

ZÁPADOČESKÁ UNIVERZITA V PLZNI  
FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ

# **BAKALÁŘSKÁ PRÁCE**

**2023**

**Lenka Martynková**

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH STUDIÍ  
Studijní program: Specializace ve zdravotnictví (B5345)

**Lenka Martynková**

Studijní obor: Radiologický asistent (5345R010)

**ZOBRAZENÍ TUMORÓZNÍCH PROCESŮ NA NUKLEÁRNÍ  
MEDICÍNĚ**  
**Bakalářská práce**

Vedoucí práce: Mgr. Bc. Alena Sovová

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 28. 1. 2022.

.....

vlastnoruční podpis

## **Abstrakt**

Příjmení a jméno: Martynková Lenka

Katedra: Katedra záchranářství, diagnostických oborů a veřejného zdravotnictví

Název práce: Zobrazení tumorózních procesů na nukleární medicíně

Vedoucí práce: Mgr. Bc. Alena Sovová

Počet stran – číslované: 58

Počet stran – nečíslované: 19

Počet příloh: 2

Počet titulů použité literatury: 18

Klíčová slova: zobrazovací metody, nádory, SPECT, PET/CT, PET/MRI

### **Souhrn:**

Tato bakalářská práce se zabývá tématem Zobrazení tumorózních procesů na oddělení nukleární medicíny a je rozdělena na část teoretickou a praktickou. V teoretické části je obsažen popis nukleární medicíny a její přístrojové techniky. Dále jsou zmíněna radiofarmaka, stručný popis nádorů a poslední nejrozsáhlejší kapitola se věnuje metodám používaných na oddělení nukleární medicíny. Praktická část je složena kombinací kvantitativního a kvalitativního výzkumu ve formě statistiky a kazuistik.

## **Abstract**

Surname and name: Martynková Lenka

Department: Department of Rescue, Diagnostics and Public Health

Title of thesis: Imaging methods used in nuclear medicine for viewing oncological diseases

Consultant: Mgr. Bc. Alena Sovová

Number of pages – numbered: 58

Number of pages – unnumbered: 19

Number of appendices: 2

Number of literature items used: 18

Keywords: imaging methods, tumors, SPECT, PET/CT, PET/MRI

Summary: This bachelor thesis is focused on Imaging methods used in nuclear medicine for viewing oncological diseases and is divided into two parts. The theoretical part includes description of nuclear medicine and its viewing devices. Moreover this part consists of radiopharmaceuticals, introduction to tumors and the last and longest chapter is dedicated to viewing methods used in nuclear medicine. The practical part of the thesis consists of a combination composed by quantitative and qualitative research in the form of statistics and case studies.

## **Předmluva**

Téma Zobrazení tumorózních procesů na nukleární medicíně jsme si vybrali především pro unikátní způsob zobrazování. O těchto metodách jsme neslyšely do nástupu na tento obor. Na způsobu zobrazení nás zaujal na první pohled komplexní proces akumulace farmak v těle pacienta. Princip zobrazení nám přišel zajímavý díky svému neobvyklému postupu podávání radioaktivních látek k zobrazení různých nemocí. Metody nás také překvapily širokým využitím, a jejich neustálým rozvojem. Poutavá metoda nás zároveň inspirovala k hledání dalších pracovišť na odborné stáži, kde jsme mohli pozorovat jejich speciální postupy pro vyšetření.

## **Poděkování**

Děkuji Mgr. Bc. Aleně Sovové za odborné vedení práce, poskytování rad a materiálních podkladů. Dále děkuji MUDr. Alexandru Malánovi za jeho ochotu a trpělivost při pomoci se sběrem dat.

# OBSAH

SEZNAM OBRÁZKŮ .....	11
SEZNAM GRAFŮ .....	12
SEZNAM TABULEK .....	13
SEZNAM ZKRATEK .....	14
ÚVOD.....	15
TEORETICKÁ ČÁST .....	16
1 NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA .....	16
1.1 Úvod k nukleární medicíně.....	16
1.2 Zobrazovací metody nukleární medicíny .....	16
1.2.1 Gamakamera.....	17
1.2.2 Scintigrafie .....	18
1.2.3 SPECT .....	18
1.2.4 PET .....	19
1.2.5 Hybridní metody.....	19
2 RADIOFARMAKA.....	20
2.1 Požadavky na radiofarmaka a jejich kontrola.....	20
2.2 Lékové formy a uchování radiofarmak.....	21
2.3 Zdroje radionuklidů a příprava radiofarmak.....	21
2.4 Ochrana pacienta a personálu před zářením .....	22
2.4.1 Ochrana pacienta .....	22
2.4.2 Ochrana personálu .....	23
3 NÁDORY .....	25
3.1 Prevence.....	25
3.2 Diagnostika nádorů .....	25
3.2.1 Rentgenové diagnostické metody.....	25
3.2.2 Nerentgenové metody.....	26
3.2.3 Nádorové markery .....	26
3.2.4 Endoskopická vyšetření.....	27
3.3 Typizace nádoru (type) .....	27
3.4 Stupně diferenciacce (grade) .....	27
3.5 Rozsah nádoru (staging) .....	27
4 DIAGNOSTIKA NÁDORŮ NA NUKLEÁRNÍ MEDICÍNĚ POMOCÍ RADIOFARMAK .....	29
4.1 Diagnostika s $^{18}\text{F}$ fluorem.....	29
4.1.1 $^{18}\text{F}$ – FDG (fludeoxyglukoza).....	29
4.1.2 $^{18}\text{F}$ – NaF (fluorid sodný) .....	29



4.1.3	$^{18}\text{F}$ – fluorocholin .....	30
4.1.4	$^{18}\text{F}$ -L-DOPA .....	30
4.1.5	$^{18}\text{F}$ -FLT.....	30
4.2	Diagnostika s $^{99\text{m}}\text{Tc}$ .....	30
4.2.1	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ – difosfonáty .....	30
4.2.2	CEA-sken .....	31
4.2.3	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ – MIBI .....	31
4.2.4	$^{99\text{m}}\text{Tc}$ – pentavalentní DMSA .....	32
4.2.5	Další možná radiofarmaka.....	32
4.3	$^{123}\text{I}$ – MIBG a $^{131}\text{I}$ – MIBG .....	32
4.4	Diagnostika s Indiem .....	33
4.4.1	Octreoscan – $^{111}\text{In}$ -pentetretotid .....	33
4.4.2	ProstaScint.....	33
4.4.3	OncoScint .....	34
4.5	Diagnostika s $^{201}\text{Tl}$ -chloridem .....	34
4.6	Diagnostika s Galiem.....	35
4.6.1	$^{67}\text{Ga}$ – citrát.....	35
4.6.2	$^{68}\text{Ga}$ – PSMA .....	35
4.6.3	$^{68}\text{Ga}$ – DOTATOC.....	35
4.6.4	SomaKit.....	36
4.7	Lymfoscintigrafie.....	36
	PRAKTICKÁ ČÁST .....	38
5	CÍL A ÚKOLY PRÁCE .....	38
5.1	Hlavní cíl.....	38
5.2	Dílčí cíle.....	38
6	VÝZKUMNÉ OTÁZKY A PŘEDPOKLADY .....	39
6.1	Výzkumné otázky .....	39
6.2	Předpoklady .....	39
7	METODIKA PRÁCE .....	40
8	STATISTIKA .....	41
8.1	SPECT v letech 2018–2022 .....	41
8.2	PET/CT v letech 2018–2022.....	42
8.3	PET/MRI v letech 2018–2022 .....	43
8.4	Vývoj metod v letech 2018-2022.....	44
8.5	Nádory zobrazované metodou SPECT .....	45
8.6	Nádory zobrazované metodou PET/CT .....	47
8.7	Nádory zobrazované metodou PET/MRI .....	49

8.8	Metody vyšetření jednotlivých nádorů .....	51
9	KAZUISTIKY .....	52
9.1	Kazuistika 1 .....	52
9.2	Kazuistika 2 .....	57
9.3	Kazuistika 3 .....	62
	DISKUZE .....	68
	ZÁVĚR.....	72
	SEZNAM LITERATURY .....	73
	SEZNAM PŘÍLOH .....	75
	PŘÍLOHY .....	76

## SEZNAM OBRÁZKŮ

Obrázek 1: 17.9. 2014 pacientka č. 1 - PET/CT vyšetření s FDG .....	53
Obrázek 2: 15.9. 2015 pacientka č. 1 - PET/MR s FDG .....	54
Obrázek 3: 14.9. 2016 pacientka č. 1 - PET/MR s FDG .....	55
Obrázek 3: 30.4. 2018 pacientka č.1 - PET/MR s FDG .....	55
Obrázek 4: 14.8. 2017 pacient 2 - PET/CT vyšetření.....	57
Obrázek 5: 23.5.2018 pacient 2 - PET/CT vyšetření.....	59
Obrázek 6: 10.6.2020 pacient 2 - PET/CT vyšetření.....	60
Obrázek 7: 28.6.2018 pacient 3 - SPECT vyšetření.....	63
Obrázek 8: 8.1.2018 pacient 3 - SPECT vyšetření.....	64
Obrázek 9: 23.1. 2020 pacient 3 - PET/CT vyšetření.....	66

## SEZNAM GRAFŮ

Graf 1: SPECT 2018-2022 .....	41
Graf 2: PET/CT 2018-2022 .....	42
Graf 3: PET/MRI 2018-2022.....	43
Graf 4: Vývoj metod v letech 2018-2022 .....	44
Graf 5: SPECT – počet vyšetřených karcinomů.....	46
Graf 6: PET/CT – nejčastější nádory .....	48
Graf 7: PET/MRI – nejčastější nádory .....	50
Graf 8: Metody vyšetření jednotlivých karcinomů .....	51

## **SEZNAM TABULEK**

Tabulka 1: Rozsah nádoru .....	28
Tabulka 2: Vývoj metod 2018-2022.....	44
Tabulka 3: Nádory zobrazovány metodou SPECT.....	45
Tabulka 4: Nádory zobrazovány metodou PET/CT .....	47
Tabulka 5: Nádory zobrazovány metodou PET/MRI.....	49

## **SEZNAM ZKRATEK**

i.v. – intravenózní

i.d. – intradermální

RTG – rentgen

CT – výpočetní tomografie

MRI – magnetická rezonance

FDG – fludeoxyglukoza

NaF – fluorid sodný

MIBG – Metaiodbenzylguanidinum

SRS – Zobrazování somatotinových a jiných receptorů

MIBI – methoxyisobutylisonitril

SLU – sentinelové lymfatické uzliny

## ÚVOD

Nádorová onemocnění se tvoří v těle pacienta mnohdy nečekaně a představují jedno z nejčastějších příčin smrti. Včasná diagnostika je nezbytná pro vhodnou a správnou léčbu. Velké množství typů nádorů vyžaduje různé způsoby zobrazení a různé léčebné postupy. Konvenční zobrazovací metody jako RTG nebo sonografické vyšetření jsou v mnoha počátečních stádiích rozvíjejícího nádoru nedostatečně senzitivní a onemocnění nezachycené v brzkém stádiu může pro pacienta znamenat velmi nepříznivou budoucnost. Zobrazovací metody nukleární medicíny s použitím radiofarmak umožňují velmi senzitivní zobrazení nádorových ložisek v těle pacienta. Metody jsou bezpečné i přesto, že používají látky značenými radioaktivními zářiči, které by potencionálně mohly pro pacienta představovat újmu na zdraví. Se správnými postupy je zaručená bezpečnost vyšetření. V bakalářské práci se věnujeme právě těmto metodám.

Cílem teoretické části bylo seznámit čtenáře s metodami, které jsou na nukleární medicíně používány pro zobrazení nádorových onemocnění. Teoretická část je rozdělena do 4 kapitol, kde se věnujeme tématům podrobněji. V první kapitole popisujeme základní zobrazovací metody a stroje s jejich individuálním principem zobrazování. V druhé kapitole se věnujeme radiofarmakům, která jsou nedílnou součástí každého vyšetření na oddělení nukleární medicíny. V další kapitole se zabýváme základním popisem nádorových onemocnění a jejich prevencí. Poslední a nejrozsáhlejší kapitola je určená pro specifické metody používající radiofarmaka a jejich principem šíření v těle pacienta.

Praktickou část bakalářské práce jsme zpracovali jako kombinaci kvantitativního a kvalitativního výzkumu ve formě statistiky a kazuistik. Cílem práce je popsat trendy zobrazovacích metod na nukleární medicíně a jaká nádorová onemocnění byla takto zobrazena nejčastěji. Pro výzkum jsme zvolili pracoviště nukleární medicíny ve FN Plzeň.

# TEORETICKÁ ČÁST

## 1 NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA

### 1.1 Úvod k nukleární medicíně

Nukleární medicína je interdisciplinární obor, ve kterém se prolínají obory fyzika, matematika, elektronika, radiologie, radiobiologie a medicína. Zabývá se diagnostikou a léčbou pomocí otevřených radioaktivních zářičů ve formě radiofarmak, která jsou aplikována pacientům. (1) (2)

Použití radiofarmak je minimálně invazivní a pomocí přístrojů lze sledovat jejich průběh v těle pacienta. Tyto metody využívají indikátorový princip. Jeho podstatou je shodné chování stabilních a radioaktivních nuklidů – jejich atomy mají stejné složené elektronové obaly, a proto se stejně chovají. Pokud jednu látku označíme malým množstvím radioaktivní látky, můžeme ji pak pomocí přístrojové techniky detekovat jako ionizující záření, které chemická sloučenina emituje. Sledujeme metabolismus orgánů a průběh látky v nich a pomocí tohoto principu určujeme jejich stav a aktivitu – jestli je normální, zvýšená, snížená nebo jinak postižená. (1)

Mezi výhody nukleární medicíny patří minimální invazivnost, kterou je myšleno podávání radiofarmaka intravenózně (i.v.) a intradermálně (i.d.). Radiofarmaka také nezpůsobují příliš vysokou radiační zátěž a z toho důvodu lze různá vyšetření provádět opakovaně, aby se lépe posoudil stav pacienta. Metody nukleární medicíny jsou velmi citlivé a současná technika dobře zobrazuje změny metabolické aktivity, které lze detekovat rychleji než morfologické změny s konvenčními zobrazovacími metodami. Nevýhodou může být nespecifita, kdy není jasný nález. Dále se farmaka šíří jen v živé tkáni a ostatní mrtvé tkáně tedy nelze touto metodou zobrazit. (2)

### 1.2 Zobrazovací metody nukleární medicíny

Zobrazovací metody nukleární medicíny lze rozdělit z geometrického hlediska a z časového pohledu. Z geometrického hlediska je lze rozdělit na planární, kde se vyšetřovaný orgán zobrazuje z jedné projekce, nebo tomografické, které vytváří obraz rekonstrukcí vrstev z mnoha projekcí. Z časového hlediska se dělí na statické metody, u kterých se zobrazuje rozložení radiofarmaka v jednom časovém intervalu, a dynamické



metody, pomocí kterých se látka zobrazuje ve více časových intervalech. Mezi tyto metody patří planární scintigrafie, tomografické zobrazování SPECT a PET, dynamická vyšetření a hybridní vyšetření SPECT/CT, PET/CT a PET/MR. (1) (2)

Pro různé vyšetřovací metody se používají různé zobrazovací přístroje, jako je gamakamera (pro scintigrafii a SPECT), pozitronový tomograf (pro PET) a hybridní tomograf, který spojuje část přístroje nukleární medicíny (jako SPECT a PET) s morfologickou zobrazovací metodou (CT a MRI). (1)

### 1.2.1 Gamakamera

Gamakamera je základní přístroj používaný v nukleární medicíně. Jeho užití se uplatňuje u scintigrafického vyšetření a pro SPECT, pokud je přístroj opatřen otočnou gantry. Gamakamera vytváří pomocí svého detekčního systému planární obraz. Je složena z kolimátoru, scintilačního krystalu, fotonásobiče a zpracující elektroniky. (1)

Hlavní rolí kolimátoru je striktní propouštění pouze fotonů, které dopadají kolmo na detektor, aby se nevytvořil rozmazaný obraz. Jedná se o desku z oloveného materiálu, která dle potřeby obsahuje velké množství malých otvorů. Kolimátory se dělí dle energie fotonu použitého radionuklidu a podle poměru mezi polohovou rozlišovací schopností (určuje nejmenší detaily v obraze). Nejpoužívanější kolimátor je typ s vysokým polohovým rozlišením pro nízké energie. (1) (3)

Scintilační krystal přeměňuje fotony gama na fotony viditelného nebo blízkého ultrafialového světla. Vyrábí se z jodidu sodného aktivovaného thaliem (NaI(Tl)), který je zpracován do průhledné desky o tloušťce přibližně 1 cm. Deska je náchylná na vliv světla a vlhkosti, a proto je ukryta v detektoru, kde se zároveň zabrání i mechanickému poškození. Teplota rovněž nesmí být zanedbána, protože její výkyvy mohou způsobit narušení optického kontaktu desky nebo způsobí její prasknutí. (1)

Fotonásobiče přiléhají na scintilační krystal po jeho celém povrchu spolu se elektronickými součástkami, které převádějí scintilační světlo na dále zesílený elektrický signál. Ve fotonásobiči je obsažena fotokatoda, se kterou reaguje světlo ze scintilačního krystalu a vznikne fotoelektron. Ten dále dopadá na soustavy dynod, které sekundárně emitují další elektrony. Obdobně jako scintilační krystal jsou fotonásobiče citlivé na okolní teplotu, a proto je potřeba udržovat vhodnou teplotu ve vyšetřovně. Jejich poškození je jedním z nejčastějších příčin poškození obrazu. (1)

### 1.2.2 Scintigrafie

Scintigrafie je metoda získání obrazu, který znázorňuje distribuci radiofarmaka pomocí scintilační kamery. Provádí se jako scintigrafie planární (statická nebo dynamická) a jako tomografie SPECT nebo PET (1).

Během statické scintigrafie leží pacient na lůžku nebo sedí na sedačce a kamerou je snímána aktivita radiofarmaka v jeho těle po dobu několika minut. Po dokončení vyšetření se vytvoří planární obraz podobný skiagrafickému vyšetření, ale místo informací o anatomické struktuře popisuje funkční informace zobrazované tkáně. Může se provádět pro určitou část těla, nebo jako celotělové vyšetření. Celotělové vyšetření je vhodné pro zobrazování celého skeletu a například umožňuje dobré zobrazení kostních metastáz. V tomto případě přejíždí detektor přes celého pacienta (většinou SPECT kamera). Je možno použít dvouhlavou kameru a zkrátit jak dobu potřebnou pro celé vyšetření, tak i riziko pohybových artefaktů během vyšetření. Dynamická scintigrafie zobrazuje určitý děj, kde se pořídí sada krátkých planárních snímků a ty zobrazují rozložení farmaka v čase. Systém pak vytvoří křivku hodnot farmaka ve vybrané oblasti. Příklad dynamického vyšetření je dynamické vyšetření ledvin. (1)

Výhoda detektorů, které jsou schopné měřit energii dopadlého fotonu, nastává v případě použití dvou radiofarmak najednou. Pokud jsou farmaka různé energie, je možno farmaka snímat současně. Jedním z takových případů je ventilačně-perfuzní vyšetření plic, kde se aplikuje farmakum  $^{99m}\text{Tc}$  (140 keV) a vdechuje  $^{81m}\text{Kr}$  (191 keV). (1)

### 1.2.3 SPECT

Jednofotonová emisní výpočetní tomografie je jedna ze dvou tomografických metod používaných na nukleární medicíně. Principem je používání radionuklidů, které emitují jeden foton za přeměnu (např.  $^{99m}\text{Tc}$ ). SPECT snímá určité množství planárních projekcí z různých úhlů a následně dojde k jejich rekonstrukci do 3D obrazu, podobně jako CT. Výsledný obraz má vysoký kontrast zobrazených lézí bez překrývání řezů a rušení záření ze tkáňového pozadí. Přístroj se skládá ze dvouhlavé kamery, lůžka a otočných detektorů, kde konstrukce kamer je obdobná s planární gamakamerou. Konstrukce stroje umožňuje akvizici jak tomografického obrazu statického, tak dynamického a celotělového obrazu nebo čistě planárního. Planární zobrazení bude mít ale horší rozlišení z důvodu větší vzdálenosti detektoru od těla pacienta. Viz. obr. 11 v příloze. (1) (2)

Při vyšetření pacient leží na lůžku v konstantní poloze a okolo něj snímá detektor projekce po kružnici kontinuálně nebo po krocích. Čím větší detektor je použit, tím větší pole bude zobrazeno a v případě nutnosti u rozměrnějšího pacienta je možno provést vícenásobnou akvizici po částech. Pro urychlení vyšetření a zvýšení kvality obrazu se může zvýšit množství detektorů. Celková kvalita obrazu závisí na parametrech kolimátoru, statickém šumu, rozptylu, zeslabení záření gama, prostorové rozlišovací schopnosti, energickém rozlišení a citlivosti. (1) (3)

#### **1.2.4 PET**

Pozitronová emisní tomografie PET se ve dnešní době konstruuje jako hybridní systém spojený s CT systémem, a v některých případech se systémem MRI. Kamery PET jsou nepohyblivé a nemají žádné kolimátory, snímek se tedy vytváří v celém rozsahu 360° zorného pole gantry najednou (s axiální šířkou 15-20 cm). Detektory mají větší hustotu krystalů oproti SPECTu. Přeměna protonu na neutron způsobí emisi pozitronu a neutrina. Pozitron po krátké době anihiluje s elektronem a vytvoří tak 2 kvanta záření gama o energii 511 keV. Fotony záření gama od sebe letí pod úhlem 180° a poté se detekují systémem koincidenčního snímání (2 registrace v jeden okamžik). Data se ukládají ve formě sinogramů a následně se počítačovou rekonstrukcí vytvářejí obrazy řezů. Rozlišovací schopnost je přibližně 6 mm. Nejčastější využití má PET na onkologii, kde se nejčastěji používá radiofarmakum <sup>18</sup>F-FDG. Farmakum dobře zobrazuje nádorové procesy a metastázy a umožňuje tak jejich citlivou detekci. (2) (3)

#### **1.2.5 Hybridní metody**

Obraz vytvořený pomocí předchozích metod může být v některých případech z důvodu špatně rozlišitelných struktur nedostatečný a anatomického rozložení nádorových procesů. Z tohoto důvodu je vhodné použití hybridní metody, která spojuje zmíněné metody s diagnostickou metodou CT, která pomocí fúze obrazů doplní tyto informace. Nejčastějším hybridním systémem je PET/CT, kdy PET se už téměř vždy spojuje s touto technikou, dále SPECT/CT, které se spojuje, pouze pokud je to potřeba. Výhodou této metody oproti fúzi dvou obrazů z různých zobrazovacích metod je přesnější anatomický překryv a zároveň menší zátěž pro pacienta. Hlavním důvodem pro vybrání fúze s CT je jeho přesná schopnost anatomické lokalizace nálezu, korekce na zeslabení (absorpce záření v těle způsobí slabší zobrazení hlouběji uložených tkání) a umožňuje přesnější diagnostiku nálezu. Při fúzi s PET se CT používá v téměř plnohodnotném režimu a pro SPECT se používá v low-dose režimu. Viz. obr. 12 v příloze. (1) (4)

## 2 RADIOFARMAKA

Radiofarmakum je chemický přípravek, který obsahuje jeden nebo více radionuklidů (Český lékopis, 1997). Jejich hlavní použití v nukleární medicíně spočívá v diagnostice a terapeutické aplikaci. Jejich rozdílné fyzikální a chemické vlastnosti způsobují různou farmakokinetiku a distribuci v těle pacienta. Díky schopnosti hromadit se v postižené tkáni orgánu, lze orgán dobře zobrazit. Dle jejich akumulace je rozlišujeme na pozitivní, kdy se radiofarmakum akumuluje v oblasti aktivněji oproti okolní tkáni, a negativní, kde dochází k nižší absorpci radiofarmaka oproti okolní tkáni. (4) (2)

Jejich výhoda spočívá v mnoha důvodech. Při aplikaci radiofarmaka dochází k minimální invazivnosti (v případě podání i.v.) a omezují tak riziko infekce. Vyšetření pomocí radiofarmak se může opakovat, díky jejich slabé radiační zátěži. Radiofarmaka jsou také velmi citlivá a jsou schopna zobrazovat procesy, které se v počátečním rozvoji nedají zobrazit jinými metodami. Komplikací v tomto případě je ale jejich nespecifita, kdy není přesně jasné, o jaký nález se jedná. Radiofarmaka se pohybují přenosem krví, a proto není možné zobrazení neživé tkáně. (4) (2)

### 2.1 Požadavky na radiofarmaka a jejich kontrola

Mezi hlavní požadavky patří jejich dostupnost. Jejich cena by měla být přiměřená jejich použití a požadované aktivitě. Jejich aplikace by neměla vyvolávat negativní fyziologickou, farmakologickou nebo toxickou odpověď organismu. Dalšími požadavky je sterilita a apyrogenita přípravku. (2) (4)

Je také potřebná specifická energie pro fotony při zobrazování se zářiči gama. Energie musí být dostatečně vysoká, aby bylo možno zobrazit tkáň dostatečně kvalitně, ale ne příliš vysoká kvůli kolimaci. Energie by se měla držet mezi 20 až 400 keV – optimálně 150 keV. (4)

Fyzikální poločas musí být dostatečně dlouhý po jejich přípravě. U pracovišť, která nejsou v blízkém okolí místa výroby přípravku, dochází ke komplikacím v podobě omezení dostupnosti cyklotronových radionuklidů. Fyzikální poločas by tedy měl být dlouhý, pokud možno několik hodin, ale zároveň by neměl převyšovat dobu, která je nutná k provedení vyšetření. Stále chceme předejít zbytečné aktivitě v těle pacienta po vyšetření. (4)

Aby se k pacientovi dostalo farmakum bez defektu, předepisuje se v lékopise řada zkoušek pro zajištění jeho kvality před podáním. Pro nezávadný přípravek je kontrolována radionuklidová čistota, radiochemická čistota, chemická čistota, měrná radioaktivita a objemová aktivita. Číselné hodnoty těchto vlastností vyjadřují jejich jakost. (2)

Z farmaceutického hlediska příprava i použití RF podléhá kontrole SÚKL. Z hlediska radiační bezpečnosti podléhá kontrola radiofarmaka SÚJB.

## **2.2 Lékové formy a uchování radiofarmak**

Pro jednotlivá vyšetření a použití se podávají farmaka v různých formách jako parenterální přípravky (pravé roztoky a koloidní disperze), perorální přípravky (roztoky, emulze a tuhé látky) a inhalační přípravky (plyny, aerosoly). (4)

Radiofarmaka uvolňují radioaktivní záření do okolí, tím tedy představují riziko pro zaměstnance nukleární medicíny. Z tohoto důvodu je nutná stínící vrstva mezi zdrojem a pracovníkem. Pro zdroje záření gama se používá těžký materiál jako je např. olovo ve formě cihel, skla, krytů stříkaček a zástěn. Pro odstínění záření beta je vhodný lehčí materiál jako hliník a plexisklo. (2)

Radiofarmaka jsou uchována na stíněném místě ve vzduchotěsných obalech, které vyhovují národním a mezinárodním předpisům pro uchování radioaktivních látek. Během jejich uskladnění mohou přípravky a jejich obaly vlivem ozařování ztmavnout, ale jejich kvalitu to neovlivňuje. Během uchování musí být na obalu farmaka uveden jeho název, výrobce, identifikační číslo, aktivita, množství, způsob podání, doba použitelnosti a jakékoliv zvláštní podmínky pro skladování. (3) (4)

## **2.3 Zdroje radionuklidů a příprava radiofarmak**

ÚJV Řež je největším českým výrobcem radiofarmak. Jejich tři výrobní PET centra s cyklotrony v Praze, Brně a v Řeži zásobují minimálně jedním produktem všechna pracoviště nukleární medicíny v ČR. K přípravě radiofarmak je potřeba radionuklid, který je možno získat různými způsoby jako jsou jaderné reaktory, urychlovače částic a generátorové systémy. V jaderném reaktoru se produkt získává nejdříve aktivací látky ozářením neutrony a následnou separací štěpných produktů. Touto metodou se získává např.  $^{99}\text{Mo}$  nebo  $^{131}\text{I}$ . V cyklotronu je částice urychlována elektrickým polem. Na něj je kolmo orientováno pole magnetické, které svým působením stáčí dráhu urychlované částice

kruhově po spirále s rostoucím poloměrem. Na konci dráhy narazí urychlená částice na terčik s ozařovaným nuklidem, a tím přemění neaktivní prvek na radionuklid. Cyklotronem je možno vyrobit radionuklidy jako např.  $^{18}\text{F}$ ,  $^{11}\text{C}$  nebo  $^{111}\text{I}$ . Generátorové systémy fungují na principu rozpadu mateřského radionuklidu na dceřiný a jejich rozdílné chemické vlastnosti je umožňují od sebe oddělit. Tímto systémem se vyrábí jedno z nejpoužívanějších farmak  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ . (5)

Radiofarmakum se dopraví na oddělení nukleární medicíny na specifické vyšetření, nebo je připraveno ve speciální radiofarmaceutické laboratoři určené k jejich přípravě. V této laboratoři udržované s vysokou třídou čistoty se nachází stíněný box pro uskladnění radionuklidových generátorů a připravená radiofarmaka, stíněný box s laminárním prouděním vzduchu pro sterilitu k přípravě farmak a dále lednici a jiné prostory k uskladnění neaktivních kitů pro přípravu radiofarmak. Součástí laboratoře nebo v jejím blízkém okolí se nachází tzv. „vymírací místnost“ určená k uchování zbytků nespotřebovaných radiofarmak na dobu nutnou k jejich vyloučení jako běžný odpad. (5)

## **2.4 Ochrana pacienta a personálu před zářením**

Ochrana před deterministickými a stochastickými účinky záření je princip oboru radiační ochrany. Cílem toho oboru je minimalizovat a pokud možno vyloučit rizika, která jsou spojená s prací s radioaktivními zářiči. (6)

### **2.4.1 Ochrana pacienta**

Radiační ochrana na pracovišti nukleární medicíny má právní ukotvení v atomovém zákoně č. 422/2016 Sb., který stanovuje podmínky pro zajištění radiační ochrany a nakládání se zdroji IZ. Další postupy a podrobnosti upravují související prováděcí předpisy. Atomový zákon č. 263/2016 Sb. implementuje požadavky mezinárodní legislativy, zejména EURATOM. Státní úřad pro jadernou bezpečnost SÚJB je ústředním orgánem státní správy České republiky, který vykonává státní správu při využívání jaderné energie a ionizujícího záření a v oblasti nešíření jaderných, chemických a biologických zbraní. Další organizací zabývající se ochranou před zářením je Státní ústav radiační ochrany (SÚRO). SÚRO je veřejná výzkumná instituce, jejíž hlavní činností je výzkum ochrany před ionizujícím zářením.

Naplánovaná činnost vedoucí k ozáření se může provést jen v případě dostatečného přínosu výkonu, nebo pokud pacient utrpí stejně hodnotnou škodu způsobenou nemocí.

Principem optimalizace (princip ALARA – as low as reasonably achievable) se zachová kvalitní diagnostická informace s použitím co nejnižšího možného ozáření. Jestliže je výkon zdůvodněn, musí být dávka zoptimalizována na minimální možnou hodnotu k dosažení lékařských cílů. Konečnou zodpovědnost má pracovník na nukleární medicíně za usměrnění aspektů provedení a rozsahu vyšetření včetně ochrany pacienta před nadbytečným ozářením. (6)

Dávku absorbovanou pacientem je rovněž možné ovlivnit. Při podání radiofarmaka obsahujícího  $^{99m}\text{Tc}$  nebo radionuklidu jódu se poskytnou pacientovi preparáty pro zablokování vychytávání zářiče ve štítné žláze. U radiofarmak vylučovaných ledvinami se pacient hydratuje dostatečným množstvím tekutin a zvýšená mikce sníží dávku v oblasti močového měchýře a orgánech malé pánve. V případě radiofarmak zaváděných do gastrointestinálního traktu je vhodné podání projímadel, která zrychlí pasáž a sníží tak expozici střeva ionizujícím zářením. (4)

#### **2.4.2 Ochrana personálu**

Zaměstnanci na oddělení nukleární medicíny jsou vystavováni vlivu záření po dobu mnoha let a pro jejich bezpečnost je kladeno mnoha požadavků. Na pracovišti NM mohou pracovat pouze pracovníci kategorie A. Pracovník musí být poučen prokazatelným způsobem o bezpečnosti zacházení se zdrojem ionizujícího záření minimálně jednou ročně. Pravidelně musí být rovněž ověřována zvláštní zdravotní způsobilost personálu lékařskými prohlídkami. Nasnímané hodnoty z dozimetrů jsou pravidelně kontrolovány a odečítají se od zavedených limitů. Pro radiační pracovníky je dána maximální efektivní dávka za dobu 5 po sobě kalendářních roků 100 mSv, efektivní dávka za kalendářní rok 50 mSv, ekvivalentní dávka za kalendářní rok v oční čočce 50 mSv, dávka v 1 cm<sup>2</sup> kůže 150 mSv a dávka na končetiny 150 mSv. (2)

Dalším opatřením k ochraně před ionizačním zářením je zavedení kontrolovaného a sledovaného pásma. Kontrolované pásmo slouží k zajištění prostoru určeného k manipulaci zdrojů ionizačního záření pouze osobám odborně i zdravotně způsobilým. Vymezuje prostor, kde se předpokládá, že za běžného provozu nebo předvídatelných odchylek od něj by mohlo záření překročit 3/10 základních limitů pro pracovníky. Oblast je značená a oddělená hygienickými smyčkami od neaktivních prostorů. Mezi tyto prostory spadá úsek pro přípravu radiofarmak, lůžková část nebo diagnostický úsek. Sledované

pásma vymezuje prostory s předpokladem překročení obecných limitů za normálního provozu nebo za předvídatelných odchylek od něj. (6)

Pokud zaměstnanci vstupují do pásma se zdrojem ionizujícího záření, musí být opatřeni osobním dozimetrem. Dále dodržují základní opatření určená k ochraně před vnějším zářením, a to ochranou vzdáleností od zdroje, ochranou časem jakožto nejkratší možnou dobu strávenou poblíž zdroje a ochranou stíněním. Při práci s radiofarmakem musí používat prostředky určené k prevenci před zevní a vnitřní kontaminací. (6)



## **3 NÁDORY**

Nádorová onemocnění lze popsat jako skupinu onemocnění, která spojují určité charakteristické vlastnosti. Maligní nádor se projevuje jako nekoordinovaný růst abnormálních buněk a jejich postupné šíření do okolních tkání přes krevní a lymfatické řečiště nebo jiný postižený orgán. Jejich růst probíhá autonomně na úkor energetických a nutričních potřeb normálních buněk. Benigní nádor má ostrá ohraničení a dále se nešíří, zřídka způsobuje další zdravotní komplikace. (7)

### **3.1 Prevence**

Vzhledem k širokému výskytu maligních onemocnění a jejich značné mortalitě se zavádí určitá prevence. Jejím cílem je zabránit vzniku nemoci a v případě jejich výskytu je časně detekovat. Dodržením různých opatření se může prognóza nemocných výrazně zlepšit. Záměrem primární prevence je omezení vzniku nádorových chorob. Opatření jsou mířena na všechny obyvatele a jejich životní styl a jejich cílem je redukovat četnost výskytu nemocí eliminací rizikových faktorů nebo zeslabit jejich negativní dopad. Mezi návyky, které nepochybně zhoršují zdraví obyvatelstva patří kouření, nevhodná výživa z důvodu jejího složení a zpracování, špatné stravovací návyky a její nadměrný příjem, nedostatečná tělesná aktivita a další. Sekundární prevence se pokouší o snížení mortality. Zaměřuje se na sledování přednádorových stavů nebo jejich časnou detekci. Čím dříve je nádorové onemocnění detekováno, tím lepší je jeho naděje na léčení nebo i vyléčení. Na sekundární prevenci by se měl podílet jak zdravotník, tak i zbytek populace. (7)

### **3.2 Diagnostika nádorů**

Pro nejpřesnější diagnózu a následné zvolení vhodné léčby je potřeba mnoha vyšetření, která podrobně popíší, v jakém stavu a na jakém místě se nádorové onemocnění nachází. Pro zobrazení se používají různé zobrazovací metody na základě typu a uložení nádoru. (7)

#### **3.2.1 Rentgenové diagnostické metody**

Princip této skiografické metody využívá rentgenové záření vyzářené rentgenkou. Zobrazením různé absorpce záření ve tkáni pacienta se vytváří sumáčnický snímek. Pro lepší kontrast v obraze lze aplikovat kontrastní látky. Metody zobrazují po částech celé tělo i jednotlivé orgány, vylučovací trakt a arterie. CT vyšetření je jedno z nejčastěji používaných diagnostických metod. Obraz vytvořený sérií řezů podává informace o patologických

a fyziologických poměrech a ukazuje vzájemné vztahy orgánů. Mezi rentgenová vyšetření patří také mamografie a duktografie pro zobrazení prsní tkáně. (7) (8)

### **3.2.2 Nerentgenové metody**

Široké využití mají i nerentgenové metody. Ultrazvuková sonografie je běžná metoda, jelikož je bezpečná, levná a nenáročná pro pacienta. V některých případech bude její výpovědní hodnota vyšší než u rentgenových metod. Pomocí piezoelektrických krystalů v sondě se vytváří mechanické vlnění a dle času jeho odrazu od tkáně v těle se vytváří obraz. (9) Magnetická rezonance poskytuje obraz podobný obrazu CT, ale bez použití rentgenového záření, a tím snižuje radiační zátěž u pacienta. Používá silné magnetické pole, které působí na atom vodíku v těle a vychyluje ho z jeho vlastního magnetického momentu. Pomocí cívek se měří zpětný signál a vytváří se obraz v řezech. Soustřeďuje se hlavně na měkké tkáně. (7)

### **3.2.3 Nádorové markery**

Nádorové procesy můžeme dále zobrazit pomocí nádorových markerů. Jsou to látky, které se v důsledku vzniku a rozvoje maligních buněk objevují, nebo se zvýší jejich koncentrace v těle. Dle jejich výskytu je dělíme na celulární a humorální. Celulární nádorové markery se objevují ve tkáni nádoru. Jejich stanovení má význam pro optimalizaci léčby, určení hormonální závislosti karcinomu prsu (stanovením receptorů steroidních hormonů). Humorální nádorové markery se objevují v tělesných tekutinách. Tvoří je samotný nádor nebo jiná tkáň jako odpověď na maligní růst buněk. Onkofetální antigeny se tvoří při vývoji plodu a dále se jejich tvorba snižuje až zastavuje. U zhoubného bujení se jejich produkce znovu obnovuje. Pro stanovení humorálních nádorových markerů se využívají postupy imunochemické analýzy. Základem je vazba mezi nádorovým markerem (antigenem) a k němu specifickou protilátkou. Vytvořený komplex se dá značit radionuklidem a je možno ho následně detekovat pomocí radioimunoanalýzy. Nádorové markery mají nízkou specifitu a senzitivitu, jelikož normální koncentrace nádorového markeru maligní bujení nevylučuje, rovněž zvýšená hladina neznámá diagnózu nádorového onemocnění. Z tohoto důvodu není vhodné stanovení markerů pro screeningové metody u asymptomatických nemocných. Vhodné je použití pro screening symptomatických nemocných a vysoce rizikových skupin. Nejčastěji jsou využívány v případě sledování průběhu nemoci a hodnocení efektu léčby pomocí sledování změn jejich koncentrace. Jejich náhlý vzestup umožní časnou detekci relapsu choroby. (1)

### **3.2.4 Endoskopická vyšetření**

Pro zobrazení dostupných dutých orgánů je vhodné endoskopické vyšetření. Za použití endoskopu zobrazuje metoda prostor a umožňuje v něm odebrat vzorek podezřelé tkáně k dalšímu vyhodnocení. Mezi další vyšetření patří hematologické vyšetření krevního obrazu, biochemické vyšetření, vyšetření moči a sedimentu a v předchozích kapitolách zmíněné metody nukleární medicíny (scintigrafie, SPECT, PET) (7)

### **3.3 Typizace nádoru (type)**

Dle jejich charakteru dělíme nádory na maligní a benigní. Maligní nádor se od benigního liší zvýšenou rychlostí proliferace, stavbou své tkáně, lokální infiltrací a destruktivním růstem a tvorbou metastáz. Z hlediska histogeneze se nádory dělí do 7 skupin. Mezenchymové – vycházejí z mezodermu pojivových tkání, epitelové – z povrchového a žláзовého epitelu, neuroendokrinní – z nervových buněk centrální a periferní nervové soustavy, smíšené nádory – složené z více druhů tkání, germinální – ze zárodečných buněk, choriokarcinom – vychází z tkáně placenty, mezoteliom – samostatná nádorová jednotka. V klinické praxi je přiřazen každému nádoru číslo dle mezinárodní klasifikace (8010–9989) lomená číslem 1-3, která udávají charakter nádoru (1 – benigní, 2 – benigní s počínající malignitou, 3 – maligní). (7)

### **3.4 Stupně diferenciacie (grade)**

Stupně diferenciacie podávají informace o vyzrání nádoru. Je důležitým prediktivním údajem a základním kritériem pro zjištění prognózy nemoci. Nádory vysoce diferenciované mají obvykle pomalý růst, nízkou tendenci k infiltrativnímu a destruktivnímu růstu a pozdě metastazují. U nádorů nediferencovaných je náročné rozeznání buněčného a orgánového typu, ale pomocí imunohistochemických technik je možné stupeň přiřadit. Méně diferenciované nádory bývají senzitivní k radioterapii a chemoterapii, ale mají agresivní charakter. Stupeň diferenciacie je značen písmenem **G** a číslo 1-4 určuje stupeň. G1 je dobře diferenciovaný, G2 je středně diferenciovaný, G3 je málo diferenciovaný a G4 je nediferenciovaný. V případě značení GX stupeň diferenciacie nelze stanovit. (7)

### **3.5 Rozsah nádoru (staging)**

Rozsah nádoru určuje prognózu nemoci a je základní směrnicí pro určení léčebné strategie. Nejpoužívanějším systémem pro popis rozsahu je TNM systém. (7)

*Tabulka 1: Rozsah nádoru*

T	velikost nádoru
TX	primární nádor nelze posoudit
T0	bez znamének primárního nádoru
Tis	preinvazivní karcinom
T1,T2,T3,T4	narůstající velikost nádoru
M	zválené metastázy
MX	přítomnost vzdálených metastáz nelze stanovit
M0	vzdálené metastázy nejsou přítomny
M1	Vzdálené metastázy byly prokázány
N	značení regionálních mízních uzlin
NX	nález na regionálních uzlinách nelze posoudit
N0	metastázy regionálních mízních uzlin nejsou přítomny
N1,N2,N3	narůstající postižení regionálních mízních uzlin

*Zdroj 1 (7)*

## 4 DIAGNOSTIKA NÁDORŮ NA NUKLEÁRNÍ MEDICÍNĚ POMOCÍ RADIOFARMAK

### 4.1 Diagnostika s $^{18}\text{F}$ fluorem

#### 4.1.1 $^{18}\text{F}$ – FDG (fludeoxyglukoza)

FDG (strukturální analog 2-deoxyglukózy) je díky schopnosti zobrazovat většiny nádorů, dostupnosti a rychlému šíření v těle nejčastěji používané radiofarmakum pro onkologickou diagnostiku.  $^{18}\text{F}$  má relativně dlouhý poločas, a to 110 minut a je možné snadno vyrobit jeho požadované množství i v menších cyklotronech. Tím je snadno dostupný přímo v nemocnicích a zároveň dlouhý poločas umožňuje jeho rozvoz na větší vzdálenosti od místa výroby. Jeho biochemickým základem je glykolýza a farmakologie tohoto substrátu je dobře známá. (10)

Vyšetření pomocí FDG umožňuje detekci nádorů i v případech, že tumor nebyl prokázán jinou diagnostickou metodou. Předpokládá se, že metabolismus maligních nádorů je vyšší a způsobuje zvýšený obrát FDG ve tkáni. Ten se na obraze projeví vyšší koncentrací. Informace o akumulaci odpovídá spíše intenzitě fosforylace glukózy na hexkinázu (nutná k fixaci glukózy v tkáni) než prokrvení nádoru a metabolismu glukózy. (8)

FDG se podává i.v. a během následující hodiny je rozptýlena do mozku, srdce, ledvin a močového traktu. Pacientovy by mělo být poskytnuto dostatečné množství tekutin, aby byl hydratován. Hydratace podpoří diurézu a minimalizuje aktivitu FDG ve vylučovacím systému. Dále je též zakázáno pacientovi požít stravu minimálně 4 hod. před vyšetřením, aby se maximálně zvýšila aktivita FDG v tumorózních buňkách. V případě podezření na karcinom plic by pacient neměl pít žádné sladké nápoje už 12 hod. před vyšetřením – to sníží vychytávání FDG v srdeční tkáni (při nižších hladinách cukru v těle využívá srdeční tkáň mastné kyseliny místo glukózy) a usnadní tak zpozorování metastáz v plicích a mediastinu. Akumulace farmaka v ledvinách a močovém měchýři je způsobena jeho vylučováním. Dále se hromadí ve slepém střevě, jícnu, střevu a v zánětlivých procesech. (11)

#### 4.1.2 $^{18}\text{F}$ – NaF (fluorid sodný)

$^{18}\text{F}$ – NaF je iontová sloučenina  $\text{Na}^+$  a  $^{18}\text{F}^-$  iontů a je primární volbou pro vyšetření kostních metastáz na PET/CT. Toto pozitronové farmakum je podáváno i.v. s dávkou 3,5 MBq/kg a odstraňuje se z plazmy ve dvou fázích. V první fázi probíhá s poločasem 24 minut a v druhé s poločasem 156 minut. Fluoridové ionty difundují přes krevní kapiláry do kostní

extracelulární tekutiny a tam se zachytí a zabudují do její struktury. Po jedné hodině se v plazmě nachází jen 10 % z podané dávky a 50 % je uloženo v kostech. K uvolnění iontů dojde až při další remodelaci kosti. Vyšetření je provedeno po 30 až 60 minutách a nevyžaduje žádnou zvláštní přípravu pro pacienta. (12)

#### **4.1.3 $^{18}\text{F}$ – fluorocholin**

Tento injekční přípravek je diagnostické radiofarmakum určené pro metodu PET a umožňuje detekovat funkčních změny spojené se zvýšenou akumulací cholinu. Indikacemi pro vyšetření  $^{18}\text{F}$  – fluorocholinem je karcinom prostaty, lokalizace adenomu či hyperplazie přístítných tělísek při podezření na primární hyperparatyreózu a hepatocelulární karcinom. Pomocí této metody je možný staging v primárních fázích, zobrazení recidiv a metastáz. Dávka farmaka se pohybuje od 200 po 500 MBq/kg, kdy před vyšetřením je pro pacienta doporučená stejná příprava jako při vyšetření  $^{18}\text{F}$  – FDG. Záznam se provádí 10 až 20 minut po aplikaci a v případě nejednoznačného nálezu je možné záznam opakovat v odstupu 60 minut. (13) (2)

#### **4.1.4 $^{18}\text{F}$ -L-DOPA**

Radiofarmakum značené  $^{18}\text{F}$ -L-DOPA ukazuje funkční integrity presynaptických nervových zakončení ve striatu a intenzita jeho akumulace v bazálních gangliích je odrazem aktivity DOPA-dekarboxylázy. Mezi jeho indikace na nukleární medicíně patří neuroendokrinní nádory jako karcinoid, malobuněčný karcinom plic, medulární karcinom štítné žlázy, feochromocytom a gastropankreatické tumory. (2)

#### **4.1.5 $^{18}\text{F}$ -FLT**

Radiofarmakum  $^{18}\text{F}$ -fludeoxythymidine se akumuluje v buňkách maligních nádorů podle stupně proliferační aktivity. Radiofarmakum má hlavně diagnostickou funkci a je určeno především pro topografickou diagnostiku maligních nádorů pomocí PET a stanovení stupně jejich buněčné proliferace. Během 10 minut po i.v. aplikaci se rychle vychytává v cílových tkáních a po dobu 60 minut zůstává jeho akumulace stabilní. Nejvyšší akumulace se objevuje v kostní dřeni, v ledvinách, v močovém měchýři, v játrech a v nádorové tkáni s vysokým stupněm proliferace. (2)

## **4.2 Diagnostika s $^{99\text{m}}\text{Tc}$**

### **4.2.1 $^{99\text{m}}\text{Tc}$ – difosfonáty**

Radiofarmaka takto značená jsou používána pro scintigrafii skeletu. Mezi hlavní používané patří metylendifosfonát (MDP), oxidronát hydroxymetylendifosfonát (HMDP)

a hydroxyetylendifosfonát (HDP). Polovina z aplikovaného množství se kumuluje ve skeletu, a to zejména v krystalech hydroxyapatitu a fosforečnanu vápenatého.  $^{99m}\text{Tc}$ -MDP je radiofarmakum používané pro kostní scintigrafii ve třech fázích (blood flow, blood pool a obvyklá scintigrafie) a umožňuje posuzovat agresivitu primárních kostních nádorů dle akumulace farmaka. Před vyšetřením je nutná hydratace pacienta a těsně před snímáním se pacient vymočí. Farmakum se aplikuje i.v. v dávce 500-600 MBq a samotné snímkování proběhne 2 až 4 hodiny po aplikaci. Pro snížení radiační zátěže štítné žlázy a chorioideálních plexů je možno podat Chlorigen. Nevýhodou této metody je nízká specifita farmaka a jeho vázání na sériové proteiny. (2)

#### 4.2.2 CEA-sken

Radiofarmakum  $^{99m}\text{Tc}$ -anti-CEA s komerční názvem CEA-scan je určeno pro diagnostiku kolorektálního karcinomu a karcinomu ovaria, kde umožňuje zobrazení nádoru a jeho metastáz. CEA-Scan je  $^{99m}\text{Tc}$  je vázané na Fab fragment myší monoklonální protilátky, který reaguje s CEA (karcioembryonální antigenem) vyskytující se v mnoha nádorových procesech a některých zánětlivých procesech (např. Crohnova choroba). (11) (14)

Farmakum se podává i.v. v průběhu 30 minut. Poté proběhne planární sken a obrazy SPECT se získají o 2-5 hodin později. Počáteční snímky se většinou pořizují po 2 hodinách od aplikace, kdy je abdominální aktivita nejnižší. Z důvodu lepšího rozlišení nádoru od pozadí je vhodné dělat snímky i v delších intervalech. Senzitivita a specifita radiofarmaka se pohybuje kolem 95 %. Pacient by měl být před vyšetřením zkontrolován na hypersenzitivitu na produkty derivovaných z myší. Dále by měl být dostatečně hydratizován a katetrizován, aby se minimalizovaly artefakty v močovém měchýři. Katetrizace je vhodná pro pacienty suspektní na nemoc v oblasti pánve. (11)

#### 4.2.3 $^{99m}\text{Tc}$ – MIBI

$^{99m}\text{Tc}$  – methoxy-isobutyl-isonitril slouží k detekci plicních nádorů, adenomů štítné žlázy, detekci metastáz, predikce úspěšnosti chemoterapie a ke scintimamografii. Jeho akumulace závisí na uvolňování P-glykoproteinu na povrchu tumorózních buněk, který svojí nadměrnou expresí způsobuje lékovou rezistenci. (2)

Pro plicní nádory se provádí SPECT záznam hrudníku 10 minut a následně 120 minut po aplikaci radiofarmaka. Dle rychlosti akumulace a následného uvolňování radiofarmaka lze orientačně posuzovat míru akumulace případného chemoterapeutika v nádorové tkáni,

a tedy i efekt terapie. V případě scintimamografie se farmakum aplikuje na druhostrannou horní končetinu, než je klinický nález na prsu. Záznamy se provádí za 5–10 min po aplikaci vleže na břicho na speciálních nástavcích a následně na zádech. Alternativou můžou být farmaka  $^{99m}\text{Tc}$ -sestamibi a  $^{99m}\text{Tc}$ -isonitryl (zároveň k zobrazení karcinomu štítnice a příštítných tělísek). (11) (2)

#### **4.2.4 $^{99m}\text{Tc}$ – pentavalentní DMSA**

Tento přípravek je používán při diagnostice recidivy medulárního karcinomu štítnice, jako průkaz generalizace do štítnice, kostí a jater. Pokud je štítnice v dobrém nepoškozeném stavu, tak k vychytávání farmaka nedochází. Farmakum se podává i.v., kde jeho efektivní poločas v krvi je asi 1 hodina. Před vyšetřením je doporučeno vypít větší množství tekutin a s co nejčastějším močením i během několika hodin po podání přípravku. (15) (2)

#### **4.2.5 Další možná radiofarmaka**

NEOSPECT je syntetický decapeptid s vazbou na somatostatinové receptory, jež je možný využití při diferencii solitárních plicních uzlů.  $^{99m}\text{Tc}$  eluát je vhodný pro scintigrafii mozku a štítné žlázy. (11) (2)

### **4.3 $^{123}\text{I}$ – MIBG a $^{131}\text{I}$ – MIBG**

Při této metodě se používají farmaka  $^{123}\text{I}$ -MIBG a  $^{131}\text{I}$ -MIBG, která jsou analogové verze noradrenalinu, ale na rozdíl od něho se MIBG neváže na postsynaptické androgenní receptory. Mezi indikace pro toto vyšetření patří hyperplazie dřeně nadledvin, kde pomocí scintigrafie je možno časně objevit onemocnění (CT a MRI objeví až pokročilejší stádia), feochromocytom a paragangliom. (11)

Akumulace farmaka je pozorovatelná v tumorech u pacientů užívající blokátory kalciového kanálu nebo sympatomimetika. Po i.v. podání radiofarmaka se provádí celotělové scintigrafické vyšetření po 24 hod. (pro  $^{123}\text{I}$ ) nebo po 72 hod. (pro  $^{131}\text{I}$ ). Pacient by před podáním radiofarmaka měl přestat brát určité léky, které znehodnocují obraz při vyšetření (např. tricyklická antidepresiva, antipsychotika, blokátory katecholaminu, a další). (11) (14)

Protože se radiofarmakum vychytává ve štítné žláze, je nutno několik dnů před a po aplikaci podat Lugolův roztok, který zabrání vychytávání farmaka v jiném případě než při přítomnosti nemoci. Fyziologicky se akumuluje ve slinných žlázách, srdci a játrech, lehce



ve štítné žláze. Je vylučováno ledvinami, a proto dochází k usazování v ledvinách a močovém měchýři. (11) (14)

## **4.4 Diagnostika s Indiem**

### **4.4.1 Octreoscan – <sup>111</sup>In-pentetreotid**

Analogová verze somatostatinu (pentetreoid) vázaná na <sup>111</sup>In efektivně lokalizuje nádorová ložiska při skenu díky jeho schopnosti se vázat na somatostatinové receptory a má pro velkou skupinu nádoru senzitivitu 80-95 %. OctreoScan je indikován pro diagnostiku, sledování a upřesnění lokalizace gastro-entero-pankreatických neuroendokrinních (GEP) nádorů, karcinoidů s přítomností somatostatinových receptorů a stagingu malobuněčného karcinomu plic. Tumory bez somatostatinových receptorů zobrazit nelze. (15) (14)

Scintigrafické vyšetření proběhne po 4 a 24 hod. po i.v. aplikaci 110-220 MBq farmaka. V případě suspektního nálezu v druhé fázi se provádí další scintigrafické vyšetření po 48 hodinách od aplikace. Pokud pacient podstupuje léčbu oktreotidem, doporučuje se ho vysadit na dobu 3 dnů před skenem, jelikož může ovlivnit vychytávání farmaka, a tak snížit kvalitu vyšetření. Farmakum se fyziologicky vychytává v ledvinách, slezině, žlučníku, štítné žláze, močovém měchýři a oblastech postižených zánětem (Crohnova choroba, ulcerózní kolitida, intersticiální záněty apod. (11) (14)

### **4.4.2 ProstaScint**

Tato metoda používá radiofarmakum <sup>111</sup>In-capromab-pendetid zvaný ProstaScint. Přípravek je myší monoklonální IgG1 protilátka, která se zaměřuje na specifický transmembránový glykoprotein v prostatě (PSMA) a jeho senzitivita a specifita je oproti konvenčním metodám vyšší. Nadměrná produkce PSMA se objevuje v metastázách lymfatických uzlinách (oproti primárnímu nádoru prostaty) a ve špatně diferenciovaných nádorech (oproti dobře diferenciovaným) a tím farmakum umožňuje kvalitnější diagnostiku při zjišťování rozšíření metastáz. (11) (14)

Pacientovi se farmakum aplikuje i.v. a po 96 hodinách od aplikace se provádí planární sken hrudníku a SPECT sken pánve. Farmakum zůstává rozšířené v krvi po dobu 96-120 hodin. Při zobrazování se může vyskytnout nepravidelná aktivita v lymfatických uzlinách z důvodu vázanosti na krevní cévy. Pro jejich odlišení se při vyšetření použije <sup>99m</sup>Tc, které se na ně naváže a tím je možno struktury od sebe odlišit. Pacient neprochází

žádnou náročnou přípravou, kromě přípravy střev a katetrizace pro minimalizaci aktivity v močovém měchýři. (11) (14)

#### **4.4.3 OncoScint**

Farmakum používané pro toto vyšetření je  $^{111}\text{In}$ -satumomab pentetid. Je to B72.3 myší IgG monoklonální protilátka mířená proti vyšším molekulárním strukturám glykoproteinu. Tato zobrazovací metoda je senzitivní, a to zejména při rozlišení pooperačních a po-radiačních změn od nádorové tkáně a pro zobrazení relapsu nemoci. Hlavními nádorovými indikacemi pro vyšetření OncoScintem je ovariální karcinom nebo kolorektální karcinom. (11)

Pacientovi se látka podává i.v. a vyšetření proběhne po 72 hodinách od aplikace. V mnoha případech se zobrazování opakuje po 96 hodinách a 120 hodinách od aplikace pro vyloučení abnormalit nebo k rozpoznání přirozené aktivity střev od nádoru. Pokud pacient podstoupil operaci v abdominální oblasti, měl by vyšetření podstoupit až po 6 týdnech po ní, aby se farmakum nevychytilo v zánětlivých procesech v pooperační ráně. Je doporučeno provádět metodu kombinací vyšetření CT a OncoScintu. (11)

#### **4.5 Diagnostika s $^{201}\text{Tl}$ -chloridem**

$^{201}\text{Thalium}$  je kationt s vlastnostmi podobnými draslíku. Je to cyklotronový produkt, který se rozpadá elektronovým záchytem a emituje charakteristické rentgenové záření s energií 80 keV a poločasem rozpadu 73 hod. Hlavní použití farmaka spočívá v detekci karcinomu štítnice, příštítných tělísek, mozku, plic a měkkých tkání. Dále se radiofarmakum užívá k odlišení maligních a benigních lézí, staging u maligních lézí, hodnocení efektu terapie a odlišení fibrózy od rezidua tumoru. Farmakum se málo vychytává v zánětlivých procesech, a proto je možno ho uplatnit pro diferenciaci nádorové léze od zánětlivé pomoci kombinovaní metod používajících  $^{67}\text{Galium}$  a  $^{201}\text{Thalium}$ . (11)

Nevýhodou tohoto farmaka je jeho slabá energie, která způsobuje vyšší radiační zátěž absorpcí v těle pacienta. Zároveň je nevhodné pro zobrazování abdominální oblasti, kde se intenzivně vychytává. Z důvodu těchto nevýhod se preferuje použití  $^{99\text{m}}\text{Tc-MIBI}$ . (11)

## 4.6 Diagnostika s Galiem

### 4.6.1 $^{67}\text{Ga}$ – citrát

Radiofarmakum  $^{67}\text{Ga}$  – citrát je analogem železa. Tato vlastnost mu umožňuje se vázat na transferin v krvi, který se váže na transferinové receptory tkáně lymfomu. Použití galia je vhodné pro diagnostiku stádia, detekci residua, detekci relapsu nebo dalšího vývoje a k monitorování a predikci terapeutické odpovědi organismu na léčbu. Látka se podává i.v. a sken se provádí 2-3 dny po její aplikaci. Zvýšením dávky a vyšetřením pomocí SPECT je možno zvýšit diagnostickou přesnost. Sken může trvat 30 minut až 2-3 hodiny v případě potřeby se provede celotělového vyšetření. Aby nedošlo ke snížení kvality výsledku, vyšetření není vhodné provádět 24 hodin po krevní transfuzi a po MRI skenu s použitím gadolinia jako kontrastní látky. Pokud pacient podstupuje chemoterapii, je vhodné vyšetření provádět až 3-4 týdny po terapii. (11) (14)

Galium se vylučuje ledvinami a dále střevem, proto se pro urychlení vyprázdnění střev podávají laxativa. Farmakum se často usazuje v slinných žlázách a slzných žlázách nosohltanu, kostní dřeni (epifýzy dlouhých kostí) a játrech, ojediněle v prsech u pacientek s laktací nebo užívajících kontraceptiva a u mladistvých okolo věku 18 let v brzlíku. Dále se akumuluje v zánětlivých procesech, v čerstvě operovaných ranách nebo v oblastech punkce a plicních hilech (u pacientů, kteří často kouří). Výskyt galia v těchto oblastech může vytvářet komplikace pro vyšetření daného orgánu. (14)

### 4.6.2 $^{68}\text{Ga}$ – PSMA

$^{68}\text{Ga}$  – PSMA je další možnou metodou k zobrazení specifického proteinu produkovaného karcinomem prostaty – PSMA, ale oproti ostatním metodám je jeho specifita vyšší. Vyšetření s použitím farmaka zobrazuje uzlinové i kostní metastázy karcinomu prostaty a může vyjádřit agresivitu nádoru. Radiofarmakum se podává v dávce 105 až 330 MBq a vyšetření se provádí 45 až 60 minut po jeho aplikaci. Pacient se na vyšetření dostaví na lačno a dostatečně hydratován. (2)

### 4.6.3 $^{68}\text{Ga}$ – DOTATOC

Radiofarmakum  $^{68}\text{Ga}$ -DOTATOC je jedno z nejnovějších registrovaných radiofarmak k diagnostice neuroendokrinních nádorů se zvýšenou expresí somatostatinových receptorů. Důvodem k použití tohoto farmaka oproti scintigrafickému vyšetření  $^{111}\text{In}$ -Octreoscan je jeho vyšší senzitivita (96 % proti 86 %) a výrazně vyšší i specifita (93 % proti 50 %). (16)

Vyšetření se provádí jako pozitronová emisní tomografie v kombinaci PET/ CT nebo PET/MR. Aplikovaná radioaktivita v intravenózní injekci v PET diagnostice u pacientů má být v rozmezí 100 až 400 MBq podaná intravenózně. Optimální doba zahájení PET scintigrafie je za 60-90 minut po injekci. Technologická a ekonomická náročnost přípravy a hodnocení jakosti radiofarmaka představuje komplikaci pro jeho rozšíření na další pracoviště. (16)

#### **4.6.4 SomaKit**

Roztok edotreotidu značeného  $^{68}\text{Ga}$  je indikován k zobrazení nadměrné exprese somatostainových receptorů pro potvrzené nebo suspektní dobře diferenciované gastroenetero-pankreatické neuroendokrinní nádory. Radiofarmakum účinně lokalizuje primární nádor a jeho metastázy. Vhodnou zobrazovací metodou pro vyšetření je PET a proběhne za 40 až 90 minut po i.v. aplikaci radiofarmaka v dávce 100 až 200 MBq. Akvizice snímků by měla být v rozsahu od hlavy do půlky dolních končetin. Orgány s fyziologickou absorpcí této látky mohou představovat riziko chyb při hodnocení vyšetření.

### **4.7 Lymfoscintigrafie**

Standartní postupem pro pacienty, u kterých se objevily metastázy a mají pokročilé stádium melanomu, se stala biopsie sentinelové lymfatické uzliny (SLU). Do SLU vtéká lymfa přímo z tumoru a označuje se takto uzlina, která patří do lymfatického systému primárního nádoru a přímo se s tumorem spojuje lymfatickou cévou. Množství takových uzlin může být 3 a více v některých případech (např. melanomu). Je to také místo, kam mnohdy nádor metastazuje. V lymfatickém systému se metastázy šíří postupně a nemůže dojít k přeskočení jakékoliv další uzliny ve svém průběhu systémem. Pokud nebyla prokázána sentinelová uzlina, je nepravděpodobný i nález v uzlinách vyššího řádu. Detekce sentinelové uzliny podává důležitou informaci, dle které se může změnit původní plán léčby, nebo se vyhnout radikální disekci celého lymfatického systému. (14)

Pro její detekci se používá izosulfanová modř. Metoda pro její zobrazení a resekci spočívá v radiačně navigovaném chirurgickém výkonu, kdy se před operací do okolí nádoru aplikuje injekcí 1,5-2 ml modrého barviva (Patentblau – sulfanum ceruleum) do oblasti intrakutánní, subkutánní nebo peritumorózní. Barvivo odtéká lymfatickým cévami a zabarvuje uzliny ve směru průtoku. Pro tuto metodu se aplikuje radiofarmakum  $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -koloid do okolí nádoru v obdobných oblastech jako při zabarvování. Následně se lymfoscintografií sleduje průběh farmaka řečištěm a jeho vychytávání v SLU. V uzlinách

vyššího řádu se farmakum vycytává velmi nepatrně. Poloha SLU se zakreslí na kůži pacienta a chirurgicky se vypreparuje. (14)

Farmakum se podává intradermálně a hned po jeho aplikaci proběhne dynamické astatické zobrazování. Pro zobrazování trupu je nutno zachytit axilární, krční a tříselné oblasti. Komplikace se mohou objevit v případě nedávné operace a při výskytu sekundární SLU, ve které se objevují stopy modří až po průchodu primární SLU (ta je následně také vyoperována). (14)

# PRAKTICKÁ ČÁST

## 5 CÍL A ÚKOLY PRÁCE

### 5.1 Hlavní cíl

Hlavním cílem práce je zobrazení trendů zobrazovacích metod na nukleární medicíně na vybraném pracovišti.

### 5.2 Dílčí cíle

1. Aplikace teoretických znalostí o zobrazovacích metodách k vytvoření výzkumu.
2. Zpracovat získaná data ze systému WinMedicalc do formy zkoumané statistiky a kazuistik jednotlivých pacientů.
3. Vyhodnotit zpracovaný výzkum.

## **6 VÝZKUMNÉ OTÁZKY A PŘEDPOKLADY**

### **6.1 Výzkumné otázky**

VO1: Zjistit, která metoda je na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Plzni nejpoužívanější k zobrazení nádorových onemocnění.

VO2: Zjistit, která nádorová onemocnění jsou nejčastěji zobrazována na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Plzni.

VO3: Zjistit, zda byla četnost vyšetření na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Plzni ovlivněna epidemií COVIDU-19.

### **6.2 Předpoklady**

K uvedeným výzkumným otázkám byly stanoveny tyto předpoklady:

P1: Předpokládáme, že PET/CT je nejpoužívanější zobrazovací metodou pro nádorová onemocnění na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Plzni.

P2: Předpokládáme, že karcinom prsu je nejčastěji zobrazované nádorové onemocnění na oddělení nukleární medicíny ve Fakultní nemocnici v Plzni.

P3: Předpokládáme, že došlo během epidemie COVID-19 k výraznému poklesu četnosti vyšetření na oddělení Nukleární medicíny ve FN Plzeň.

## 7 METODIKA PRÁCE

K vypracování praktické části bakalářské práce jsme zvolili kombinaci kvantitativní a kvalitativní formy výzkumu. Kvantitativní forma výzkumu je vypracována pomocí statistického sběru dat a kvalitativní forma prostřednictvím doplňujících kazuistik. Kvantitativní výzkum zahrnuje data za dobu 5 let od roku 2018 do 2022 a kvalitativní výzkum je tvořen 3 kazuistikami. Veškerá data byla získána na Klinice zobrazovacích metod FN Plzeň z nemocničního informačního systému WinMedicalc za odborného dohledu MUDr. Alexandera Malána. Zkoumaný soubor tvoří pacienti s diagnostikovaným nádorovým onemocněním, kteří od 1. 1. 2018 do 31. 12. 2022 navštívili oddělení nukleární medicíny.

Získané statistické údaje, které jsme zpracovali, se soustřeďují na četnost vyšetření a na typ zobrazovacích metod, která byla u jednotlivých pacientů použita. Dále jsme se zaměřili na četnost zobrazených nádorových onemocnění a metody, kterými byly vyšetřeny. Data byla vyhodnocena a zpracována ve formě grafů a tabulek, které jsou přiloženy. Kvalitativní metoda výzkumu formou kazuistik popisuje konkrétní případy, konkrétní vyšetřovací metody a vývoj onemocnění. Data pro kvalitativní formu zahrnují obrazovou dokumentaci, která je nedílnou součástí kazuistik.

Sběr dat k praktické části bakalářské práce proběhl během zimním semestru v době praxe od 31.10.2022 do 18.11.:2022 na Klinice zobrazovacích metod ve FN Plzeň Lochotín – Oddělení nukleární medicíny. Souhlas ke sběru dat byl udělen od manažerky pro vzdělávání a výuku nelékařských zdravotnických pracovníků FN Plzeň Mgr. Bc. Světluše Chabrové. Obsah praktické části bakalářské práce jsem konzultovala s vedoucí práce Mgr. Bc. Alenou Sovovou a s MUDr. Alexandrem Malánem.



## 8 STATISTIKA

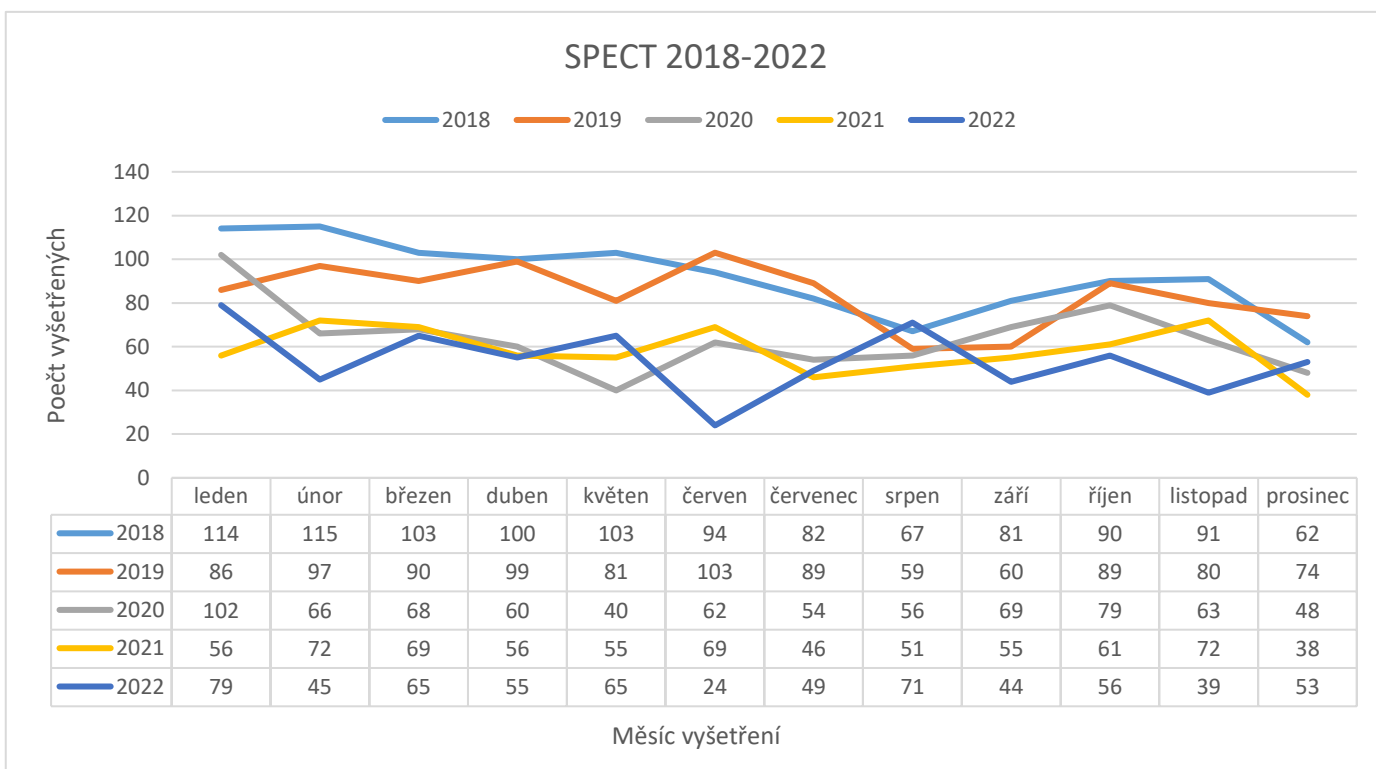
V první části kvantitativního výzkumu jsme se zaměřili na porovnání četnosti vyšetření jednotlivých zobrazovacích metod na oddělení NM v období od 1.1.2018 do 31.12.2022. Za tuto dobu bylo provedeno 4 221 vyšetření metodou SPECT, 8 823 vyšetření metodou PET/MRI a 13 840 vyšetření metodou PET/CT.

Druhá část kvantitativního výzkumu sleduje rozdíly v použití jednotlivých zobrazovacích metod při vyšetření různých typů karcinomů.

### 8.1 SPECT v letech 2018–2022

Soustředili jsem se na porovnání četnosti vyšetření metodou SPECT v časovém úseku 5 let. Nejvíce vyšetření proběhlo v roce 2018, kdy bylo vyšetřeno celkem 1102 pacientů. Z grafu vyplývá znatelný pokles množství vyšetřených pacientů s každým rokem. Pravidelné snížení se projevuje v letních měsících a prosinci.

Graf 1: SPECT 2018-2022

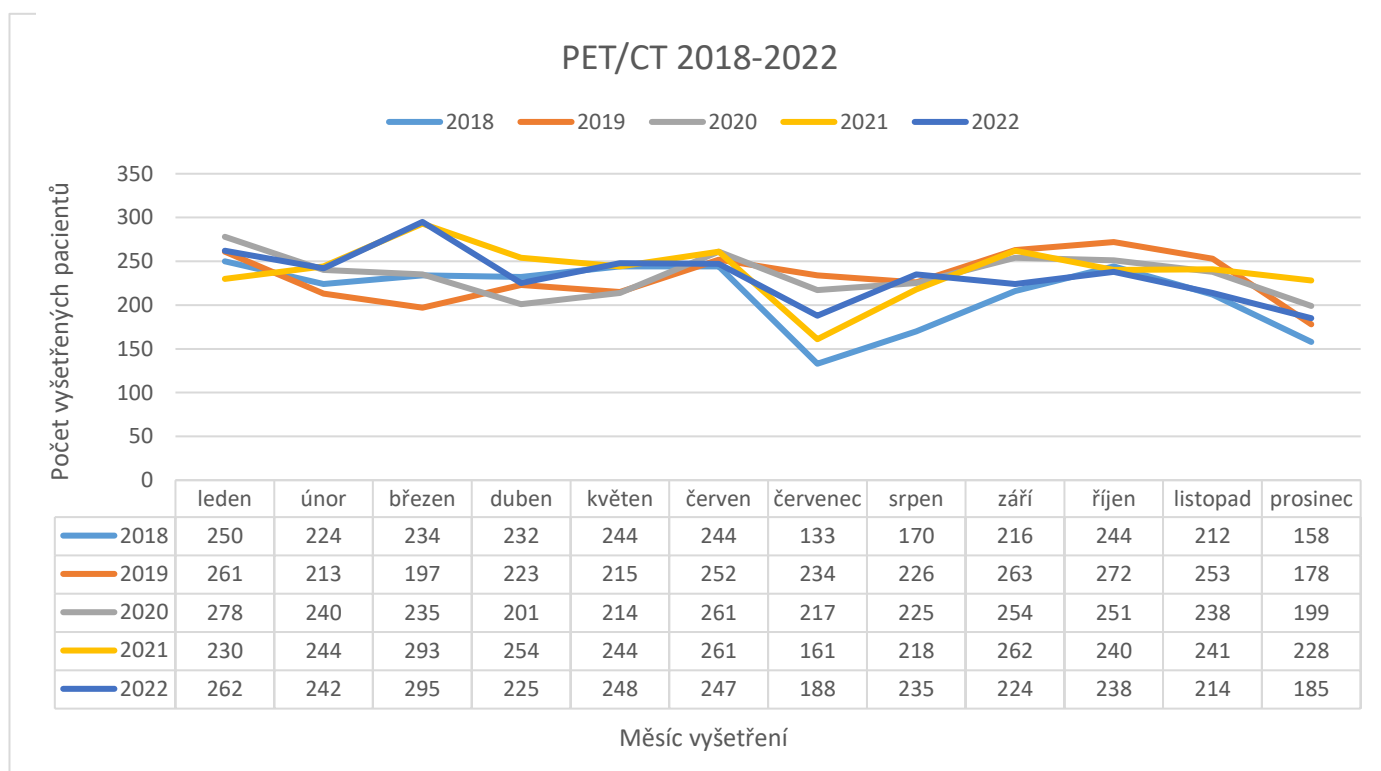


Zdroj: vlastní

## 8.2 PET/CT v letech 2018–2022

Následující graf zobrazuje stejné časové období jako graf předchozí, ale zaměřuje se na metodu PET/CT. Na rozdíl od metody SPECT nedochází ke znatelnému poklesu, naopak k mírnému vzrůstu oproti roku 2018. Podobně jako u metody SPECT dochází k poklesu četnosti v letních měsících a prosinci.

Graf 4: PET/CT 2018-2022

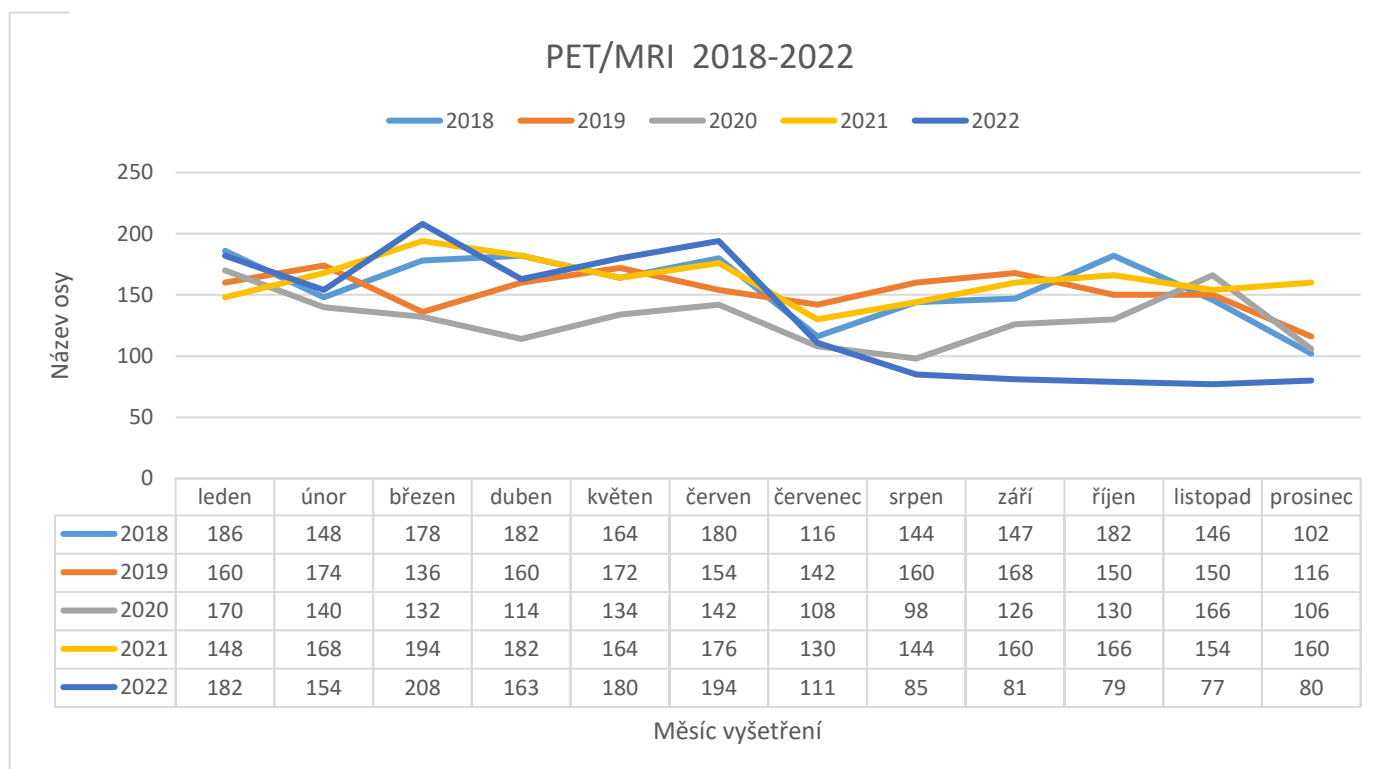


Zdroj: vlastní

### 8.3 PET/MRI v letech 2018–2022

Tento graf znázorňuje opět období 5 let se zaměřením na metodu PET/MRI. V průběhu let je četnost vyšetření relativně stabilní, ale v roce 2022 dochází k výraznému snížení od června do konce sledovaného období. Dalším slabším rokem je 2020, ale v následujícím roce došlo k opětovnému nárůstu.

Graf 7: PET/MRI 2018/2022

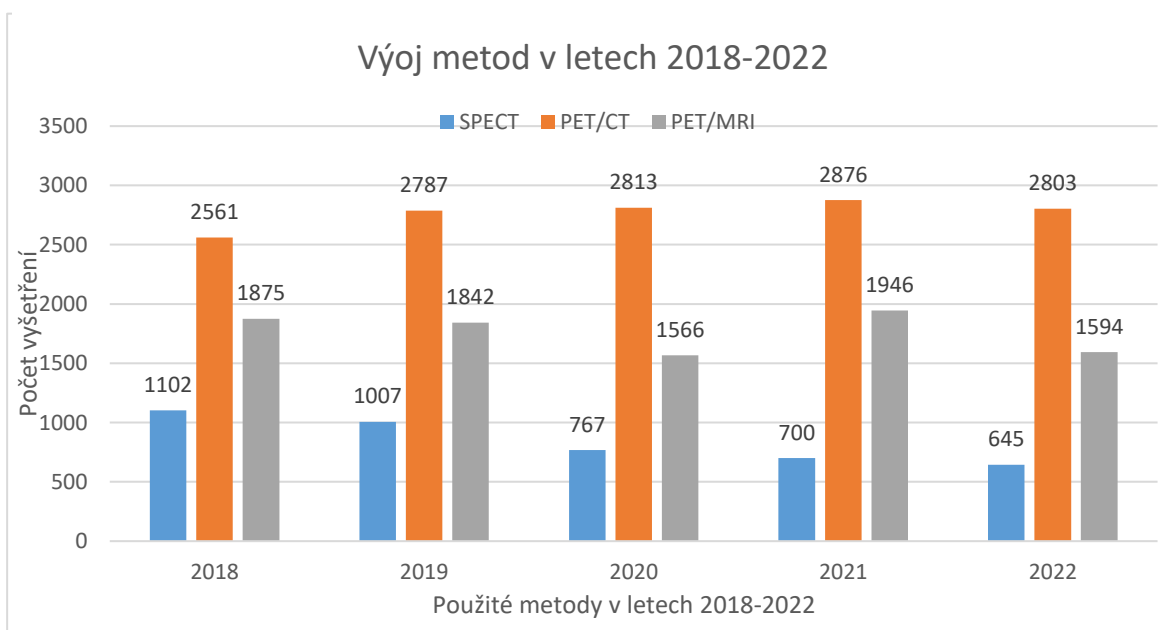


Zdroj: vlastní

## 8.4 Vývoj metod v letech 2018-2022

Tento graf shrnuje a porovnává předchozí informace. Porovnávám metody SPECT, PET/CT a PET/MRI ve sledovaném období. Naším cílem bylo zjistit, která z metod byla nejpoužívanější. Z grafu je na první pohled patrné, že na prvním místě je metoda PET/CT. Nedochází k jejímu výkyvům dokonce ani v roce 2019, kdy z důvodu epidemie COVIDU-19 docházelo k omezení provozu na mnoha pracovištích. Metoda PET/MRI je méně používaná, ale i přes malé výkyvy je stabilní. Metoda SPECT se ve srovnání se zbývajícími dvěma metodami méně používá a postupně klesá. Doplňující tabulka porovnává součet všech vyšetření v letech.

Graf 10: Vývoj metod v letech 2018-2022



Zdroj: vlastní

Tabulka 2: Vývoj metod 2018-2022

Rok vyšetření	2018	2019	2020	2021	2022	celkem
Počet vyšetření	5538	5636	5148	5322	5042	26686

Zdroj: vlastní

## 8.5 Nádory zobrazované metodou SPECT

V letech 2018-2022 proběhlo celkem 4221 vyšetření metodou SPECT u pacientů s nádorovým onemocněním. Tabulka obsahuje procentuální zastoupení vybraných nejčastějších karcinomů zobrazovaných touto metodou.

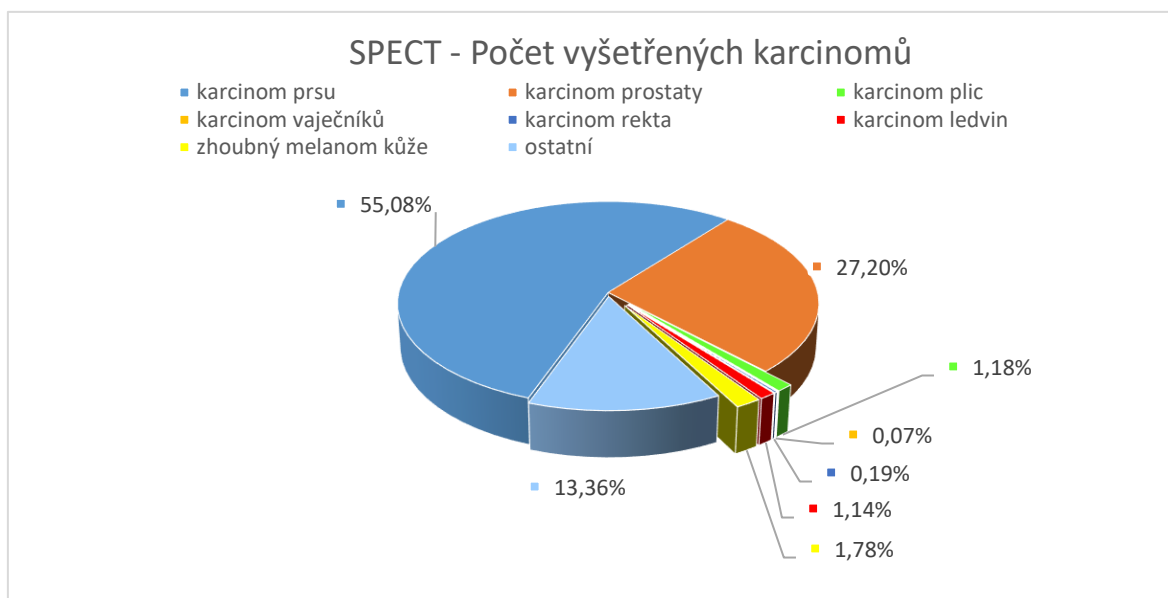
Tabulka 3: Nádory zobrazovány metodou SPECT

Typ karcinomu	Počet vyšetřených	Procentuální zastoupení
Karcinom prsu	2325	55,1 %
Karcinom prostaty	1148	27,2 %
Karcinom plic	50	1,2 %
Karcinom vaječníků	3	0,1 %
Karcinom rekta	8	0,2 %
Karcinom ledvin	48	1,1 %
Zhoubný melanom kůže	75	1,8 %
Ostatní karcinomy	564	13,3 %
Celkem	4221	100 %

Zdroj: vlastní

Následující graf porovnává zastoupení nejčastějších karcinomů zobrazených na SPECT. Nejvíce zobrazovaným nádorem je karcinom prsu s četností 2325 vyšetření za sledované období (55 %). Dalším výrazným nádorem je karcinom prostaty s počtem 1148 (27 %). Pro ostatní nádorová onemocnění není použití této metody tak časté.

Graf 13: SPECT – počet vyšetřených karcinomů



Zdroj: vlastní

## 8.6 Nádory zobrazované metodou PET/CT

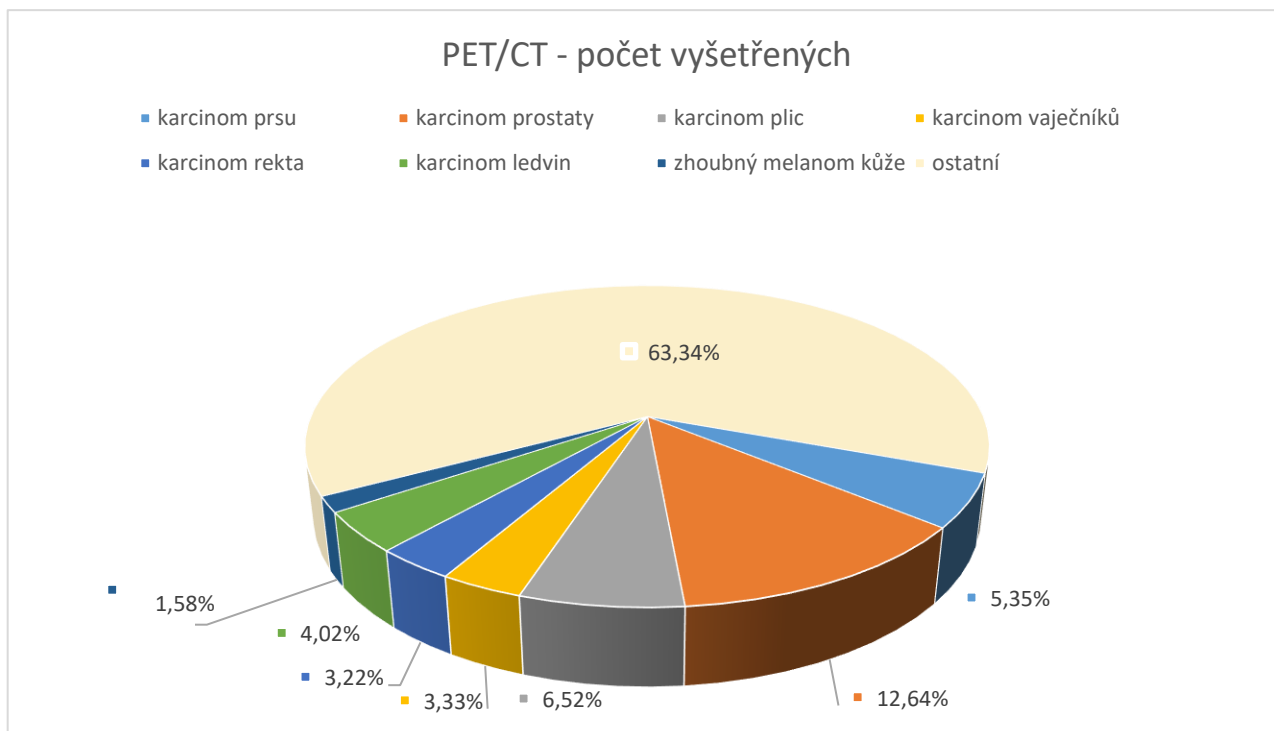
Za zkoumané časové období se vykonalo 13840 vyšetření metodou PET/CT. Tato metoda je hojně používána pro většinu skupin nádorů a v tabulce je uvedeno procentuální zastoupení skupin s nejvýznamnější četností. Nejvyšší zastoupení má tentokrát karcinom prostaty s počtem vyšetření 1750 (12,6 %). Další často zobrazované nádory jsou karcinom plic (6,5 %) a karcinom prsu (5,3 %). V následujícím grafu je znázorněno porovnání četnosti vyšetření vybraných skupin karcinomů.

*Tabulka 4: Nádory zobrazovány metodou PET/CT*

Typ karcinomu	Počet vyšetřených	Procentuální zastoupení
Karcinom prsu	740	5,3 %
Karcinom prostaty	1750	12,6 %
Karcinom plic	903	6,5 %
Karcinom vaječníků	461	3,3 %
Karcinom rekta	446	3,2 %
Karcinom ledvin	556	4,0 %
Zhoubný melanom kůže	218	1,6 %
Ostatní	8766	63,3 %
Celkem	13840	100 %

*Zdroj: vlastní*

Graf 16: PET/CT – nejčastější nádory



Zdroj: vlastní



## 8.7 Nádory zobrazované metodou PET/MRI

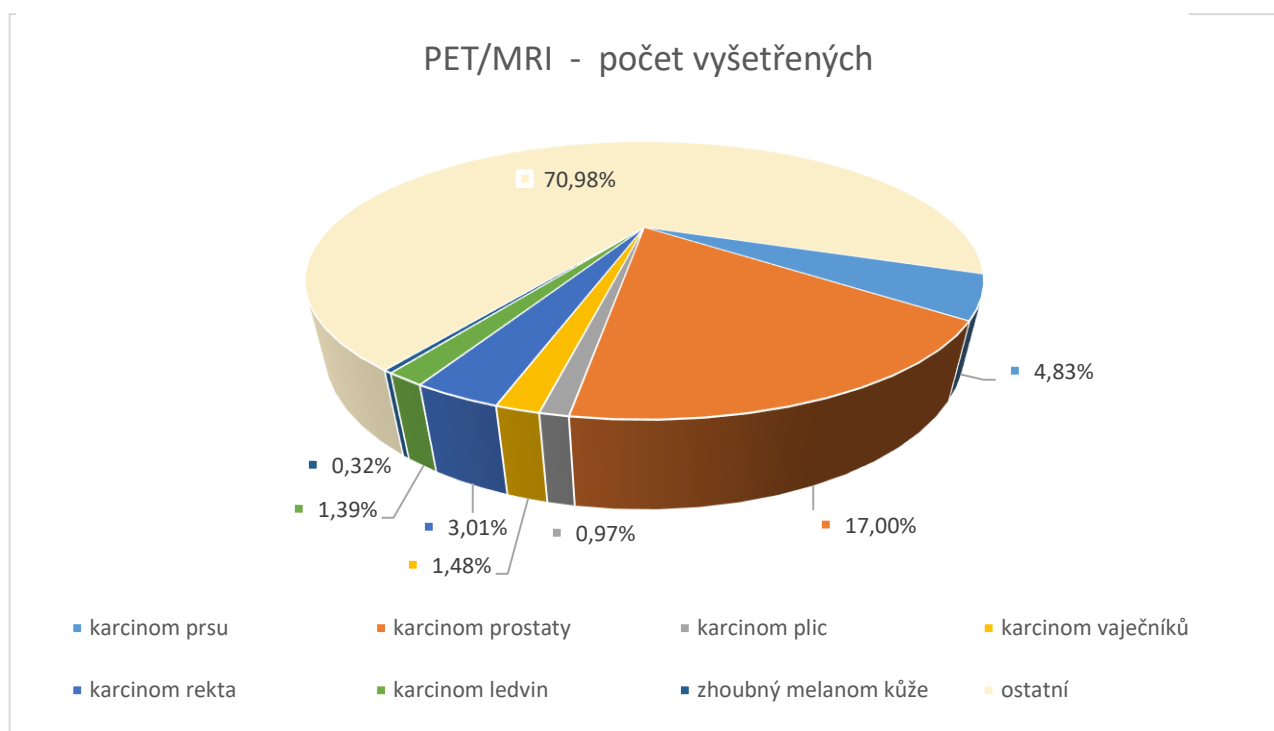
Následující tabulka se zaměřuje na stejné skupiny nádorů jako předešlé, ale se zaměřením na metodu PET/MRI. Na základě údajů z tabulky v bodě 8.4 plyne, že metoda PET/MRI je rovněž často používaná, ale v jejím případě je karcinom prostaty zobrazován ve větším poměru oproti ostatním skupinám.

Tabulka 5: Nádory zobrazovány metodou PET/MRI

Typ karcinomu	Počet vyšetřených	Procentuální zastoupení
Karcinom prsu	426	4,8 %
Karcinom prostaty	1500	17,0 %
Karcinom plic	86	1,0 %
Karcinom vaječníků	131	1,5 %
Karcinom rekta	266	3,0 %
Karcinom ledvin	123	1,4 %
Zhoubný melanom kůže	28	0,3 %
Ostatní	6263	71,0 %
Celkem	740	100 %

*Zdroj: vlastní*

Graf 19: PET/MRI – nejčastější nádory



Zdroj: vlastní

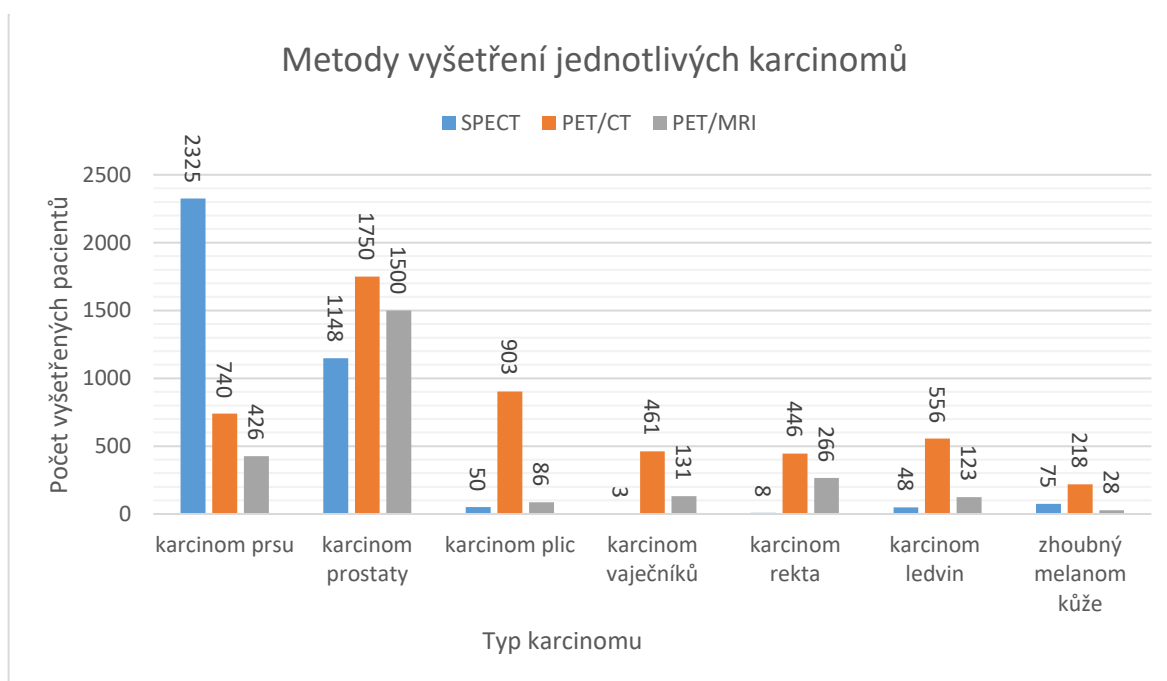
## 8.8 Metody vyšetření jednotlivých nádorů

Z předešlých grafů je patrné, že pro zobrazování určitých typů karcinomů jsou některé zobrazovací metody používány výrazně častěji. V následujícím grafu proto porovnááme celkovou četnost jednotlivých nádorů zobrazovaných různými metodami.

Nejčastěji zobrazovaným nádorem je karcinom prostaty (4 398). Oproti tomu vyšetření karcinomu prsu proběhlo celkem 3 491krát.

Graf ukazuje, že zobrazování karcinomu prsu je nejčastěji prováděno pomocí metody SPECT (2 325). Tato metoda je ale na prvním místě pouze v tomto případě, u všech ostatních skupin je nepoužívanější metoda PET/CT. Metoda PET/MRI je častější metodou pro zobrazení nádorů než SPECT, ve většině případů s výjimkou zhoubného melanomu kůže.

Graf 22: Metody vyšetření jednotlivých karcinomů



Zdroj: vlastní

## 9 KAZUISTIKY

### 9.1 Kazuistika 1

Žena 36 let

Při pravidelné kontrole byla u pacientky zjištěna levostranná ovariální cysta. Pacientka byla odeslána do nemocnice Stod, kde byla dne 16.4.2014 provedena levostranná ovarektomie. Vzhledem k diskrepanci nálezu a insuficienci operačního protokolu byla pacientka odeslána na IS GPK. V červenci 2014 podstoupila pacientka první cyklus pooperační chemoterapie BEP

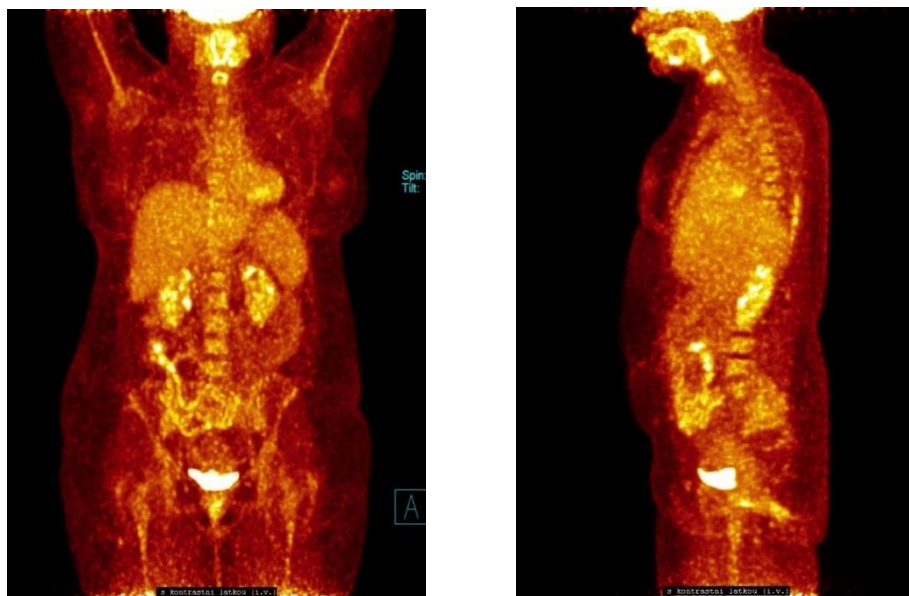
Anamnéza:

Pacientka do zkoumaného období měla jen běžné nemoci a ~~trpí~~ astma bronchila bez záchvatů. Rodinná anamnéza pacientky neobsahovala žádná významná spojení s nemocí. Pracovala jako dělnice.

20.5. 2014 byla pacientka přijata do nemocnice za účelem provedení laparoskopie. Během pobytu v nemocnici bylo provedena biopsie peritonea a appendixu. 5 dní po provedení laparoskopie si pacientka stěžovala na bolesti břicha. Následně bylo provedeno RTG břicha a CT vyšetření, kde byl na CT objeven subcékální absces velikosti 37 mm a menší minimum tekutiny v pánvi. Dále byla objevena cysta pravého ovaria a lymfadenopatie v retroperitoneu a mezenteriu.

26.5.2014 Na základě konziliárního vyšetření byla provedena laparoskopická revize dutiny břišní. Zdrojem infekce byla nekrotická tkáň. Dne 17.9.2014 Podstoupila pacientka PET/CT v rozsahu hlavy a trupu s aplikací FDG o aktivitě 234,4 MBq. Výsledkem byl nález bez zřetelné expanze a zachycený skelet neobsahoval FDG akumulující ložiskové změny.

Obrázek 1: 17.9. 2014 pacientka č. 1 - PET/CT vyšetření s FDG

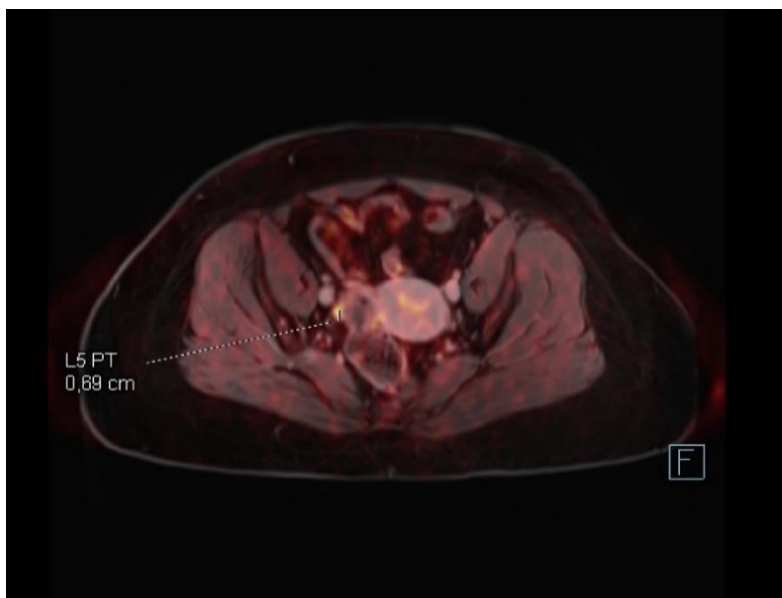


Zdroj: archiv FN Plzeň

5.1.2015 se pacientka dostavila ke kontrole a proplachu portu. Při kontrole byl zjištěn abnormální nález v oblasti pravých adnex. Chirurgická léčba nebyla indikována. Na následující kontrole 16.1.2015 oznámila, že se subjektivně cítila zcela bez potíží.

15.9.2015 Podstoupila pacientka PET/MRI vyšetření s použitím FDG o aktivitě 234,4 MBq. Vyšetření bylo provedeno v rozsahu hlavy a trupu až po oblast třísel se zaměřením na pánev. Nález byl bez jednoznačné FDG akumulující viabilní neoplazie a oproti minulému PET/CT nedošlo k podstatné změně nálezu.

Obrázek 2: 15.9. 2015 pacientka č. 1 - PET/MR s FDG

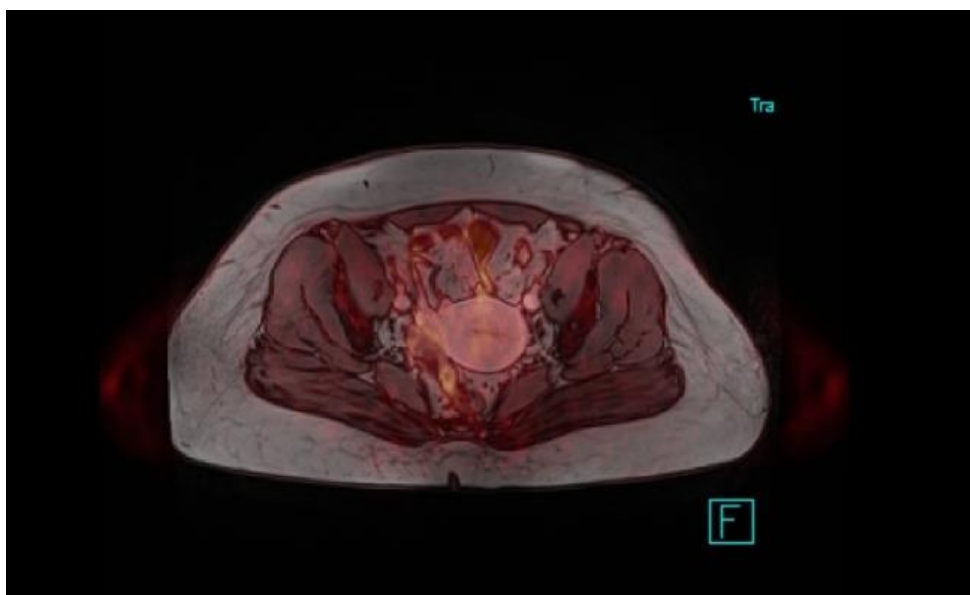


Zdroj: archiv FN Plzeň

7.3.2016 navštívila pacientka ORAK ambulanci za účelem kontroly. Pacientka se stále cítila dobře, chodila do práce, ale pociťovala únavu. Přetrvávala parestezie na dolních končetinách. Pacientka docházela na pravidelné proplachy portu a stav přetrvával i následující prohlídky 2.5. a 28.6.

14.9.2016 podstoupila pacientka vyšetření PET/MR s apl. FDG o aktivitě 231 MBq. Výsledek vyšetření proti předchozímu byl bez podstatné změny nálezu. Na obraze nebyly zřetelné FDG akumulující viabilní neoplazie

Obrázek 25: 14.9. 2016 pacientka č. 1 - PET/MR s FDG

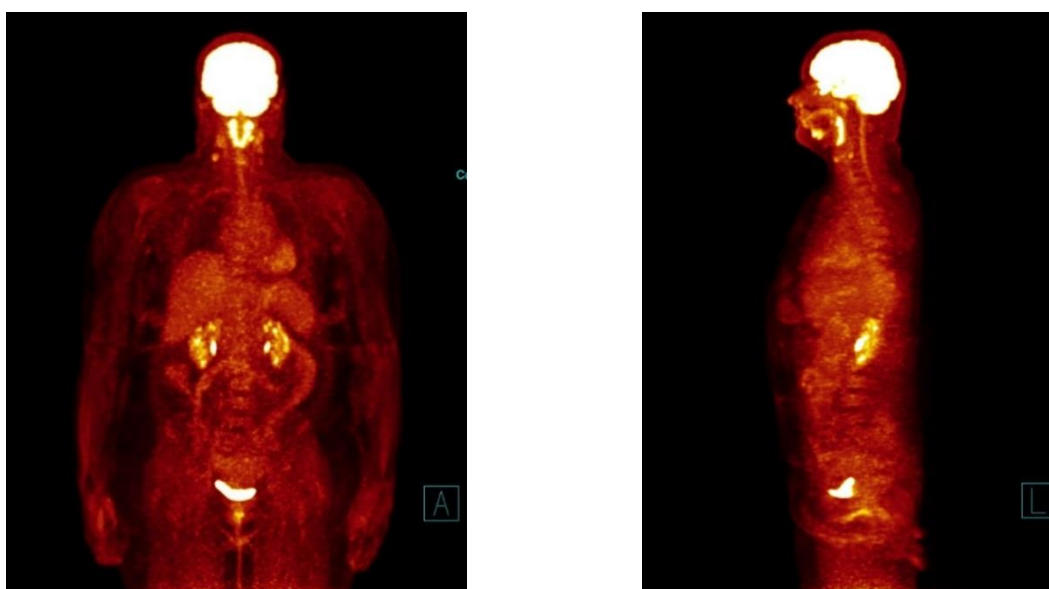


Zdroj: archiv FN Plzeň

20.9.2016 bylo provedeno kontrolní vyšetření na ambulanci. Žádné známky recidivy či generalizace nádorového onemocnění. Pacientka docházela na pravidelný proplach portu každé 3 měsíce.

30.4.2018 se dostavila pacientka na vyšetření PET/MR s apl. FDG za účelem stagingu. Výsledek byl bez průkazu recidivy či generalizace maligního procesu.

Obrázek 28: 30.4. 2018 pacientka č.1 - PET/MR s FDG



Zdroj: archiv FN Plzeň

19.2.2021 podstoupila pacientka CT vyšetření břicha s kontrastní látkou. Výsledky byly srovnány s PET MR z r. 2018. a nebyl objeven žádný patologický nález na orgánech. Dříve objevené sklerotické ložisko v pánvi vlevo při SI kloubu bylo beze změny, jinak je skelet bez ložisek.

19.2.2021 kontrola na ambulanci – bez podezření na aktivní onkologické postižení. S ohledem na dobu od diagnózy a trvání remise byl doporučen návrat do standardních programů screeningové/preventivní péče praktického lékaře. Dále kontroly gynekologem s kontrolním sono vyšetření. Doporučena kontrolní vyšetření sono prsů. Pacientce byl následně vinět port v nemocnici Primaved.

Závěr: Pacientka byla po levostranné ovariectomii pravidelně sledována zobrazovacími metodami pro monitoraci stagingu. Později objevena cysta, která byla následně odstraněna. Na pravidelných kontrolách podstupovala výplach a 19.2.2021 prodlouženy prohlídky na obvyklé screeningové metody a kontroly u gynekologa.



## 9.2 Kazuistika 2

Muž, 71 let

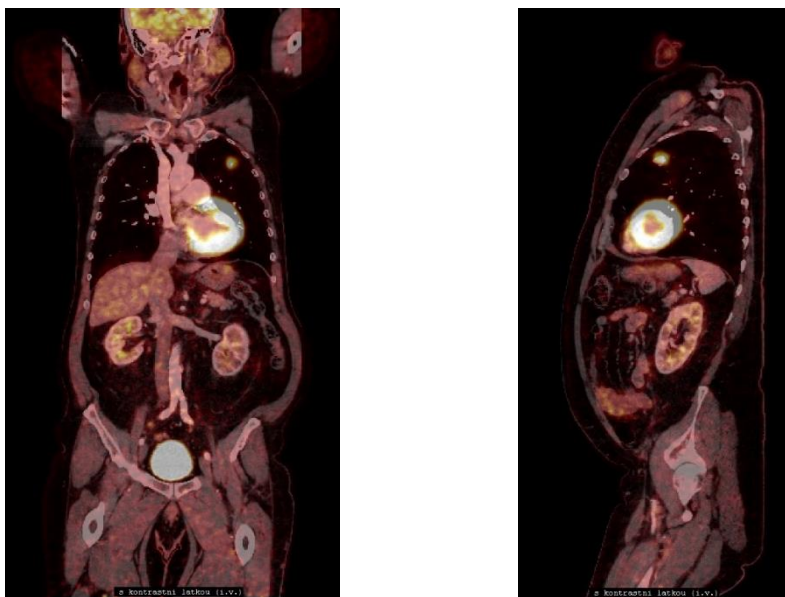
Pacient byl odeslán z OTRN Klatovy pro suspektní periferní tumor objevený při kontrolní prohlídce na RTG plic. Pacient byl sledován pro CHOPN. Pacient měl chronickou bolest zad ze zaměstnání, dále měl v anamnéze suchý a dráždivý kašel, občas s našedlým sputem bez stop krve.

Anamnéza:

Pacient do zkoumaného období měl potíže s dýcháním a potvrdil možnost kontaktu s TBC v práci. V rodině měla astma sestra pacienta a příbuzný ze strany matky. Bratr pacienta zemřel na plicní onemocnění. Pacient byl exkuřák a užíval léky na snížení tlaku, na otoky a léky pro CHOPN. Pacient byl ve starobním důchodu, dříve pracoval jako sanitář a ošetřovatel.

14.8. 2017 Podstoupil pacient vyšetření PET/CT trupu pro zobrazení suspektního nálezu. Výsledkem byl nález ložiska o velikosti 27 mm v plicním parenchymu a druhého ložiska s velikostí do 4 mm. Ve skeletu se neobjevila žádná patologická akumulace FDG.

*Obrázek 5: 14.8. 2017 pacient 2 - PET/CT vyšetření*



*Zdroj: archiv FN Plzeň*

14.9. 2017 navštívil pacient PNE ambulance na funkční vyšetření plic. Výsledná saturace se pohybuje kolem 90 %. Pacient si zároveň stěžoval na bolest zad a suchý kašel.

18.- 20.10.2017 proběhlo ozáření suspektního tumoru v levém horním plicním laloku. Pacient byl ozářen v nemocnici v Ostravě metodou CyberKnife s použitím TRD 60 Gy. Výkon proběhl bez komplikací.

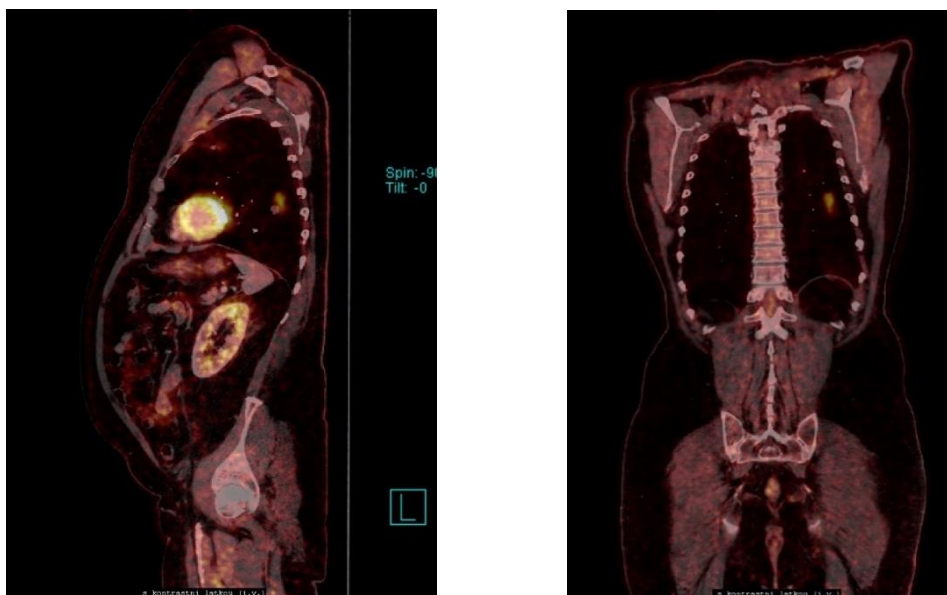
16.11. 2017 se pacient dostavil na kontrolu. Po srovnání s předchozím RTG vyšetřením byla pozorována parciální regrese ložiska. Pacient se cítil celkem dobře, v posledních 14 dnech se zhoršila klidová dušnost, měl i kašel, dráždil ho suchý vzduch. Hlen byl čistý, lehce došeda, teploty neměl.

11.1. 2018 proběhla kontrola na PNE ambulanci. Pacient cítil subjektivní dušnost při pomalé chůzi, mírné zlepšení kašle. K zn. chronické žilní insuficience bez ATEN, bez palpací a bolestí. Při srovnání RTG snímků byly pozorovány pravděpodobné postradiační změny vlevo.

1.3. 2018 pacient podstoupil CT vyšetření, kde byla zpozorována změna ložiska. Ložisko v levé plíci vlivem předchozího ozáření ztratilo původní tvar a byly objeveny nové drobné metastázy. Na kontrole se pacient cítil stejně, dechově po ozařování lehce zhoršen, hlavně námahová dušnost, váha zůstala stabilní. Na funkčním vyšetření plic vykazovaly výsledky lepší hodnoty než předchozí vyšetření. Na konci měsíce byl propuštěn z hospitalizace.

23.5. 2018 se pacient dostavil na vyšetření PET/CT trupu s použitím FDG. Na obraze bylo viditelné pruhovité reziduum reziduum původního periferního karcinomu a nové metabolicky aktivní metastázy. Pravá plíce byla v pořádku. Na následujících pravidelných kontrolách po měsíci se pacient cítil v pořádku, byl soběstačný, ale dušný při námaze a stále mírně přibral.

Obrázek 6: 23.5.2018 pacient 2 - PET/CT vyšetření



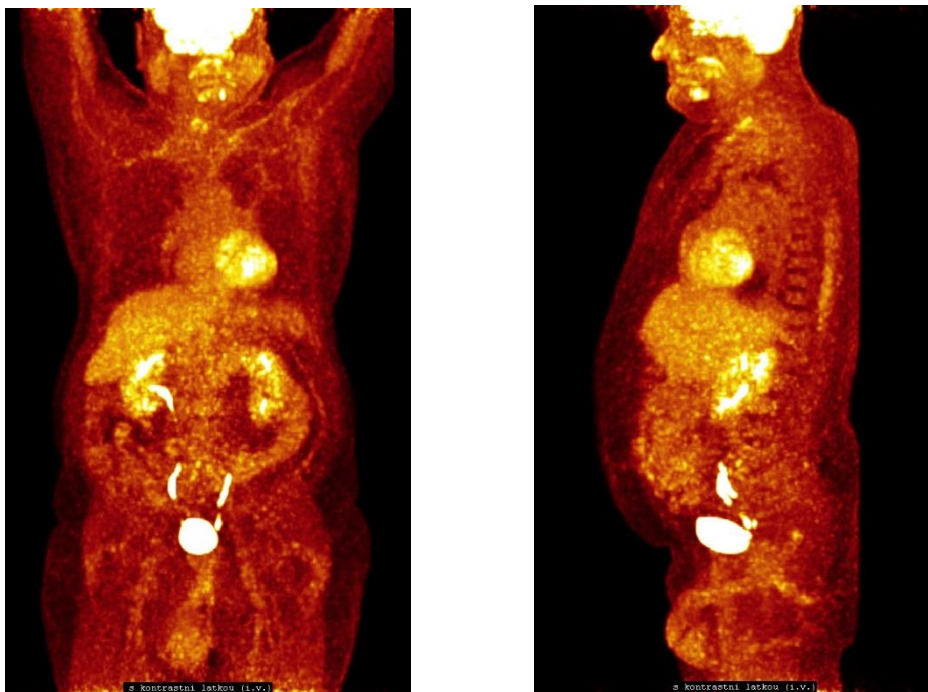
Zdroj: archiv FN Plzeň

16.11. 2018 proběhlo CT vyšetření mediastina a epigastria. Při srovnání s obrazem z vyšetření PET/CT ze dne 1.3. 2018 byla viditelná parciální regrese původních metastáz, ale objeveny jiné v nových místech. Fibrózní pruh v místě původního tumoru byl beze změn.

21.3. 2019 navštívil pacient PNE ambulanci. Pacientův stav dýchání se zhoršil po pneumonii ze dnů 20.11. – 3.12. 2018. Nechodil ven z důvodu strachu infekce. Po RTG vyšetření plic byla viditelná regrese ložisek v levé plicí. Pacient dále chodil na pravidelné kontroly. Na kontrolních vyšetřeních byl stav pacienta převážně stejný, velikost ložisek hodně kolísala. Z počátku byla viditelná jejich regrese, ale později došlo k jejich opětovné progresi v jiné oblasti levé plicí.

10.6. 2020 se dostavil pacient na vyšetření PET/CT s FDG na kontrolu stavu po ozáření a kontrolu nově objevených ložisek. Oproti CT z 6.4.2020 byly v místě původních infiltrátů v levém horním plicním laloku pouze reziduální změny, bez přesvědčivých FDG akumulujících nádorových změn. Zároveň byly viditelné postradiační změny v levé plicí. Obraz byl bez známek FDG akumulující generalizace nádorového onemocnění.

Obrázek 30: 10.6.2020 pacient 2 - PET/CT vyšetření



Zdroj: archiv FN Plzeň

Na CT vyšetření ze 12.10.2020 zobrazilo zlepšení předchozího nálezu při srovnání s vyšetřením ze dne 10.6. 2020.

25.2. 2021 se dostavil pacient na kontrolní RTG plic. Plíce byly rozvinuty a bylo viditelné jemné zvýraznění rezidua po tumoru. Nebyl zpozorován žádný významný rozvoj.

15.11. 2021 podstoupil pacient celotělovou scintigrafií skeletu s  $^{99m}\text{TcMDP}$  k posouzení nálezu na 3. žebro vlevo, eventuálně jiných částí skelet na meta postižení. V uvedených oblastech nebyla pozorována zvýšená akumulace radiofarmaka. Skelet byl bez signifikantních metabolických aktivit.

Poslední záznam o pacientovi byl ze dne 7.3. 2022. Pacient byl hospitalizován z důvodu chronického respiračního selhání. U pacienta došlo k zástavě dechu ve spánku. Z těchto důvodů byla pacientovi doporučena domácí oxygenoterapie.

## Závěr:

Pacient s CHOPN se dostavil na vyšetření pro verifikaci periferního tumoru plic objevený na preventivním RTG plic. 14.8. 2017 byl nález potvrzen. Objevené ložisko bylo dále ozářeno technikou CyberKnife v Ostravě ve dnech 18. – 20. 10. 2017. Následně pacient absolvoval pravidelné kontrolní prohlídky, kde byla pozorovaná regrese ložiska a byly zobrazeny postradiační změny. Na dalších prohlídkách se pacient cítil většinou subjektivně v pořádku s komplikacemi dýchání jen při námaze, ale zobrazovací metody RTG, CT a PET/CT ukazovaly metastatická ložiska v levé plíci. U ložisek často docházelo k regresi až vymizení a výjimečné progresi v jiných oblastech. V posledním záznamu ze dne 7.3. 2022 byl pacient hospitalizován z důvodu respiračního selhání a dostal doporučení na domácí oxygenoterapii.

### 9.3 Kazuistika 3

Muž, 72 let

Poprvé se nemocný dostavil dne 8.9.2010 na vyšetření do ambulance pacient kvůli rotačním závratím a problémům s rovnováhou. Kvůli vyloučení čerstvých ložiskových změn byl odeslán na CT mozku bez kontrastní látky. CT neprokázalo krváčení ani jiné expanzivně se chovající ložisko. Měsíc poté se pacient na ambulanci dostavil znovu, opět pro vertigo. Bylo provedeno sono, které neprokázalo žádné změny a doporučena stávající medikace a kontrola za 1 rok, Po dohodě s pacientem bylo objednáno kontrolní CT. Dne 7.2.2012 se pacient dostavil na kontrolu, výsledky oproti poslednímu vyšetření bez progresu. Kontrolní vyšetření za 1-2 roky.

Anamnéza:

Pacient do zkoumaného období měl na drobnou ischemii, arteriální hypertenzi, dyslipidemii a podstoupil karotickou mikroendarterektomii. Rodinná anamnéza pacienta neobsahovala žádná významná spojení s nemocí. Pacient užíval léky na bolest, snížení tlaku, na snížení napětí svalové stěny cév a na prevenci kardiovaskulárního onemocnění.

Dne 19.3.2013 byla provedena celotělová scintigrafie skeletu  $^{99m}\text{TcMDP}$ . Vyšetření neprokázalo signifikantní ložiska patologického metabolického obratu, metabolické změny byly spíše degenerativního původu. Nález ve střední TH páteři byl doporučen ke kontrole za 6 měsíců.

V dubnu 2013 bylo u pacienta provedeno CT břicha a pánve a MR pánve. Vyšetření odhalilo patrný hyposignální útvar o periferní zóně prostaty vpravo, dále hypersignální ložisko s podezřením na hemangiom, nebylo ale možné vyloučit jeho metastatický charakter. Dále bylo nalezeno dobře ohraničené ložisko před proximálním femurem, které bylo podezřelé na lipom.

28.6.2017 byla provedena kontrolní celotělová scintigrafie skeletu. Lékaři provedli celotělový planární záznam skeletu za 120 minut po aplikaci  $^{99m}\text{Tc-HDP}$  s indikací pro vyšetření karcinomu prostaty a pro porovnání s výsledkem z roku 19.3.2013. Vyšetření bylo provedeno dvoudetektorovou scintilační kamerou. Z vyšetření vyšlo najevo, že skelet byl

prostoupen četnými ložisky zvýšeného metabolického obratu, místy až splývajícími. Množství ložisek svědčilo o velmi pravděpodobné generalizaci onemocnění. K zavedené léčbě byl přidán lék Bonefos.

Obrázek 8: 28.6.2018 pacient 3 - SPECT vyšetření



Zdroj: archiv FN Plzeň

6.9.2017 se nemocný se dostavil na kontrolu. Po novém medikamentu Bonefos měl zažívací obtíže, pociťoval bolest svalů a trpěl nadýmáním. Jiné bolesti negoval. Na následující kontrole 15.9. byla nahrazena léčba Bonefosem léčbou s aplikací Eligard 22,5 s.c. + ev. X Geva dle laboratoře. Na kontrole následující týden se pacient cítil dobře bez větších potíží, navrátila se mu chuť k jídlu, nehubnul a zažívací potíže po vysazení Bonefosu ustoupily. V tento den a v následujících dvou měsících byl aplikován Eligard 22,5 s.c. a XGeva amp. s.c. a PSA.

V období říjen – prosinec 2017 navštěvoval pacient ambulanci kvůli pravidelným kontrolám a aplikaci medikamentů. Pacient byl v celkově dobrém stavu, bez potíží, cítil se celkem dobře, zažívací potíže už neměl. Chrup nemocného byl v pořádku, žádné otoky. Postupně se mu ale zvedaly hodnoty nádorových markerů PSA z 98,46 na 552 ug/l. Vzhledem k progresi PSA bylo následující návštěvu ambulance navrženo zahájení specializované péče s novou látkou XTANDI.

8.1.2018 byla provedena celotělová scintigrafie skeletu  $^{99m}\text{TcMDP}$ . Indikací pro vyšetření bylo posouzení vývoje nálezu. Byl proveden celotělový planární záznam skeletu za 135 min. po aplikaci  $^{99m}\text{Tc-HDP}$  (oxidronát). Vyšetření zobrazilo skelet s nižší intenzitou aktivity oproti pozadí s vícečetnými fokálními zvýšeními v minule uvedených partiích. Některá ložiska se výrazně zmenšila a snížila svoji intenzitu (i o polovinu) ale objevily se i nové fokusy.

Obrázek 9: 8.1.2018 pacient 3 - SPECT vyšetření



Zdroj: archiv FN Plzeň

12.1.2018 pacient se dostavil k aplikaci léčby. Je celkem bez potíží, cítí se celkem dobře, nález beze změn.

25.1.2018 podstoupil pacient vyšetření PET/CT s  $^{68}\text{Ga-PSMA-11}$ . Vyšetření potvrdilo mnohočetná uzlinová a kostní akumulující disseinace nádorového onemocnění s vysokou úrovní vazby PSMA ligandu. V porovnání s provedenou scintigrafií skeletu byla viditelná progresse kostního postižení.

8.2.2018 a 15.3.2018 proběhla další pravidelná návštěva ambulance. Pacientovi byly aplikovány XGeva + Xtandi (4tobolky). Pacient si v druhém termínu stěžoval na přetrvávající bolesti dolních končetin, zejména v levém stehnu. Na úlevu bolesti podán Diclofenac a Ketonal.



Stejná léčba proběhla i 10.5.2018. Krevní testy ukázaly mírně zvýšený cukr a vápník. 7.6.2018 k aplikaci XTandi a XGeva přidán i Eligard 22,5mg. Vzhledem k přetrvávajícím bolestem dolních končetin pacientovi přidán Fentalis, s doporučením na výměnu po 3 dnech za Ketonal.

28.6.2018 proběhla kontrola v ambulanci. Nádorové markery u pacienta klesly na 10,52 ug/l. a bolesti nohou se zmírnily. Aplikovaná léčba zůstala beze změny : XGeva + Xtandi. Pacient se subjektivně cítí v celkově dobrém stavu. Na následující kontrole 2.8.2018 se pacient cítil spokojený, schopen i těžší práce. Léčba beze změny i následující 2 návštěvy ambulance. Při kontrole 30.8.2018 byly kontrolovány s nepatrným vzrůstem.

12.10.2018 bylo u pacienta provedeno vyšetření PET/CT trupu s apl. 18F-fluorocholinu za účelem posouzení efektu terapie. Vyšetření potvrdilo metabolicky aktivní fokus vpravo v přechodové zóně prostaty a mnohočetné metastatické postižení skeletu. Pouze některé z metastáz vykazovaly zvýšený obrat farmaka. Byly viditelné uzliny v retroperitoneu a v pánvi.

Další pravidelné návštěvy s aplikací medikamentů absolvoval pacient i 25.10.2018, 22.11.2018 a 20.12.2018. Subjektivní stav pacienta byl stále dobrý, i objektivně se nacházel v celkem dobrém stavu a neměnnými nádorovými markery.

14.3.2019 nádorové markery S-pro PSA opět vyskočily na 249,4ug/l. Dle názoru lékařů se mohlo jednat o kolísání před aplikací další dávky Eligardu, proto se v zavedené terapii pokračovalo.

3.5.2019 absolvoval nemocný vyšetření PET/CT s apl. 18F-fluorocholinu. Vyšetření ukázalo patrnou parciální regresi velikosti i metabolické aktivity metabolicky aktivního fokusu v přechodové zóně prostaty vpravo. Mnohočetné metastatické postižení skeletu ale přetrvávalo. Některé metastázy aktivitu snížily, jiné zvýšily. Stále přetrvává i metab. aktivita v uzlinách retroperitonea a pánve. Nález tedy stabilní a v zavedené terapii se dále pokračuje.

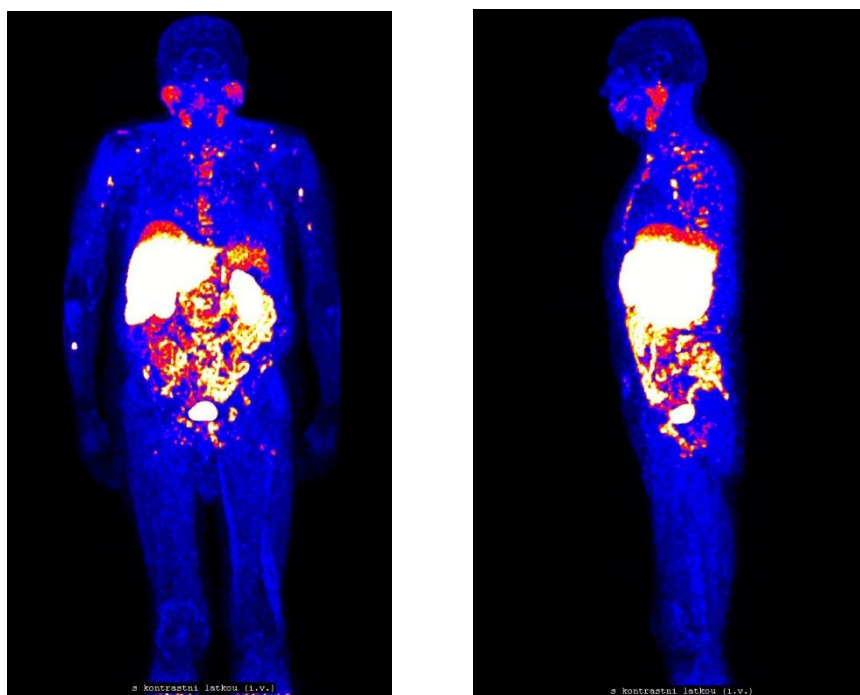
Pacient absolvoval dne 17.10.2019 vyšetření PET/CT s aplikací 18F-fluorocholinu. Výsledky ukázaly radiofarmakum akumulující uzliny vzhledu metastáz CA prostaty patrné nad i pod úrovní bránice. Proti minulému vyšetření se zvýšil počet aktivních uzlin a původně patrné uzliny zvýšily akumulaci. Vzhledem k progresi nálezu a opět zvýšeným hodnotám

nádorových markerů S-PSA 63,24ug/l a S-pro PSA 644,2 ng/l byla změněna terapie na extracmustin.

Pacient se na následujících kontrolách cítí subjektivně dobře, ale na kontrole 16.1.2020 hladina PSA opět stoupla.

23.1.2020 podstoupil pacient vyšetření PET/CT s apl. 18F-fluorocholinu. Výsledek vyšetření byl podstatné změny, většina uzlin mírně snížila akumulaci radiofarmaka. Dle RECIST splňuje onemocnění kritéria pro stabilní onemocnění.

*Obrázek 10 : 23.1. 2020 pacient 3 - PET/CT vyšetření*



*Zdroj: archiv FN Plzeň*

30.7.2020 se dostavil pacient na kontrolu a terapii. Subjektivně byl celkově unavený, zhubnul a měl sníženou chuť k jídlu. Vzhledem k stálé progresi PSA byla dosavadní terapie ukončena a lékaři navrhli novou terapii Androcur. XGeva pro hypokalcemii zastavena, ale vzhledem k normokalcémii později obnovena.

Další kontrola proběhla dne 24.9.2020, kde pacient potvrdil, že za dobu posledních 3 měsíců zhubnul. V době mezi posledními dvěma kontrolami zhubl cca 8 kg, neměl chuť k jídlu a cítil se unavený. Ostatní příznaky byly v pořádku. Pro vyřešení nechutenství byla

nemocnému doporučena kontrola v nutriční poradně. Při dalších pravidelných měsíčních kontrolách terapie pokračuje, ale pacient se cítí stále slabý, unavený, dušný při námaze. Jinak bez dalších potíží.

#### Závěr:

Při prvním vyšetření SPECT v březnu 2013 bylo patrné nehomogenní rozložení radiofarmak v TH páteři. Kontrolní vyšetření v červnu 2017, jehož indikací bylo podezření na karcinom prostaty, potvrdilo nejen nález na prostatě, ale také vícečetná ložiska ve skeletu. U pacienta byla nasazena léčba XGevou, aplikace pravidelně cca po měsíci. Stav pacienta byl průběžně kontrolován pomocí zobrazovacích metod. Za dobu od počátku léčby do konce roku 2020 bylo provedeno ještě jedno SPECT vyšetření a celkem 5 PET/CT vyšetření. I přes veškerou snahu lékařů PET/CT vyšetření většinou prokázala mírnou progresi onemocnění. Z toho důvodu byla terapie několikrát změněna a doplněna o nové medikamenty. Podle poslední zprávy, ze dne 19.11.2020, pacient začal v posledních měsících hubnout, cítil se unavený a dušný.

## DISKUZE

Tato kapitola se věnuje shrnutí teoretické části práce a vytyčeným cílům a předpokladům, které jsme si na začátku práce stanovili. K dosažení cílů a potvrzení nebo vyvrácení předpokladů jsme zvolili kombinaci kvantitativní a kvalitativní formy výzkumu v podobě statistiky, kde jsme zkoumali časové období 2018-2022. Statistiku jsme doplnili 3 kazuistikami různých nádorových onemocnění.

V teoretické části byly popsány metody používané na oddělení nukleární medicíny pro zobrazení nádorových onemocnění. Záměrem těchto vybraných kapitol bylo seznámení čtenáře s principem tvorby obrazu a metod určených pro zobrazení tumorózní tkáně. Teoretická část byla rozdělena do 4 kapitol. V první kapitole jsou popsány základní zobrazovací metody a stroje s jejich individuálním principem zobrazování. V druhé kapitole jsou uvedena radiofarmaka, která jsou nedílnou součástí každého vyšetření na oddělení nukleární medicíny. Další kapitola se zaměřuje na základní popis nádorových onemocnění a jejich prevencí. Poslední a nejrozsáhlejší kapitola je určena specifickým metodám používajícím radiofarmaka a jejich principu šíření v těle pacienta. Tuto kapitolu považujeme za nejpodstatnější z celé práce. Souhrn metod představuje informativní přehled pro data zpracované v praktické části práce.

Druhá část práce je praktická. Předem jsme si stanovili 3 výzkumné otázky a naše s nimi související 3 předpoklady. Cílem první otázky bylo zjistit, která metoda je na oddělení nukleární medicíny ve FN v Plzni nejpoužívanější k zobrazení nádorových onemocnění. Tato otázka měla vyzdvihnout metodu, která zdravotníkům podává informace o stavu pacienta jiným než konvenčním způsobem, přesto se spolehlivým výsledkem. Metody v nukleární medicíně jsou totiž velmi citlivé a mohou objevit ložisko dříve než konvenční zobrazovací metody. Dle nasbíraných dat v letech 2018–2022 proběhlo na oddělení nukleární medicíny za pomoci zobrazovacích metod SPECT, PET/CT a PET/MRI celkem 26 884 vyšetření nádorového onemocnění. Celková četnost vyšetření kolísala jen mírně, což ukazuje tabulka č. 2. Vysledovali jsme, že nejčastěji využívanou metodou k zobrazení nádorových onemocnění na oddělení NM v Plzni je jednoznačně PET/CT, a to s počtem 13 840 vyšetření a po celou zkoumanou dobu 5 let mělo ze všech metod nejvyšší podíl na vyšetřeních viz graf č. 4. Důvodů, proč právě metoda PET/CT je nejpoužívanější metodou, je více. Hlavní předností je lepší zobrazení vyšetřovaného úseku díky CT systému, a v kombinaci s PET pak dostáváme funkční i anatomické informace s vysokou přesností.

Dále je metoda nenáročná pro pacienta díky kratší době vyšetření oproti ostatním metodám, např. PET/MR, zároveň nepředstavuje pro pacienta významné riziko z hlediska radiační zátěže, neboť aplikované dávky jsou nízké. Tímto se potvrzuje náš předpoklad, že nejčastější vyšetřovací metodou na oddělení nukleární medicíny ve FN v Plzni je PET/CT. Druhou nejčastější metodou bylo PET/MRI s celkovou četností 8 823 vyšetření. V průběhu let je četnost vyšetření relativně stabilní, ale v roce 2022 dochází k výraznému snížení od června do konce sledovaného období. Méně výrazný pokles byl zpozorován v roce 2020, ale v následujícím roce došlo k opětovnému nárůstu. Z toho důvodu lze předpokládat, že v roce 2023 dojde k vzestupu množství vyšetření. Nejméně používanou metodou byla metoda SPECT s četností 4 221 vyšetření za sledované období. Při srovnávání výsledků dat byl viditelný mírný pokles počtu vyšetření s každým rokem. Domníváme se, že pro případy nádorových onemocnění je metoda SPECT málo specifická a nemá tak dostatečnou výpovědní hodnotu, jako metody výše uvedené. V případě všech vyšetření došlo v průběhu každého roku k poklesu četnosti vyšetření v letních měsících a v prosinci, což přisuzujeme období dovolených, což je viditelné v grafech č. 1-3.

Cílem druhé otázky bylo zjistit, která nádorová onemocnění jsou na oddělení nukleární medicíny ve FN v Plzni nejčastěji zobrazována. Všeobecně je známo, a statistiky na webové stránce [www.uzis.cz](http://www.uzis.cz) to potvrzují, že karcinom prostaty u mužů a karcinom prsu u žen představují jedno z nejvyšších rizik. Jako jejich prevence byla proto zavedena screeningová vyšetření za účelem časného objevení ložiska. Na základě tohoto faktu jsme očekávali tyto zmíněné skupiny nádorů jako nejčastěji zobrazované. Zároveň jsme se domnívali, pravděpodobně i díky tomu, že jsem žena a jsem informovaná o, že karcinom prsu je častý, a proto je třeba chodit od 45 let na pravidelné kontroly, že nejčastěji zobrazovaným bude karcinom prsu. Také kouření způsobuje jeden z nejčastějších nádorů, a to karcinom plic. Proto jsme i u něj čekali vysoké zastoupení. Často podceňovaný je negativní dopad slunečního záření na lidskou kůži a s tím související zhoubný melanom kůže. Ve zkoumaných letech bylo provedeno na oddělení NM v Plzni 4 398 vyšetření karcinomu prostaty, o něco méně, celkem 3 491, vyšetření karcinomu prsu, oproti tomu pouze 903 případů karcinomu plic, 727 případů karcinomu ledvin, 720 vyšetření karcinomu rekta, 595 vyšetření karcinomu vaječnicků a 321 vyšetření zhoubného melanomu kůže. Z uvedených čísel vyplývá, že nejčastěji zobrazovaným nádorem je karcinom prostaty. Vyšetření bylo nejčastěji prováděno metodou PET/CT (1 750) a méně často metodou PET/MRI (1 500) a metodou SPECT (1 148) nejméně. Ve srovnání s tím, byl karcinom prsu

zobrazován nejčastěji metodou SPECT (2 325) a výrazně méně ostatními metodami (PET/CT – 740, PET/MRI – 426). Domníváme se, že vysoká četnost zobrazování metodou SPECT je ovlivněna často prováděným vyšetřením sentinelových lymfatických uzlin. Tímto byl vyvrácen náš druhý předpoklad, že nejčastěji vyšetřovaným nádorem je karcinom prsu

Naším posledním cílem bylo zjistit, zda byla četnost vyšetření na oddělení nukleární medicíny ve FN v Plzni ovlivněna epidemií COVID-19. V roce 2020, kdy epidemie vypukla v ČR, byla zpřísněna hygienická opatření. Zdravotnická zařízení se potýkala s kapacitními problémy a docházelo k posunu neakutních výkonů a vyšetření. Zavedená opatření budila v občanech obavy z kontaktu s nemocí v nemocnici. Z těchto důvodů jsme předpokládali, že se situace odrazí na počtu vyšetření ve formě snížení četnosti. Jak vyplývá z grafů 1-4 v části Statistika, zavedená opatření situaci pravděpodobně mírně ovlivnila. V roce 2020 došlo ke snížení četnosti na 5 148 oproti roku 2019, kde byl počet vyšetření 5 636. V následujícím roce 2021 došlo k mírnému zvýšení (5 322), ale v roce 2022 četnost opět poklesla (5 042). Domníváme se, že četnost v posledním roce je ovlivněna výrazným poklesem u vyšetření PET/MRI, kde došlo k poklesu počtu vyšetření z 1 946 na počet 1 594. Příčina tohoto snížení je nejasná.

Druhá polovina praktické části se věnuje kazuistikám. Vzhledem k tématu bakalářské práce jsme se zaměřili na pacienty, kteří podstoupili vyšetření pomocí zobrazovacích metod SPECT, PET/CT nebo PET/MRI. Zpracovali jsme celkem 3 kazuistiky. Vybrali jsme 2 mužské pacienty, a to s karcinomem prostaty a karcinomem plic a 1 ženu, pacientku s diagnostikovaným karcinomem vaječníku.

První pacientka s karcinomem vaječníků docházela na vyšetření pro kontrolu fáze onemocnění a pro zobrazení možných komplikací po chemoterapii. Podstoupila jedno vyšetření PET/CT a 3 vyšetření PET/MR. Na vyšetření nebyla viditelná významná akumulace FDG a výsledek byl tedy bez průkazu recidivy či generalizace maligního procesu. Druhý pacient docházel na vyšetření s z počátku neverifikovaným karcinomem plic. Ložisko bylo metodou PET/CT potvrzeno. Vývoj stavu ložiska byl sledován rovněž touto metodou a v průběhu let ověřovalo metastatickou progresi a regresi starších i nově objevených ložisek. Třetí pacient s karcinomem prostaty podstoupil tři SPECT vyšetření a čtyři vyšetření metodou PET/CT. Pacientův stav se konstantně měnil a často zhoršoval. Zobrazovací metody v tomto případě sloužily hlavně k monitoringu stavu pacienta po změně léčby, ke které došlo několikrát.

Kazuistiky demonstrují praktické použití hybridních zobrazovacích metod v diagnostice, jejich roli v zobrazování rozsahu postižení a hodnocení efektu léčebných terapií. Z kazuistik je patrné, že pacienti s onkologickou diagnózou docházeli na vyšetření oddělení nukleární medicíny nejčastěji pro kontrolu jejich stavu nebo pro evaluaci zvolené léčby. Opakovaná vyšetření u jednoho pacienta mohou zkreslovat výsledky statistické část. Uvedená čísla tedy odpovídají pouze počtu vyšetření a nikoli počtu pacientů.

## ZÁVĚR

V této bakalářské práci bylo hlavním cílem znázornit trendy zobrazovacích metod na oddělení nukleární medicíny ve FN Plzeň. Zobrazovací metody jako SPECT, PET/CT a MET/MRI představují jedny z nejnovějších technologií a jejich senzitivita zaručuje jejich spolehlivost při výběru diagnostické metody.

V teoretické části byla popsána technika užívaná při zobrazování těmito metodami. Po této kapitole následovala radiofarmaka. Dále se v této části věnujeme stručnému popisu nádorů, jejich klasifikaci a prevenci. Nejpodstatnější částí v této polovině byla kapitola popisující specifické metody užívané na oddělení nukleární medicíny k zobrazení nádorů.

Hlavním cílem práce bylo zobrazení trendů zobrazovacích metod na oddělení nukleární medicíny vybraného pracoviště. V praktické části byly proto stanoveny tři výzkumné otázky a k nim jsme přiřadili tři předpoklady. Z výsledků našeho zkoumání vyplynulo, že v Nemocnici FN Plzeň je nejpoužívanější metodou pro zobrazení nádorů PET/CT a tím byl potvrzen náš první předpoklad. Nejčastěji zobrazovaným nádorem je karcinom prostaty, což nám vyvrátilo druhý předpoklad. Poslední předpoklad byl dle našeho názoru vyvrácen, jelikož četnost vyšetření v době epidemie COVID-19 nekolísala nijak razantně.

Práce může přispět jako informační zdroj pro širokou veřejnost o metodách používaných k zobrazení karcinomů za účelem kontroly nebo diagnostiky a k popisu radiofarmak užívaných k zobrazení specifických skupin nádorů.



## SEZNAM LITERATURY

1. **Kupka, Karel, Kubinyl, Josef a Šámal, Martin.** *Nukleární medicína. 6. vydání.* Praha : P3K, 2015. 978-80-87343-54-8.
2. **Malán, Alexandr.** *Vybrané kapitoly z nukleární medicíny.* Plzeň : KC Solid spol s.r.o., 2013.
3. **Bakos, Karel a kolektiv.** *Nukleární medicína.* Praha : Avicenum, 1985.
4. **Urbánek, Jan a Martin, Šámal.** *Nukleární medicína.* Praha : Gentiana Jilemnice, 2000. 80-902133-9-1.
5. **Pavel, Koranda.** *Nukleární medicína.* Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. 978-80-244-4013.
6. **KUBINYI, Jozef, Jozef SABOL a Andrej VONDRÁK.** *Principy radiačniochran v nukleární medicíně.* Praha : Grada Publishing, 2018. 978-80-271-0168-9.
7. **Petruželka, Luboš a Konopásek, Bohuslav.** *Klinická onkologie.* Praha : Univerzita Karlova v Praze - Nakladatelství Karolinum, 2003. 80-246-0395-0.
8. **Skiografie.** *Wikiskripta.* [Online] 28. 11 2018. [Citace: 10. 2 2022.] <https://www.wikiskripta.eu/w/Skiografie>.
9. **Ultrazvuk/Diagnostické aplikace ultrazvuku.** *Wikiskripta.* [Online] 28. 9 2020. [Citace: 10. 2 2022.] [https://www.wikiskripta.eu/w/Ultrazvuk/Diagnostick%C3%A9\\_aplikace\\_ultrazvuku](https://www.wikiskripta.eu/w/Ultrazvuk/Diagnostick%C3%A9_aplikace_ultrazvuku).
10. **Oehr, Peter, Hans, Biersack Jurgen a Coleman, Edward.** *PET and PET-CT in Oncology.* New York : Springer, 2014. 3-540-43125-x.
11. **Taylor, Andrew, Schuster, David a Alazraki, Naomi.** *A clinician's guide to nuclear medicine.* Reston : Society of Nuclear Medicine, 2003. 0-932004-72-5.
12. **Ing. Kateřina Kontrová, Ph.D.** 18F-fluorid sodný. *RadioMedic.* [Online] RadioMedic s.r.o. [Citace: 26. 2 2023.] <https://www.radiomedic.cz/odborne-info/18fnaf/>.
13. **FLUOROCHOLINE (18F) UJV.** *Státní ústav pro kontrolu léčiv.* [Online] [Citace: 26. 2 2023.] <https://www.sukl.cz/modules/medication/detail.php?code=0228049&tab=texts>.
14. **Mysliveček, Miroslav, Koranda, Pavel a Hušák, Václav.** *Nukleární medicína v diagnostice nádorů a zánětů.* Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2002. 80-244-0509-1.

15. Katalog kitů. *KC Solid*. [Online] [Citace: 1. 3 2023.]  
[http://kcsolid.cz/zdravotnictvi/nuklearni\\_medicina/katalog-kity.php](http://kcsolid.cz/zdravotnictvi/nuklearni_medicina/katalog-kity.php).
16. 68Ga-DOTATOC. *ProLékaře*. [Online] [Citace: 3. 3 2023.]  
<https://www.prolekare.cz/casopisy/ceska-slovenska-farmacie/2021-4-10/68ga-dotatoc-128258>.
17. Koranda, Pavel. *Nukleární medicína*. Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2014. 978-80-244-4013..
18. SOMAKIT. *Státní ústav pro kontrolu léčiv*. [Online] [Citace: 3. 3 2023.]  
<https://www.sukl.cz/modules/medication/detail.php?code=0219224&tab=texts>.

## **SEZNAM PŘÍLOH**

Příloha 1: obrázková dokumentace.....	286
Příloha 2: Povolení sběru dat z FN Plzeň.....	447

# PŘÍLOHY

## Příloha 1: obrázková dokumentace

*Obrázek 11: SPECT*



Zdroj: <https://5.imimg.com/data5/GL/GK/UZ/SELLER-2784717/spect-ct-scanner-500x500.JPG>

*Obrázek 12: PET/CT*



Zdroj: <https://nemocnicenovyjicin.agel.cz/pracoviste/oddeleni/nuklearnimedcina/fotogalerie/pet.jpg>

## Příloha 2 – Povolení o sběru dat



### FAKULTNÍ NEMOCNICE PLZEŇ

Útvar náměstka pro vnější vztahy a spolupráci s LF

Edvarda Beneše 13, 305 99 Plzeň - Bory  
atej Svobody 80, 304 60 Plzeň - Lochotín  
IČO 00669806 tel.: 377 401 111, 377 103 111

Vážená paní  
Lenka Martynková  
Studentka oboru Radiologický asistent  
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 metodách na *Klinice zobrazovacích metod (KZM) FN Plzeň*, v souvislosti s vypracováním Vaší bakalářské práce s názvem „*Zobrazení tumorózních procesů 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 MUDr. Alexandra Malána, 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 spolupráci s Vámi zaměstnanci považovali jako újmu. Účast zdravotnických pracovníků na Vašem šetření je dobrovolná.

Přeji Vám hodně úspěchů při studiu.

Mgr. Bc. Světlušě Chabrová  
Manažerka pro vzdělávání nelékařů  
Útvar náměstkyně pro vnější vztahy a spolupráci s LF  
Fakultní nemocnice Plzeň  
Edvarda Beneše 1128/13, 305 99 Plzeň  
Tel: 377 401 663  
E-mail: [chabrovas@fnplzen.cz](mailto:chabrovas@fnplzen.cz)

10. 11. 2022