustranně výrazně sníženo.

Závěr: Nález odpovídá výraznému narušení dopaminergního systému, kdy obraz podporuje především MSA-P typ, tedy typ striatonigrální degenerace.

Obrázek 5 – Pacient č.4 s nálezem výrazného narušení dopaminergního systému



Zdroj: WinMedicalc FN Plzeň

DISKUZE

Výzkumná část bakalářské práce vychází z podkladů získaných sběrem dat ve FN Plzeň, která se skládala ze statistického zpracování vyšetření 629 pacientů do jednotlivých vyšetření a 4 kazuistik zaměřených na stav pacienta, který podstupuje vyšetření zobrazovacími metodami nukleární medicíny a kterému byla prokázána Parkinsonova choroba. Cílem bylo zjistit, kolik a jaká vyšetření CNS na oddělení NM se za zkoumané období ve FN Plzeň prováděla, jak se jednotlivá vyšetření vyvíjela v čase, kolik vyšetření bylo za sledované období provedeno, zdali muži podstupují více vyšetření zobrazovacími metodami nádorovým onemocněním mozku více než ženy.

Prvním výzkumným cílem, se kterým souvisí i první výzkumná otázka, bylo zjistit četnost vyšetření, která se provedla ve sledovaném období. Za toto období se provedlo celkem 629 vyšetření. Nejčastěji prováděným vyšetřením bylo zobrazení dopaminergního systému pomocí radiofarmaka ^{18}F -L-DOPA, 295 vyšetření pomocí zobrazovací metody PET/CT a 119 pomocí metody PET/MR, dohromady 414 vyšetření. Dalším prováděným vyšetřením bylo zobrazení mozkových tumorů pomocí ^{18}F -FLT, které tvořilo u zobrazovací metody PET/CT 104 vyšetření a u PET/MR 60 vyšetření, celkem tedy 164 vyšetření. U vyšetření PET/CT mozku s RF ^{18}F -FDG bylo provedeno celkem 25 vyšetření. V neposlední řadě byla provedena i vyšetření perfuze mozku zobrazovací metodou SPECT/CT, a to s RF $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO s 24 vyšetřeními a $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -ECD s 2 vyšetřeními.

Druhým výzkumným cílem bylo statistické zpracování časového vývoje těchto jednotlivých vyšetření jednotlivými zobrazovacími metodami a určit, zdali počet pacientů stoupá. Je nutno podotknout, že kvůli pandemii SARS-COVID-19 se v roce 2019 žádná vyšetření CNS metodami nukleární medicíny prakticky neuskutečňovala. U zobrazení perfuze mozku radiofarmakem $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -bicisát zobrazovací metody SPECT/CT je z grafu č.5 vidět, že byla prováděna v letech 2015 a 2016 vždy 1x. Od roku 2017 se vyšetření pomocí tohoto RF neprovádí. Klesající trend perfuze mozku zobrazovací metody SPECT/CT RF $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -HMPAO je vidět z grafu č.6. Do roku 2018 byla vyšetření prováděna v řádu nižších jednotek a od roku 2019 je prováděna takřka okrajově. Podobný trend je i PET/CT vyšetření mozku, kde je z grafu č. 7 evidentní prudký pokles od roku 2014 ze 13 vyšetření ročně na 5 vyšetření ročně v roce 2016, který se nadále snižoval až do roku 2019, kdy neproběhlo žádné vyšetření. V současné době se vyšetření pomocí zobrazovací metody PET/CT neprovádí. Taktéž klesající trend je evidentní u detekce mozkových tumorů pomocí zobrazovací metody

PET/CT RF ¹⁸F-FLT, kdy se vyšetření od roku 2019 provádí takřka okrajově a od té doby bylo provedeno pouze 1 vyšetření v roce 2021. Podobně je to i u stejného vyšetření zobrazovací metodou PET/MR. U vyšetření dopaminergního systému RF ¹⁸F-DOPA zobrazovací metodou PET/CT je také vidět pokles uskutečněných vyšetření. V roce 2023 bylo provedeno pouze 1 vyšetření. U zobrazovací metody PET/MR stejného radiofarmaka je od roku 2020 počet vyšetření každoročně přibližně stejný. Ze získaných statistických dat lze zjistit, že vyšetření CNS metodami nukleární medicíny již nemá takový význam, jako dřív. Důvodem by mohly být jiné zobrazovací metody s absencí radiační zátěže.

Odpovědí na druhou výzkumnou otázku, zdali stoupá počet pacientů indikovaných k vyšetření CNS na pracovišti nukleární medicíny FN Plzeň je, že nestoupá, naopak klesá.

Třetím výzkumným cílem bylo určit, v jaké fázi onemocnění se nacházejí pacienti, kteří jsou vyšetřováni na NM FN Plzeň. Vše je blíže popsáno ve 4 kazuistikách, z nichž 1 byla provedena na zobrazovací metodě PET/MR a zbylé 3 pomocí PET/CT.

První kazuistika se zabývá mužem narozeným v roce 1946, který byl přivezen na neurologickou ambulanci pro zhoršení stavu. Pacient byl v minulosti vyšetřen na CT mozku nativně i postkontrastně s diagnózou frontální atrofie mozku. Pacientovi byl předepsána L-DOPA, ovšem z důvodu nauzey ji pacient neužíval dle předpisu. Po změně léku pacient nauzeu neudává. Pacient podstoupil vyšetření PET/MR s aplikací RF ¹⁸F-IASODOPA, kdy nález udává lehkou stranovou asymetrii radiofarmaka s diagnózou PN.

Druhá kazuistika se zabývá ženou narozenou v roce 1950 přijatou na neurologickou ambulanci. V minulosti byla již v péči spádového neurologa. Pacientka podstoupila CT mozku ve FN Plzeň, ovšem bez nálezu. Poté pacientka udává zhoršení písma a třes PDK, na které jí byla nasazena v titraci L-DOPA. Na kontrole v neurologické ambulanci bylo zjištěno, že pacientka brala lék zcela špatně. Pacientka poté podstoupila vyšetření PET/CT s nejasnou diagnózou supranukleární obrny. PN byla poté potvrzena až na vyšetření mozku magnetickou resonancí.

Třetí kazuistika se zabývá ženou narozenou v roce 1952. U pacientky je od roku 2012 podezření na PN. Udává, že nemoc začala třesem PHK, poté i LHK. Užívala L-DOPU, u které jí byla později navýšena dávka. Po zvýšení dávky pacientka udává snížení třesu. Pacientka indikována k vyšetření PET/CT pro potvrzení diagnózy PN a podezření na MSA-

P s nálezem snížení akumulace RF oboustranně v Putamen více vlevo a atrofií mozku. Závěrem byla potvrzena PN a vyvrácení MSA-P.

Poslední kazuistika se zabývá mužem narozeným v roce 1946. Na neurologickou ambulanci poslán svým neurologem. Pacient podstoupil CT mozku s nálezem širší III. mozkové komory. Komorový systém byl jinak přiměřené šíře. Pacient udává, že je celkově zpomalený a šoupe nohama. Byla mu v titraci nasezena L-DOPA, pacient neudává zlepšení. Pacient objednan na doplňující vyšetření pro indikaci PN, kde byla pacientovi diagnostikována multisystémová atrofie.

Z výše zmíněných informací lze zjistit, že odpověď na výzkumnou otázku č. 3, tedy pacienti s diagnostikovanou Parkinsonovou nemocí jsou již v pokročilé fázi nemoci, onemocnění nelze zjistit před nástupem fyzických příznaků nemoci. Pacienti nejčastěji udávají třes končetin, zhoršení písma a zpomalení pohybů. Po nasazení L-DOPY udává většina pacientů zlepšení.

Poslední výzkumná otázka zkoumá prevalenci jednoho pohlaví u vyšetření CNS. Z tabulky č. 3 je zřejmé, že muži jsou indikováni více k vyšetření mozkových nádorů vyšetřením PET/CT a PET/MR pomocí ^{18}F -FLT, a to až 2x častěji než ženy. U zbytku prováděných vyšetření jsou muži a ženy v podobných číslech.

ZÁVĚR

Cílem této bakalářské práce bylo poukázat, že vyšetření CNS v nukleární medicíně stále patří svou nezastupitelností k významným zobrazovacím metodám. Většina vyšetření CNS byla provedena ve FN Plzeň hybridní zobrazovací metodou PET/CT a PET/MR. Vyšetřování patologií dříve vyšetřovaných na NM je v současné době nahrazena magnetickou rezonancí, díky které bez radiační zátěže je možné určitými sekvencemi zobrazit např. komorový systém, detekovat epileptické ložisko a další. I přes tyto změny jsou některá vyšetření jinými zobrazovacími metodami nezastupitelná, především Parkinsonovy choroby a funkčního zobrazení neuroendokrinních nádorů, popř. efektivnost chemoterapie na léčbu mozkových nádorů. Kazuistiky také tvořily nezbytnou součást bakalářské práce. Ze zkoumaného souboru 4 vybraných pacientů je evidentní, že pacienti podstupující vyšetření zobrazovací metodou PET/CT nebo PET/MR s aplikací ^{18}F -L-DOPA jsou již v pokročilé fázi nemoci, již užívají L-DOPU a léčba se kromě jednoho případu jeví pozitivním účinkem. Zatím tedy není způsob, jak předejít Parkinsonově chorobě.

Vzhledem k vybranému tématu, na které byla tato práce napsána, není k dispozici příliš zdrojů zabývajících se tímto konkrétním tématem. Práce proto byla vytvořena především prostřednictvím učebnic nukleární medicíny a informace v nich byly porovnávány s relevantními moderními zahraničními zdroji pro zachycení aktuálnosti problematiky.

SEZNAM LITERATURY

1. **Frank, Eugene D. , Bruce W. Long, Barbara J. Smith.** *Merrill's atlas of radiographic positioning & procedures.* St. Louis, Missouri : MOSBY ELSEVIER, 2007. ISBN 978-0-323-04212-3.
2. **Ministerstvo zdravotnictví ČR a Ústav zdravotnických informací a statistiky ČR.** *Centrální nervový systém (CNS): mozek a mícha.* Praha : Národní zdravotnický informační portál, 2023. 2695-0340.
3. **Malán, Alexander.** *Vybrané kapitoly z nukleární medicíny.* Plzeň : KC Solid spol. s.r.o., 2013.
4. **Seidl, Zdeněk, Andrea Burgetová, Eva Hoffmannová, Martin Mašek, Manuela Vaněčková, Tomáš Viták.** *Radiologie pro studium i praxi.* Havlíčkův Brod : Grada Publishing a.s., 2022. 978-80-247-4108-6.
5. **Ferda Jiří, Mírka Hynek, Baxa Jan, Malán Alexander.** *Základy zobrazovacích metod.* Praha : Galén, 2015. 978-80-7492-164-3.
6. **Malíková Hana a kolektiv.** *Základy radiologie a zobrazovacích metod.* Praha : Univerzita Karlova, 2019. 978-80-246-4036-5.
7. **Seidl, Zdeněk.** *Neurologie pro studium i praxi.* Praha : Grada publishing a.s., 2015. 978-80-247-5247-1.
8. **gesundheit.gy.at. nzip.cz.** *Parkinsonova nemoc: příznaky.* [Online] Národní zdravotnický informační portál, 2023. [Citace: 20. 12 2023.] <https://www.nzip.cz/clanek/1126-parkinsonova-nemoc-priznaky>. 2695-0340.
9. **KUPKA, Karel, Jozef KUBINYI, Martin ŠÁMAL a kol.** *Nukleární medicína.* Praha : P3K, 2007. 978-80-903584-9-2.
10. **Urbánek, Jan.** *nukleární medicína.* Praha : Gentiana Jilemnice, 2002. 80-56527-05-0.
11. **Koranda, Pavel a kolektiv.** *Nukleární medicína.* Olomouc : Skriptárna Vydavatelství Univerzity Palackého v Olomouci, 2014. 978-80-244-4031-6.

12. **Kubinyj, Josef Sabol Jozef, Vondrák Andrej.** *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami.* Praha : Grada publishing a.s., 2018. 978-80-271-0168-9.
13. **Český lékopis.** Český lékopis. 6.2.3 *Radiofarmaceutické přípravky.* [Online] 2003. [Citace: 4. 1 2024.] http://www.lekopis.cz/kap_6_2_3.htm.
14. **Ullmann, Vojtěch.** NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA. *astronuklfyzika.cz.* [Online] [Citace: 18. 1 2024.] <https://astronuklfyzika.cz/strana2.htm>.
15. **Beneš, Jiří Daniel Jirák, František Vitek.** *Základy lékařské fyziky.* Praha : Karolinum, 2022. 978-80-246-5398-3.
16. **Votrubová, Jana et al.** *Klinické PET a PET/CT.* Praha : Galén, 2009. 978-80-7262-619-9.
17. © **Nemocnice Na Homolce.** *CT - výpočetní tomografie.* Praha : © Nemocnice Na Homolce, 2024.
18. **National Institute of Biomedical Imaging and Bioengineering (NIBIB).** Magnetic resonance imaging. *Magnetic resonance imaging.* [Online] 2024. [Citace: 10. 1 2024.] <https://www.nibib.nih.gov/science-education/science-topics/magnetic-resonance-imaging-mri>.
19. **Ferda, Jiří Eva Ferdová, Jan Baxa.** Česká radiologie. *HYBRIDNÍ ZOBRAZENÍ PET/MR.* [Online] galen, 2017. [Citace: 11. 1 2024.] http://www.cesradiol.cz/dwnld/CesRad_1704_353_362.pdf.
20. **Koranda, Pavel et al.** *Atlas scintigrafie mozku.* Praha : Lacomed s.r.o., 2008. 978-80-239-9778-1.

SEZNAM PŘÍLOH

Příloha 1 - Povolení sběru ve FN Plzeň.....	74
---------------------------------------------	----

Příloha 1 - Povolení sběru ve FN Plzeň



Vážený pan

Matěj Bulant

Student oboru Radiologická asistence

Fakulta zdravotnických studií, Katedra záchranářství, diagnostických oborů a veřejného zdravotnictví
Západočeská univerzita v Plzni

Povolení sběru informací ve FN Plzeň

Na základě Vaší žádosti Vám jménem Útvaru náměstkyně pro vnější vztahy a spolupráci s lékařskou fakultou FN Plzeň **uděluji souhlas** se sběrem a statistickým zpracováním anonymizovaných informací o používaných zobrazovacích / léčebných metodách na *Klinice zobrazovacích metod (KZM) FN Plzeň*, v souvislosti s vypracováním Vaší bakalářské práce s názvem „*Vyšetření CNS na nukleární medicíně*“.

Podmínky, za kterých Vám bude umožněna realizace Vašeho šetření ve FN Plzeň:

- Vrchní radiologický asistent KZM souhlasí s Vaším postupem.
- Vaše šetření osobně povedete.
- Vaše šetření nenaruší chod pracoviště ve smyslu provozního zajištění dle platných směrnic FN Plzeň, ochrany dat pacientů a dodržování Hygienického plánu FN Plzeň. Vaše šetření bude provedeno za dodržení všech legislativních norem, zejména s ohledem na platnost zákona č. 372/2011 Sb., o zdravotních službách a podmínkách jejich poskytování, v platném znění.
- **Sběr informací** pro Vaši bakalářskou práci budete provádět v době Vaší, školou schválené, odborné praxe na KZM, **pod přímým vedením pana Malána Alexandra, MUDr., vedoucího lékaře KZM FN Plzeň.**
- Jakékoliv údaje ze zdravotnické dokumentace pacientů, včetně obrazových, které budou uvedeny ve Vaší práci, musí být zcela anonymizovány.
- Po zpracování Vámi zjištěných údajů poskytnete Zdravotnickému oddělení / klinice či Organizačnímu celku FN Plzeň závěry Vašeho šetření, pokud o ně projeví oprávněný pracovník ZOK / OC zájem a budete se aktivně podílet na případné prezentaci výsledků Vašeho šetření na vzdělávacích akcích pořádaných FN Plzeň.

Toto povolení nezakládá povinnost zdravotnických pracovníků s Vámi spolupracovat, pokud by spolupráce s Vámi narušovala plnění pracovních povinností zaměstnanců, jejich soukromí či pokud by spolupráce s Vámi zaměstnanci pocítovali jako újmu. Účast zdravotnických pracovníků na Vašem šetření je dobrovolná.

Přeji Vám hodně úspěchů při studiu.

Mgr. Bc. Světluše Chabrová

Manažerka pro vzdělávání nelékařů

Útvar náměstkyně pro vnější vztahy a spolupráci s LF

Fakultní nemocnice Plzeň

Edvarda Beneše 1128/13, 301 00 Plzeň

Tel: 377 401 663

E-mail: chabrovas@fnplzen.cz

7. 11. 2023