

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLOMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Eliška Jakubíková

Diagnostické metody nukleární medicíny v gastroenterologii

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Ing. Bc. Jiří Horalík, DiS.

Olomouc 2024

Čestné prohlášení

Já, níže podepsaná, tímto čestně prohlašuji, že jsem bakalářskou práci psala samostatně a použila jen uvedení bibliografické a elektronické zdroje.

V Olomouci 13. dubna 2024

Eliška Jakubíková

Poděkování

Ráda bych poděkovala Ing. Bc. Jiřímu Horalíkovi, DiS. za vedení mé bakalářské práce, cenné rady a věcné připomínky, za milý přístup a trpělivost. Velký dík náleží také kolektivu Kliniky nukleární medicíny FNOL za ochotu a vstřícnost při zjišťování údajů.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Přehledová bakalářská práce

Téma práce: Diagnostické metody nukleární medicíny v gastroenterologii

Název práce v ČJ: Diagnostické metody nukleární medicíny v gastroenterologii

Název práce v AJ: Diagnostic methods of nuclear medicine in gastroenterology

Datum zadání: 2023-11-14

Datum odevzdání: 2024-04-13

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci

Fakulta zdravotnických věd

Ústav radiologických metod

Autor práce: Jakubíková Eliška

Vedoucí práce: Ing. Bc. Jiří Horalík, DiS.

Oponent práce: Ing. Bc. Petr Vybíral, DiS.

Abstrakt v ČJ: Předložená přehledová bakalářská práce se zabývá diagnostickými metodami nukleární medicíny v oblasti zažívacího systému. Práce popisuje základní principy nukleární medicíny a radiální ochrany. V dalších částech se věnuje patofyziologii GIT a představuje i jiné diagnostické zobrazovací techniky. Nejrozsáhlejší část práce zahrnuje využití PET/CT a dalších scintigrafických metod jako neinvazivních a citlivých prostředků pro diagnostiku nádorů a zánětů trávicího traktu, poruch motility jícnu a žaludku, malabsorpce žlučových kyselin, detekce Meckelova divertiklu, onemocnění jater, lokalizace krvácení a dalších patologií GIT, včetně jejich indikace, přípravy před vyšetřením a samotného průběhu. Zpracované informace jsou dohledány z odborné literatury a vědeckých databází. Výsledky této práce mohou sloužit jako výukový materiál pro studenty a přispět k lepšímu porozumění nukleárně-medicínských technik v diagnostice gastroenterologických onemocnění.

Abstrakt v AJ: The presented review Bachelor's thesis deals with diagnostic methods of nuclear medicine in the digestive system. The thesis describes the basic principles of nuclear medicine and radiation protection. In the following sections, it discusses the pathophysiology of the GIT and introduces other diagnostic imaging techniques. The most extensive part of the thesis covers the use of PET/CT and other scintigraphic methods as non-invasive and sensitive

means for the diagnosis of tumors and inflammation of the digestive tract, disorders of esophageal and gastric motility, detection of Meckel's diverticulum, liver disease, localization of hemorrhage and other GIT diseases, including their indication, preparation before the examination and the actual course. The processed information is retrieved from the literature and scientific databases. The results of this work can serve as teaching material for students and contribute to a better understanding of nuclear medicine techniques in the diagnosis of gastroenterological diseases.

Klíčová slova v ČJ: ^{18}F -FDG, ^{68}Ga -DOTA-TOC, gastroenterologie, gastroesophageální reflux, hepatobiliární systém, HYNIC-TOC, Meckelův divertikl, neuroendokrinní nádory, nukleární medicína, PET/CT, radiační ochrana, SeHCAT, vyprazdňování žaludku, záněty

Klíčová slova v AJ: ^{18}F -FDG, ^{68}Ga -DOTA-TOC, gastroenterology, gastroesophageal reflux, hepatobiliary system, HYNIC-TOC, Meckel's diverticulum, neuroendocrine tumours, nuclear medicine, PET/CT, radiation protection, SeHCAT, gastric emptying, inflammation

Rozsah práce: 54 stran

Obsah

Úvod	8
1 Popis rešeršní činnosti	10
2 Princip nukleární medicíny	11
2.1 Zobrazovací techniky NM.....	11
2.2 SPECT	12
2.3 PET.....	12
2.4 Radiofarmakum	13
3 Radiační ochrana v nukleární medicíně	16
3.1 Účinky IZ	16
3.2 Zásady radiační ochrany.....	16
3.3 RO pracovníků	17
3.4 RO pacienta	17
4 Patofyziologie zažívacího traktu	18
4.1 Nádory GIT	18
4.2 Funkční poruchy GIT	20
4.2.1 Porucha motility jícnu	20
4.2.2 Porucha motility žaludku.....	20
4.2.3 Malabsorpce žlučových kyselin	20
4.3 Další nemoci GIT	21
5 Diagnostické zobrazovací metody gastrointestinálního traktu.....	22
6 Diagnostika onemocnění zažívacího traktu metodami NM	23
6.1 Diagnostika nádorů GIT	23
6.1.1 PET/CT ¹⁸ F-FDG	23
6.1.2 PET/CT ⁶⁸ Ga- DOTA-TOC	25
6.1.3 PET/CT ¹⁸ F-DOPA.....	26
6.1.4 PET/CT ¹⁸ F-cholin	26
6.1.5 Scintigrafie ^{99m} Tc- Tektrotyd (EDDA/HYNIC-TOC).....	27
6.1.6 Scintigrafie ¹¹¹ In- OctreoScan (Pentetreotid).....	27
6.1.7 Scintigrafie ¹²³ I- MIBG	28
6.1.8 Scintigrafie ^{99m} Tc-značenými erytrocyty	28
6.2 Vyšetření polykacího aktu a detekce gastroezofageálního refluxu	29
6.3 Vyšetření evakuace žaludku	30
6.4 Průkaz ektopické žaludeční sliznice Meckelova divertiklu	32
6.5 Scintigrafie jater a sleziny	33

6.6	Dynamická hepatobiliární scintigrafie	34
6.7	Malabsorpce žlučových kyselin	36
6.8	Identifikace zánětů dutiny břišní	37
6.9	Lokalizace místa krvácení do gastrointestinálního traktu	38
6.10	Ostatní zobrazovací metody NM v GIT	39
	Závěr.....	40
	Seznam použité literatury	41
	Seznam použitých zkratk.....	48
	Seznam obrázků	51

Úvod

Nukleární medicína je lékařský obor využívající radioaktivní látky k diagnostice a léčbě patologických stavů. Po aplikaci radiofarmaka do těla pacienta a jeho distribuci lze získat informace o funkci a struktuře orgánů pomocí detekce ionizujícího záření, které emitují. Tím se vymyká klasickým radiodiagnostickým zobrazovacím metodám, které podávají informaci především o anatomii a nikoli o funkčním stavu.

Je nezbytné dbát na zásady radiační ochrany, jelikož každá aplikace radiofarmaka se sebou nese riziko ozáření jednotlivců. Zásady radiační ochrany jsou definovány v příslušných předpisech a standardech a je důležité je pečlivě dodržovat.

Patofyziologie gastrointestinálního traktu zahrnuje široké spektrum abnormalit v anatomii a fyziologii trávicího systému. Mezi hlavní patologické stavy GIT, indikované k zobrazení NM, patří nádorová onemocnění.

Diagnostika onemocnění trávicího traktu pomocí nukleární medicíny je klíčová pro detekci patologií v raných fázích a rychlé zahájení léčby. Detekce, lokalizace a hodnocení nádorů pomocí pozitronové emisní tomografie představuje jednu z nejčastějších vyšetření na NM. Pomocí radioaktivních látek sledujeme také pohyby jícnu a případné poruchy motility, stejně jako zpětný tok žaludečního obsahu do jícnu. Scintigrafie umožňuje posouzení funkce žaludku a detekci peristaltických poruch. Metody NM nám umožňují diagnostikovat malabsorpci žlučových kyselin, identifikovat přítomnost Meckelova divertiklu, lokalizovat krvácení, identifikovat problémy s játry a žlučníkem a řešit mnoho dalších patologických stavů.

Práce nabízí komplexní pohled na diagnostické možnosti v oblasti gastroenterologie a zdůrazňuje důležitost multidisciplinárního přístupu k lékařskému vyšetření pacientů s onemocněním trávicího systému.

K tvorbě bakalářské práce byly položeny následující otázky:

- Co je to nukleární medicína?
- Jaké jsou principy radiační ochrany?
- Jaké nemoci jsou indikovány k zobrazení metodami nukleární medicíny?
- Jaké jsou další zobrazovací metody k detekci patologických stavů trávicí soustavy?

- Jaké metody nukleární medicíny se využívají k diagnostice gastrointestinálního traktu? Jaké radiofarmakum je použito? Jaká je příprava před vyšetřením? Jak vyšetření probíhá?

Cílem přehledové bakalářské práce je sumarizovat dohledané poznatky týkající se diagnostických metod nukleární medicíny s cílem poskytnout ucelený pohled na jejich úlohu v moderní gastroenterologické diagnostice. Cíl práce je specifikován v dílčích cílech:

- Předložit základní informace o oboru nukleární medicíny.
- Předložit dohledané poznatky o radiační ochraně.
- Předložit dohledané poznatky o patofyziologii gastrointestinálního traktu.
- Vytvořit přehled dalších zobrazovacích metod k diagnostice onemocnění GIT.
- Vytvořit přehled metod nukleární medicíny využívaných k diagnostice chorob v gastroenterologii a sumarizovat základní informace o jednotlivých metodách.

Byla prostudována následující vstupní literatura:

- Koranda, P. (2014). *Nukleární medicína*. Univerzita Palackého v Olomouci.
- Kupka, K., Kubinyi, J., & Šámal, M. (2015). *Nukleární medicína* (6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). P3K.
- Kubinyi, J., Sabol, J., & Vondrák, A. (2018). *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Grada Publishing.
- Mettler, F. A., & Guiberteau, M. J. (2019). *Essentials of nuclear medicine and molecular imaging* (7th edition). Elsevier.

1 Popis rešeršní činnosti

VYHLEDÁVACÍ KRITÉRIA

Klíčová slova v ČJ: ^{18}F -FDG, ^{68}Ga -DOTA-TOC, gastroenterologie, gastroesophageální reflux, hepatobiliární systém, HYNIC-TOC, Meckelův divertikl, neuroendokrinní nádory, nukleární medicína, PET/CT, radiační ochrana, SeHCAT, vyprazdňování žaludku, záněty

Klíčová slova v Aj: ^{18}F -FDG, ^{68}Ga -DOTA-TOC, gastroenterology, gastroesophageal reflux, hepatobiliary systém, HYNIC-TOC, Meckel's diverticulum, neuroendocrine tumours, nuclear medicine, PET/CT, radiation protection, SeHCAT, gastric emptying, inflammation

Jazyk: český, anglický

Období: 2014-2024

Další kritéria: recenzovaná periodika, plný text



DATABÁZE: Ebsco, Web of Science, ProQuest, PubMed



VYŘAZOVACÍ KRITÉRIA

- Duplicitní články
- Nerecenzovaná periodika
- Kvalifikační práce
- Články, které neodpovídaly cílům práce



Pro tvorbu bakalářské práce bylo použito 30 dohledaných článků a 12 bibliografických zdrojů, Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky a místní Radiologické standardy kliniky NM

2 Princip nukleární medicíny

Nukleární medicína je lékařský obor, který se zabývá diagnostikou a léčbou využitím otevřených radioaktivních zářičů. Matematickým vyhodnocením lze vypočítat dynamickou funkci, perfuzi orgánu, aktivitu receptorů a získat křivky distribuce radiofarmaka v závislosti na čase. Proto jsou často metody NM označovány jako funkční zobrazování. Hybridní metody NM podávají informace nejen o funkci, ale také anatomii orgánu (Kraft & Havel, 2020).

2.1 Zobrazovací techniky NM

Vyšetření na klinice nukleární medicíny lze rozdělit na dvě odvětví. „In vivo“ diagnostika spočívá v aplikaci radiofarmaka přímo do těla pacienta, nejčastěji intravenózní cestou. Radiofarmakum při své přeměně vyzařuje elektromagnetické gama záření, jehož distribuce v těle pacienta je zachycena vnějšími detektory. Naproti tomu při vyšetření „in vitro“ pacient do kontaktu s radioaktivní látkou vůbec nepřichází, jelikož se pracuje pouze se vzorkem jeho tělní tekutiny (Koranda, 2014).

Z časového hlediska dělíme scintigrafii na statickou (jeden scintigram v určitém časovém intervalu) a dynamickou (soubor scintigramů zobrazující distribuci RF v závislosti na čase).

Z hlediska způsobu zobrazování dělíme scintigrafii na planární a tomografickou. Planární zobrazení zachycuje dvourozměrný obraz zkoumané oblasti a postrádá informace o hloubce. Tomografická scintigrafie podává podrobnější trojrozměrné informace, které jsou zprostředkovány pomocí rekonstrukce jednotlivých řezů jednofotonové emisní počítačové tomografie (SPECT) nebo pozitronové emisní tomografie (PET) (Šabata, 2019).

Významným pokrokem je tzv. anatomicko-funkční zobrazení, tedy kombinace SPECT nebo PET kamer se zobrazujícími zařízeními s vysokým rozlišením jako je výpočetní tomografie nebo magnetická rezonance. Hybridní zobrazování pomocí SPECT/CT, SPECT/MR, PET/CT nebo PET/MR představuje jeden z nejdokonalejších a nejvýkonnějších způsobů vizualizace fyziologie pacienta (Kraft & Havel, 2020; Kupka, 2015).

2.2 SPECT

Na rozdíl od CT, kdy obraz vzniká transmisí záření a jeho rozdílnou absorpcí v tkáních, je jednofotonová emisní tomografie založena na emisi záření vyšetřovaným, jak již z názvu vypovídá. Zdrojem záření je radionuklid v těle pacienta. Část záření se v tkáních absorbuje a část záření, které tělem proniká umožňuje detekci scintilační kamerou (Šabata, 2019). Základem aparatury jsou scintilační kamery, které během vyšetření kolem pacienta po malých úhlech rotují. Počítačovou rekonstrukcí je vytvořen trojrozměrný obraz distribuce radiofarmaka v těle (Kraft & Havel, 2020).

Scintilační detektor

Emitované gama paprsky nejprve pronikají kolimátory, které pracují jako filtr, propouští ke krystalu pouze fotony letící v žádaném směru. Čím vyšší energie fotonů, tím je nutné mít silnější olovněné přepážky, to však působí horší citlivost i rozlišení obrazu. Nevhodně zvolený kolimátor je odpovědný za špatný kontrast, větší množství šumu nebo horší prostorové rozlišení (Koranda, 2014). Po průchodu kolimátorem dopadá paprsek na anorganický scintilační krystal, nejčastěji krystal jodidu sodného aktivovaného thalliem. Právě thallium způsobuje luminiscenční schopnost krystalu, kdy dochází k přeměně ionizujícího záření na světelný záblesk. Počet scintilací krystalu je přímo úměrný energii gama fotonu. Mezi krystalem a fotonásobičem se nachází světlovodivá vrstva, silikonový olej, silikonová vazelína či kaučuk. Fotonásobič je vakuová skleněná trubice, která převádí záblesky světla na elektrický impuls. Na vstupní straně fotonásobiče se nachází fotokatoda, na které se prostřednictvím fotoelektrického jevu uvolňují elektrony. Soustavou 8-12 kladně nabitých dynod jsou elektrickým napětím urychleny. Na anodu tak dopadne po znásobení 10^5 až 10^8 elektronů, které lze měřit. Impulzy poté prochází nejprve zesilovačem a následně analyzátozem impulsu. Analyzátor vyhodnocuje pomocí diskriminátorů a antikoincidenčního obvodu amplitudu impulsů a propouští pouze ty, které leží v tzv. okénku mezi horní a dolní hladinou diskriminátoru. Po analyzátoru nastupuje měření četnosti impulsů a umístění polohy do matice obrazu (Šabata, 2019; Kupka, 2015).

2.3 PET

Pozitron, produkt β^+ rozpadu, je antičásticí elektronu (má stejnou hmotnost, ale opačný náboj). Dráha uvolněného pozitronu je však velmi krátká. Na konci své dráhy letu prostředím se spojí s volným elektronem, přičemž obě částice zanikají a svou energii vyzáří ve formě dvou

opačně letících fotonů elektromagnetického záření o energii 511 keV. Tento děj přeměny hmoty na elektromagnetické záření nazýváme anihilace. Nejčastějším β^+ zářičem, který produkuje pozitrony je ^{18}F (Kubinyi, 2018). PET je zobrazovací metoda, která je založená na současné detekci anihilačních gama fotonů prstencovými scintilačními detektory. Elektronická aparatura sleduje průměty koincidenčních párek a počítačovou rekonstrukcí tvoří příčné řezy a následný 3D obraz. Pro gama fotony o energii 511keV, tedy energii vyšší, než je typická pro zobrazování SPECT, jsou použity scintilátory s vyšší hustotou a vyšší detekční účinnosti, např. krystal BGO a LSO (Šabata, 2019).

Dnes převažují hybridní přístroje PET/CT či PET/MR. Výpočetní tomografie a magnetická rezonance poskytují anatomické informace oblasti. Pozitronová emisí tomografie detekuje zvýšené metabolické vychytávání pozitronového zářiče v patologické tkáni ještě dříve, než je změna patrná na CT či MR. Kombinace modalit poskytuje ty nejkompexnější informace. Tato metoda poskytuje lékařům důležité informace o rozsahu a povaze nádorového onemocnění, což je klíčové pro plánování léčby a monitorování odpovědi na terapii. Hybridní systém není pouhou kombinací dvou metod, ale samostatnou zobrazovací modalitou, kterou podává nejvyšší diagnostickou informaci o nádoru. Vyšetření je časově i ekonomicky náročné a také více radiačně zatěžující pro pacienta, proto důležité pečlivě zvážená indikace lékařem (Zavoral, 2021).

2.4 Radiofarmakum

Dle českého lékopisu je radiofarmakum definováno jako léčivý přípravek obsahující jeden či více radioaktivních izotopů pro terapeutické a diagnostické účely. Při jejich manipulaci, přípravě a používání se musí dbát na speciální požadavky. Základní složkou je nosič – farmakum a účinná složka – radionuklid (Kraft & Pekárek, 2014). Podstatou vychytávání radiofarmaka tkáněmi je totožné chování stabilních a radioaktivních nuklidů v souvislosti se stejným elektronovým obalem, ale odlišným jádrem. Každá vazebná část molekuly radiofarmaka se zachycuje na určité buněčné struktuře a vystupuje specifickou cestou z těla. Na vazebnou část molekuly se váže část signální, tedy radionuklid, která signalizuje množství a místo navázání radiofarmaka v cílové tkáni (Kupka, 2015). Radiofarmaka jsou někdy špatně chápána a zaměňována za kontrastní látky. Principiálně jsou úplně odlišná. Bez radiofarmaka by scintigrafický obraz vůbec nevznikl, kdežto kontrastní látka obraz pouze modifikuje (Kupka, 2015).

Fyzikální charakteristika radionuklidu

Každý radionuklid je typický svým **poločasem přeměny**, tedy dobou, během níž dojde k rozpadu poloviny vzorku. Aktivita klesá exponenciálně s časem. Je nutné brát v potaz také biologický poločas, dobu, za kterou klesne na polovinu množství podané látky v těle z důvodu vylučování či metabolismu. Skutečnost, beroucí ohled na fyzikální i biologickou část, nám přibližuje až efektivní poločas přeměny, tedy poloviční pokles celkové aktivity vpravené do těla (Kubinyi, 2018; Kupka, 2015).

Důležitou fyzikální charakteristikou radionuklidu je kromě poločasu přeměny a druhu emitovaného záření uváděna i **energie fotonů**, která podává informaci o pronikavosti paprsku. Pro diagnostiku jsou vhodné γ fotony o energii mezi 30keV až několik set keV, jelikož se v tkáni příliš neabsorbují, ale ani nesnižují kvalitu obrazu. Z velkého počtu známých umělých radionuklidů jsou v praxi používány pouze ty, které splňují kritéria a jsou cenově a výrobně dosažitelné (Koranda, 2014).

Výroba radionuklidu

Umělé radionuklidy lze získat z radionuklidových generátorů, dále z urychlovačů částic (^{18}F) nebo jaderných reaktorů (^{131}I , ^{99}Mo). Mezi využívané radionuklidové generátory patří $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$, $^{81}\text{Rb}-^{81\text{m}}\text{Kr}$ nebo $^{68}\text{Ge}-^{68}\text{Ga}$ generátor (Kraft & Havel, 2020; Kubinyi, 2018).

$^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generátor

Nejpoužívanějším radionuklidem pro scintigrafii je pro své velké výhody $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Pomocí něj při zobrazování získáme kvalitní obraz při nevelké radiační zátěži, má totiž optimální energii 140keV i poločas rozpadu $T_{1/2} = 6$ hod. Výroba $^{99\text{m}}\text{Tc}$ probíhá v olovem stíněném $^{99}\text{Mo}/^{99\text{m}}\text{Tc}$ generátoru. Jeho základem je skleněná kolona s oxidem hlinitým Al_2O_3 , na který je navázán ^{99}Mo ve formě molybdenamu. Na kolonu je připojen zásobník se sterilním izotonickým elučním činidlem (fyziologický roztok) a výstupní lahvička, která přijímá výsledný eluát. Při beta minus rozpadu mateřského radionuklidu ^{99}Mo vzniká technecistan TcO_4^- . Ten je však v koloně slabě vázán, a proto je elučním činidlem vymyt. Tento název promytí NaCl nazýváme eluce. Anionty pertechnetátu se vážou s Na z elučního činidla a vzniká $\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$. V této formě získáváme technecium z generátoru. Pevně vázaný molybden v koloně zůstává pro další poskytnutí technecia. V závislosti na původní aktivitě je generátor použitelný obvykle 1-2 týdny (Kraft & Pekárek, 2014; Ullmann, 2009).

^{68}Ge - ^{68}Ga generátor

Poločas rozpadu mateřského radionuklidu ^{68}Ge činí 271 dní, generátor je pro použitelný až jeden rok. Poločas rozpadu dceřiného radionuklidu ^{68}Ga je poněkud krátký, 68 minut, proto pro snížení obrazového šumu nepomůže ani prodloužení akvizice. Na začátku životnosti generátoru umožní jedna eluce označení cca čtyř dávek (na podkladě 3MBq/kg). Kvůli rozpadu mateřského radionuklidu počet dávek na eluci v průběhu roku klesá. ^{68}Ga em značené indikátory jsou aplikovány především na diagnostiku NET a karcinomu prostaty (Quak et al., 2023).

Aplikace radiofarmaka

Radiofarmakum lze pacientovi aplikovat několika způsoby, intravenózně, perorálně, subkutánně, inhalačně... Aplikovaná dávka radiofarmaka se přepočítává dle fyzické proporce pacienta. Na radiofarmaka jsou kladeny přísné požadavky. Přípravek musí splňovat sterilní podmínky při výrobě i při podání radiologickým asistentem či lékařem, musí být apyrogenní a nesmí působit toxicky (Šabata, 2019).

Kontraindikace aplikace

Relativní kontraindikací podání radiofarmaka je gravidita a laktace. Podle § 60 vyhlášky č.307/2002 Sb. je možné scintigrafii u těhotné ženy provést pouze v nezbytně nutném případě a zvolit takovou metodu, která poskytne nejvyšší možnou radiační ochranu. Lidský plod je totiž k ionizujícímu záření velmi citlivý a v závislosti na stádiu, je možnost nevratného poškození, vzniku malformací, vývojových a mentálních poruch. Při vyšetření musíme snížit aktivitu podávaného radiofarmaka, prodloužit dobu snímání a snížit expozici plodu vyprazdňováním močového měchýře. Pokud žena kojí, na určitou dobu laktaci pozastaví. Absolutní kontraindikace k aplikaci radionuklidu nejsou. Radiofarmakum nepůsobí toxicky, ani nevyvolává alergické reakce (Kraft & Havel, 2020; Zanotti-Fregonara & Hindie, 2017).

3 Radiační ochrana v nukleární medicíně

U obecné veřejnosti je práce s ionizujícím zářením v medicíně velmi negativně vnímána, je třeba si však uvědomit, že s určitou formou záření se potýká každý z nás ve svém každodenním životě např. ve formě radioaktivního radonu z podlaží, kosmického záření či ^{40}K obsaženého v potravinách. Všude tam, kde je pacient ozářen nad úroveň záření z přírodního pozadí jsou přijaty předpisy a normy k zajištění ochrany pacienta (Kupka, 2015; Kubinyi, 2018). Metody nukleární medicíny patří mezi minimálně zatěžující diagnostické postupy pro pacienta. Zátěž je srovnatelná, mnohdy i menší, s rentgenovými metodami. Díky citlivosti scintilačních detektorů je množství aplikované radioaktivní látky velmi malé, přesto dostatečné k získání kvalitního obrazu (Kraft & Havel, 2020).

3.1 Účinky IZ

Biologický účinek ionizujícího záření rozdělujeme na stochastický a deterministický. Deterministický účinek se objeví až v případě, kdy je přesažena prahová hodnota, která je pro každou tkáň specifická. Čím vyšší dávka je, tím závažnější poškození nastává – erytém, deskvamace, gastrointestinální diskomfort, významný úbytek krvinek, který vede k lymfopenii a zvýšenému riziku infekce. Souhrnně tyto symptomy představují akutní radiační syndrom, jehož závažnost je dána stupněm a rozsahem expozice a je typicky patrná během několika hodin až dnů po expozici.

Naproti tomu stochastické účinky prahovou závislost nevykazují. Změna nastává v lineární závislosti na dávce, která se celý život akumuluje. S rostoucí dávkou stoupá pravděpodobnost účinku, nikoliv však závažnost. Účinek má nespecifický obraz a projevuje se s určitým odstupem. Projev účinků podléhá řadě individuálních faktorů, jako je věk, pohlaví, genetická predispozice a specifika radiační expozice. Příkladem mohou být genetické změny a riziko vzniku nádorů (Najjar, 2023).

3.2 Zásady radiační ochrany

Cílem radiační ochrany je absolutní eliminace vzniku deterministických změn a snížení pravděpodobnosti stochastických účinků na minimální dosažitelnou úroveň. To je realizováno třemi základními principy: zdůvodněním činnosti, optimalizací a limitací dávky. Možné riziko

poškození při diagnostickém nebo terapeutickém vyšetření musí být převáženo zdůvodněným přínosem. Principem optimalizace se rozumí dodržování radiační ochrany, aby dávka z ozáření a riziko z ohrožení na zdraví byly tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout. V neposlední řadě musí radiologický asistent také omezit ozáření osob tak, aby nedošlo k překročení limitů (Kubinyi et al., 2018).

3.3 RO pracovníků

K ochraně pracovníků v nukleární medicíně se před ionizujícím zářením praktikují tři základní pracovní postupy: ochrana časem, vzdáleností a stíněním. Pracovník s ionizujícím zářením by se neměl zbytečně vyskytovat v blízké přítomnosti zdroje, k přemísťování je nucen požit peány, pinzety či jiné pomůcky. Dávka pracovníka stoupá s přibývajícím časem, kdy je se zdrojem v kontaktu, proto je vhodné střídání pracovníků a zkracování doby manipulace s pacientem či farmakem. Poslední ochranou pracovníka je použití stínicí vrstvy vhodného materiálu k snížení dávkového příkonu, jelikož pronikavost záření závisí na typu energii a také druhu a tloušťce stínicího materiálu. Gama záření lze odstínit materiály s vysokou hustotou, nejčastěji olovem nebo wolframem. Z olova jsou vyrobeny kryty injekčních stříkaček, kontejnery na přepravu radiofarmak a jiné. Pro odstínění beta záření stačí materiály s nízkým protonovým číslem, dostačující je např. tenký kryt hliníku (Kupka, 2015; Koranda, 2014).

3.4 RO pacienta

Radiační ochrana pacienta spočívá především v aplikaci optimální aktivity podávaného radiofarmaka, a tím snížení radiační zátěže při zaručení dostatečné diagnostické informace. Při množství aktivity bere ohled na diagnostickou referenční úroveň, která by neměla být v praxi překračována. DRÚ však není limitem, v ojedinělých případech, kdy je očekáván diagnostický přínos, je možné hranici překročit. Snížení radiační zátěže je zajištěno kontrolou aktivity a kvality radiofarmaka před aplikací či ovlivněním jeho biokinetiky. Radiologický asistent doporučuje vyšetřovanému konzumaci zvýšeného množství tekutin, častější močení atd. ke zrychlení vylučování radiofarmaka z těla a tím snížení radiační zátěže. Dále zajistí blokaci orgánu, který není vyšetřován, např. blokace akumulace štítné žlázy chloristanem draselným při aplikaci $^{99m}\text{TcO}_4^-$ nebo ^{131}I . Dále kontrola zobrazovací techniky při pravidelném testování (Koranda, 2014; Kupka, 2015).

4 Patofyziologie zažívacího traktu

Gastrointestinální trakt je systém orgánů v lidském těle, který má na starost proces trávení a absorpci živin. Trávicí systém začíná dutinou ústní a postupuje přes jícen, žaludek, tenké střevo, tlusté střevo a končí řitním otvorem. Zahrnuje také další orgány spojené s trávením, jako jsou játra, žlučník a slinivka břišní. Není v našich možnostech shrnout všechny choroby zažívacího traktu, proto je vytvořen přehled patofyziologie, který souvisí se zobrazovacími metodami nukleární medicíny.

4.1 Nádory GIT

Převážnou část všech indikací nukleární medicíny zastupuje diagnostika nádorů. Benigní nádory jsou méně agresivní a nevytváří druhotná ložiska. Maligní nádory se vyznačují agresivním růstem a schopností metastazovat. Speciální malignity, které jsou odlišné histologicky, mikroskopicky i svým biologickým chováním, nazýváme neuroendokrinní nádory. Vychází z neuroendokrinních buněk a jsou schopné produkovat, hromadit a uvolňovat látky hormonální povahy. Vyskytují se nejčastěji v gastro-entero-pankreatickém systému, dále v dýchacím systému, štítné žláze, prsou a urogenitálním systému. Obvykle jsou lokálně pokročilé se vzdálenými metastázami, rostou pomalu a není snadné je odhalit (Gherghe et al., 2023; Zavoral, 2021).

Jícen

Maligní karcinom jícnu má dva histologické typy: adenokarcinom (rizikovým faktorem je Barretův jícen jako důsledek chronické gastroezofageální refluxní choroby) a dlaždicobuněčný (spinocelulární) karcinom. V časných stádiích je karcinom asymptomatický, proto má pro svou pozdní diagnostiku velmi špatnou prognózu. Benigní nádory nejsou příliš časté (Zhang et al., 2022).

Žaludek

Benigní nádory žaludku jsou velmi vzácné – adenom, hemangiom, leiomyom, lipom, fibrom, polypy. Téměř většinu maligních nádorů žaludku zastupuje adenokarcinom (Zavoral, 2021).

Tenké střevo

Přestože tenké střevo představuje převážnou část délky celého zažívacího traktu, je postižen zhoubnými nádory velmi málo. Příkladem je adenokarcinom (lokalizován nejčastěji v duodenu),

neuroendokrinní karcinoid, lymfom a gastrointestinální stromální tumor. Zvýšené riziko vzniku adenokarcinomu mají pacienti s Crohnovou chorobou, celiakií a Petz-Jeghersovým syndromem (Fujimori et al., 2022).

Tlusté střevo

95 % všech primárních maligních nádorů zastupuje adenokarcinom. Méně časté jsou karcinoidy, gastrointestinální stromální tumory, lymfom nebo Kaposiho sarkom. Kolorektální karcinom je zhoubný nádor celosvětového významu, ve vyspělých zemích obsazuje druhou příčku nejčastějšího karcinomu – u mužů po karcinomu prostaty, u žen po rakovině prsu. Úmrtnost na onemocnění klesá, především díky zavedení screeningového programu a včasném zachytu. Nádor se šíří prorůstáním do okolních orgánů, lymfatickými cestami do uzlin a krevní cestou do jater, kostí a plic. Sekundární nádor tlustého střeva může vzniknout metastatickým procesem maligního melanomu, karcinomu žaludku, prsu, pankreatu nebo bronchogenního karcinomu (Zavoral, 2021).

Žlučník a žlučové cesty

Karcinom žlučníku je vzácné nádorové onemocnění s pozdní manifestací a špatnou prognózou. Mezi rizikové faktory patří expozice určitým chemickým látkám a těžkým kovům, věk, pohlaví, rodinná anamnéza, obezita, cholelitiáza, chronická cholecystitida a polypy (Mehrotra et al., 2018).

Játra

Hemangiom jater a fokální nodulární hyperplazie jsou nejčastější benigní jaterní léze. Hepatocelulární karcinom je nejčastější primární jaterní maligní nádor, jehož incidence celosvětově narůstá. Nádor vychází přímo z jaterních buněk. Asi 80–90 % karcinomu se vyskytuje jako komplikace chronického onemocnění jater, které přechází v cirhózu, související např. s konzumací alkoholu či virovou hepatitidou. Hepatocelulární karcinom prorůstá do jaterních žil a zakládá hematogenní metastázy v plicích a kostech. Vzhledem k tomu, že játry protéká krev ze zažívacího traktu, jsou metastázy v nich poměrně časté, např. druhotná ložiska rakoviny tlustého střeva, konečníku, plic a prsu (Li et al., 2021).

4.2 Funkční poruchy GIT

4.2.1 Porucha motility jícnu

Polykaní je reflexní děj řízený z prodloužené míchy, při kterém svalovina jícnu vykonává charakteristické peristaltické pohyby (Dylevský, 2019). Porucha motility jícnu může být způsobena systémovými chorobami, poruchou inervace, zúžením průsvitu atd. (Kupka, 2015). Porucha jícnového tranzitu může přijít také u pacientů po sleeve gastrektomii – chirurgický zákrok u obézních pacientů, při kterém je snížena kapacita žaludku odstraněním jeho části. Po zákroku je zkoumány změny v jícnovém tranzitu a vyprazdňování žaludku (Wickremasinghe et al, 2023).

Gastroezofageální reflux je stav, při kterém dochází ke zpětného toku žaludečního obsahu do jícnu. Typickými příznaky GER je pálení žáhy, regurgitace, dysfagie a bolest v epigastriu (Kobiela et al, 2015). Dlouhodobý gastroezofageální reflux je navíc spojován s rozvojem Barrettova jícnu, který představuje zvýšené riziko adenokarcinomu jícnu. Incidence a prevalence GER se v posledních desetiletích celosvětově pozoruhodně zvýšila (Wu et al, 2014).

4.2.2 Porucha motility žaludku

Zpomalená žaludeční motility či zcela zastavená evakuace žaludku je označována jako gastroparéza. V jedné třetině případů souvisí s autonomní viscerální neuropatií u diabetes mellitus. Další příčinou vzniku jsou komplikace po bariatrických operacích, vagotomii, systémové chyby pojiva, virové infekce (EVB, HIV) či je příčina endokrinní (hypotyreóza). Se změnami motility je spojován i alkohol. Jeho chronická konzumace má za následek zhoršenou gastrointestinální motorickou funkci (Gonzalez et al., 2020). Dumping syndrom, zrychlené vyprazdňování, je stav spojený s resekci žaludku. Objemný a hyperosmolární chymus je příliš rychle vyprázdněn do tenkého střeva a zvýšená koncentrace látek v duodenu působí značné obtíže (Berg & McCallum, 2016). Dumping syndrom je dobře známou komplikací u Nissenovy fundoplikace – účinná metoda chirurgického řešení těžkého GER u kojenců a dětí (Yamoto et al., 2021).

4.2.3 Malabsorpce žlučových kyselin

Žlučové kyseliny jsou produkovány v játrech, ukládají se ve žlučníku, ze kterého uvolňují při jídle pro trávení tuků. Poté jsou z velké části reabsorbovány terminálním ileem a

vraceny do jater, což je proces známý jako enterohepatální oběh. Když je proces reabsorpce narušen, nadměrné hladiny žlučových kyselin vstupují do tlustého střeva, kde vedou ke zvýšené pohyblivosti a sekreci vody, což vede k průjmům (Reid et al, 2016). Malabsorpce žlučových kyselin může být idiopatická nebo může být výsledkem resekce ilea, zánětů včetně Crohnovy choroby či po předchozí radioterapii v oblasti pánve. BAM může být sekundární k jiným stavům, včetně cholecystektomie, operaci peptického vředu a chronické pankreatitidy (Fani et al, 2018; Mena Bares et al, 2017).

4.3 Další nemoci GIT

Mezi onemocnění jícnu patří ektázie (rozšíření jícnu), divertikly, jež mohou městnat potravu, přerůst v zánět a vést k perforaci stěny. Ezofagitida je vyvolána kyselou žaludeční šťávou a provází gastroezofageální reflux. Jícnové varixy se vytváří v rámci kolaterálního oběhu portální hypertenze u cirhózy jater, jejich ruptura a krvácení jsou smrtelné. Mezi onemocnění žaludku bezpochyby patří akutní a chronická gastritida, akutní a chronický peptický vřed způsobený žaludeční šťávou, jehož bolesti přichází bezprostředně po jídle. Tím se liší od duodenálního vředu, jehož potíže přichází až za nějakou chvíli po požití stravy. Komplikací těchto vředů může být akutní krvácení do zažívacího traktu, penetrace, peptická stenóza či perforace. K dalším onemocněním střeva řadíme různé infekční záněty (Salmonelóza, břišní tyfus, enterotoxikóza), záněty neznámé etiologie (ulcerózní kolitida a Crohnova choroba), apendicitidy, divertikulitidy, celiakii, vrozenou anomálii Meckelova divertiklu jako důsledku chybné obliterace ductus omphaloentericus v intrauterinním životě a mnoho dalšího. Pokud má pacient jaterní onemocnění, může se jednat o jeden z typů hepatitid, o toxické poškození jater nebo jaterní cirhózu. Mezi nemoci žlučového systému patří záněty a přítomnost kamenů ve žlučníku či hlavním žlučovodu (Dohnalová, 2014).

5 Diagnostické zobrazovací metody gastrointestinálního traktu

V oblasti gastroenterologie se k diagnostice a hodnocení onemocnění využívá široké škály zobrazovacích metod. Volba konkrétní metody závisí na klinických indikacích, povaze potíží pacienta a rozhodnutí odborníka. Komplexní přístup umožňuje poskytnout co nejpřesnější diagnostiku a následnou léčbu.

Při diagnostice zažívacího traktu je metodou první volby ultrasonografie především díky své dostupnosti a bezpečnosti. Její variací, využívané u trávicího traktu, je elastografie jater či endoskopická ultrasonografie jícnu.

Orgány zažívacího traktu mají velmi podobnou absorpci rtg. záření, proto není prostý snímek tak preferovaný. Indikací však zůstává pro vyloučení ileózní náhlé příhody břišní, lokalizaci cizího tělesa nebo drénů a detekci pneumoperitenea při perforaci trávicí trubice.

Skiaskopické metody jsou významné pro hodnocení průchodu kontrastní látky orgánem a sledování jeho motility. Mezi metody náleží např. vyšetření polykacího aktu, pasáž GIT, ERCP (zobrazení pankreatických a žlučových cest často spojena s následnou intervencí), enteroklýza, irigografie a defektofografie.

Podrobný pohled na anatomické struktury a patologické změny v 3D obraze zajisté poskytuje CT. Mezi jednotlivé výkony se řadí CT břicha včetně pánve nativně či postkontrastně (1-2 fáze), CT enteroklýza (KL podána přes zavedenou nasojejunální sondu), CT enterografie (KL podána perorálně), virtuální CT kolonoskopie, CT břicha jako součást polytraumatického protokolu, CTA abdominální oblasti z důvodu krvácení do GIT či jako kontrola po embolizaci či zavedení stentgaftu atd.

MRI poskytuje vynikající kontrast mezi různými typy měkkých tkání, což je užitečné pro zobrazování orgánů trávicího systému. MR je využívána při diagnostice nádorů, cyst, zánětů a anatomických abnormalit. Mezi vyšetření patří např. MR enterografie, MR enteroklýza, MR defektografie, MR jater a žlučových cest, MRCP (magnetická cholangiopankreatikografie) atd.

Nesmíme opomenout také endoskopické metody, které kromě vizualizace vnitřních stěn, umožňují i odběr vzorků k histologickému a cytologickému vyšetření (Vomáčka et al., 2023).

Zobrazovací metody nukleární medicíny poskytují, na rozdíl od ostatních zobrazovacích metod, informace o funkci a metabolismu tkání. Kombinace modalit umožňuje vytvořit komplexní pohled na pacientův zdravotní stav.

6 Diagnostika onemocnění zažívacího traktu metodami NM

Diagnostika onemocnění trávicího traktu metodami nukleární medicíny hraje klíčovou roli v identifikaci patologií v raných stádiích a včasném zahájení efektivní léčby. Aplikací radioaktivních látek sledujeme pohyblivost jícnu a poruchy motility či zpětný tok žaludečního obsahu zpět do jícnu. Metodami nukleární medicíny posuzujeme funkci žaludku, detekujeme peristaltické poruchy, identifikujeme poruchy jater a žlučníku. Diagnostikujeme malabsorpci žlučových kyselin, prokazujeme přítomnost Meckelova divertiklu a mnoho dalšího. Denním chlebem na klinikách nukleární medicína však zůstává detekce, lokalizace a hodnocení nádorů.

6.1 Diagnostika nádorů GIT

Diagnostika nádorů je nejčastěji prováděný výkon na klinice nukleární medicíny. Hlavní indikací v diagnostice tumorů je samotná detekce nádoru či vzdálených metastáz, rozlišení malignity, stanovení stádia pro volbu terapie a posouzení stupně diferenciací. Dále upřesnění ozařovacího plánu před zevní radioterapií, sledování terapeutické odpovědi po léčbě, detekce případných recidiv nebo určení ideální lokalizace pro biopsii (Koranda, 2014; Zavoral, 2021).

Je velmi důležité zvolit optimální radiofarmakum, odpovídající charakteru nádoru, a správný postup pro detekci nádoru a klinický výstup. Vzhledem ke zvýšenému vychytávání glukózy u maligních nádorů je radioaktivně značená ^{18}F -fluorodeoxyglukóza nejužívanějším radiofarmakem. Naproti tomu některé typy lymfomů, neuroendokrinních nádorů, mucinózních adenokarcinomů tlustého střeva, hepatocelulárních karcinomů a karcinoidních nádorů mají nízkou aviditu ^{18}F -FDG. Proto se do praxe dostala další radiofarmaka. Pro zobrazení neuroendokrinních nádorů lékař rozhodne o použití ^{68}Ga -DOTA-TOC či ^{18}F -DOPA a ^{18}F -cholin pro zobrazení na PET/CT nebo $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -Tektrotyd, ^{111}In -Octreoscan či ^{123}I -MIBG ze scintigrafických metod (Mihailovič et al, 2015). Jedinečnou vlastností dobře diferencovaných gastroenteropankreatických neuroendokrinních tumorů je jejich nadměrná exprese somatostatinových receptorů na nádorových buňkách, na které je založen princip vychytávání radiofarmaka (Jashari et al, 2021).

6.1.1 PET/CT ^{18}F -FDG

^{18}F -FDG je nejpoužívanější pozitronové radiofarmakum pro své značné výhody: ^{18}F je dobře dostupný a má optimální poločas rozpadu 110 minut. Nádorové buňky mají často

zvýšenou potřebu glukózy kvůli rychlému růstu a metabolické aktivitě. FDG se hromadí v těchto buňkách, je přijímána a začleňována do procesu glykolýzy. Nemůže být ale dále metabolizována, to umožňuje detekci a lokalizaci nádorových ložisek. Fyziologická akumulace FDG je v ledvinách, močovém měchýři, střevech a slinných žlázách. ^{18}F -FDG se akumuluje i u různých zánětů, infekcí, procesů hojení a všemu, co zvýšeně spotřebovává glukózu. Vyšetření je tedy nespecifické (Koranda, 2014).

Důkladná příprava pacienta je pro kvalitně provedené vyšetření velmi důležitá. Cílem obecné přípravy je minimalizovat vychytávání FDG v tělesných tkáních, snížit radiační zátěž a minimalizovat riziko vzniku nefropatie a alergie na KL. Vyšetření postižené oblasti provádíme tři měsíce od radioterapie, dva týdny po vysazení chemoterapie či minimálně měsíc od operace, to z důvodu falešně pozitivního či negativního výsledku plynoucího z reparačních procesů. Vyšetřovaný přichází na kliniku nukleární medicíny dostatečně hydratovaný neslazenými tekutinami, nalačno a bez předchozí zvýšené fyzické aktivity. Kontraindikací aplikace jodové kontrastní látky je hypertyreóza, renální a jaterní insuficience, plánovaná léčba radiojódem, alergie či některé krevní choroby. Relativní kontraindikaci činí gravidita a laktace (Ministerstvo zdravotnictví České republiky [MZČR], 2016; Zavoral, 2021). Podrobné informace a doporučení týkající se podání kontrastní látky, které podporuje Česká radiologická společnost, se řídí směrnicí pro podání KL chválenou Evropskou společností urogenitální radiologie <http://www.esur.org/esur-guidelines/>.

Před vyšetřením pomocí ^{18}F -FDG je pacientovi měřena hladina glukózy v krvi. Pokud je zjištěna vysoká hladina, studie se nezačíná. Na hyperglykémii (cca nad 13mmol/l) nelze reagovat aplikací inzulínu před vyšetřením, protože by se většina ^{18}F -FDG vychytávala jako nežádoucí efekt v kostní dřeni (Koranda, 2014). Diabetičtí pacienti si dají poslední jídlo a aplikaci inzulínu večer před vyšetřením. Jsou objednáni k vyšetření ráno či v brzkých dopoledních hodinách. Po vyšetření pacient pokračuje ve svém denním léčebném režimu, proto si s sebou na kliniku nukleární medicíny přibalí svačinu a své léky. Přípravu je vždy vhodné konzultovat s ošetřujícím diabetologem (Kraft & Havel, 2020).

Po přípravě je pacientovi i.v. podána ^{18}F -FDG a dotyčný zůstává v následujícím období, kdy se látka distribuuje v těle, v klidu, v teplé místnosti (omezení vychytávání ^{18}F -FDG v hnědém tuku). Do dokumentace se zaznamenává místo a čas aplikace RF. Není-li kontraindikováno, je v případě zobrazování trávicího traktu po dobu alespoň 1 hodiny před snímáním podávána p. o. kontrastní látka. Při vyšetření se zaměřením především na jícen a

žaludek je vhodné, aby poslední porce KL byla vypita těsně před zahájením snímání. Objem podané KL je třeba snížit u dětí, kachektických osob, osob s kolostomií a s průjmy. Po 45 minutách je pacient vyzván k vymočení a zavolán do vyšetřovny, kde ulehá na záda se vzpaženými horními končetinami. Dle indikace lékaře může být vyšetření nativní, ale obvykle je před samotným skenem pro lepší vizualizaci i.v. aplikována jodová KL (objem závisí na hmotnosti pacienta a koncentraci jodu v KL). Zahajujeme snímání vyšetřované oblasti ve standardním rozsahu od baze lebni po proximální část stehen. CT akvizice probíhá v portální fázi a poté následuje PET. Po vyšetření je důležitá hydratace pacienta k odplavení radioaktivní látky z těla a omezení jeho kontaktu s těhotnými ženami a dětmi (MZČR, 2016).

6.1.2 PET/CT ⁶⁸Ga- DOTA-TOC

⁶⁸Ga-DOTA-konjugované peptidy jsou pozitronové radioindikátory používané pro zobrazení neuroendokrinních nádorů či jejich metastáz. Indikované jsou také u pacientů, u kterých je pravděpodobné, že budou mít prospěch z molekulární radioterapie, tj. radionuklidové terapie peptidových receptorů, která spočívá v podávání radioterapeutických verzí ⁹⁰yttria nebo ¹⁷⁷lutecia. Mezi nejpoužívanější radioaktivně značený peptid patří ⁶⁸Ga-DOTA-TOC. Dalšími sloučeninami jsou ⁶⁸Ga- DOTA-TATE a ⁶⁸Ga- DOTA-NOC, ty mají odlišnou afinitu k podtypům somatostatinových receptorů (Bulushi et al, 2019).

V porovnání s konvenční scintigrafií (^{99m}Tc-Tektotyd, ¹¹¹In-OctreoScan) má ⁶⁸Ga-DOTA-TOC řadu benefitů. Vyšetření je rychlejší (45-90 min akumulace, 25 minut snímání), do dvou hodin může pacient odejít. Jsou lépe patrné i malé léze a dobře zobrazitelná ložiska v játrech. Oproti ¹¹¹In-pentetrotidu vykazuje ⁶⁸Ga-DOTA-TOC vyšší senzitivitu (96 % vs. 86 %) i specificitu (93 % vs. 50 %). Radiofarmakum totiž vykazuje vyšší afinitu k somatostatinovým receptorům podtypu SSTR2 (u NEN nejčastěji zastoupený), ale i podtypu SSTR5. Je výrazně snížena i radiační zátěž pro pacienta a osoby v jeho blízkosti, jelikož má ⁶⁸Ga kratší poločas (68 minut). Lze předpokládat, že postupem času nahradí ⁶⁸Ga-DOTA-TOC konvenční scintigrafii i zobrazení neuroendokrinních nádorů pomocí ¹⁸F-DOPA (Bencsiková et al., 2019).

Příprava před vyšetřením je obdobná s ¹⁸F-FDG. Dle indikace je možné v době mezi aplikací RF a akvizicí p.o. podání KL a aplikace Buscopanu těsně před snímáním. Obvykle za 60 minut po aplikaci radiofarmaka pacient ulehá na záda na vyšetřovací stůl. Dvoufázové CT s

aplikací jodové KL od vertexu lbi do poloviny stehen je nejprve snímáno v arteriální fázi, poté jako parenchymová fáze se zpožděním 70 vteřin. Následuje PET vyšetření ve stejném rozsahu.

6.1.3 PET/CT ¹⁸F-DOPA

Neuroendokrinní nádory, především ty, které mají schopnost akumulovat a metabolizovat aminokyseliny typu DOPA (prekurzor dopaminu), lze na PET/CT zobrazit pomocí radiofarmaka ¹⁸F-DOPA. Vyšetření je nejčastěji indikováno v akvizici karcinoidu střeva nebo pankreatického polypeptidomu. Pomocí ¹⁸F-DOPA lze mimo jiné zobrazit také feochromocytom, paragangliom, medulární karcinom štítné žlázy a jejich metastázy.

Obecná příprava před vyšetřením je obdobná jako u ¹⁸F-FDG. Radiofarmakum ¹⁸F-DOPA je podáno intravenózní cestou a jeho aktivita se pohybuje mezi 185- 400 MBq. Za 60 až 90 minut následuje samotné vyšetření. Využijeme čas, kdy pacient čeká v kabině, a dáme mu vypít obvykle 1 litr kontrastní látky pro naplnění trávicí trubice. Před zahájením vyšetření je i.v. podána ampulka Buscopanu, která zpomalí střevní peristaltiku pro lepší vizualizaci. Pacient je vyzván, aby se těsně před snímáním vymočil. Nahrávání začíná tomogramem pro upřesnění polohy. Následuje CT akvizice od baze lební po proximální část femuru s i.v. aplikací jodové KL. Start CT akvizice je zahájen obvykle za minutu od aplikace neionické jodové kontrastní látky, aby byla projekce provedena v portální fázi (50-60 s po aplikaci KL). Poté je ve stejném rozsahu zahájeno snímání PET. Konečnou fází je fúze obrazů PET a CT. Pacient z vyšetření odchází s doporučením zvýšené konzumace tekutin, omezení kontaktu s těhotnými ženami a dětmi (MZČR, 2016; mRS NM FNOL, 2021).

6.1.4 PET/CT ¹⁸F-cholin

Vyšetření je v souvislosti se zažívacím traktem indikováno k diagnostice dobře diferencovaného hepatocelulárního karcinomu a procesů, jež k přestavbě jater vedou. K jejich lokalizaci a rozsahu, přítomnosti recidiv a plánování operace či ozáření. Mimo jiné je ¹⁸F-cholin používán k detekci karcinomu prostaty a jeho metastáz nebo adenomu příštítných tělísek. ¹⁸F-značený fosfolipid cholin, prekurzor acetylcholinu, je využíván k zobrazení nádorů, které vykazují poruchu transportu cholinu nebo fosforylaci. Nemají zvýšený glukózový metabolismus, ale zvýšenou novotvorbu membrán tumoru.

Obecná příprava před vyšetřením je obdobná jako u ¹⁸F-FDG. Aktivita Fluorocholinu je přepočtena dle tabulek a průměrná aktivita se pohybuje mezi 100 až 500 MBq. Dle indikace

lékaře pacient popíjí v klidové fázi mezi aplikací radiofarmaka a snímáním roztok kontrastní látky a těsně před snímání je mu aplikována ampulka Buscopanu. Za 40 až 90 minut od intravenózní aplikace radiofarmaka je pacienta vyzván, aby se vymočil a poté ulehl na záda na vyšetřovací stůl se vzpaženými rukami. Nejprve je zhotoven topogram a vyměřena vyšetřovaná oblast. Následuje CT akvizice v portální fázi, typicky minutu od aplikace KL. Množství jodové kontrastní látky odpovídá hmotnosti pacienta a koncentraci jodu v roztoku. Následuje snímání PET a fúze obrazů. Po skončení vyšetření je dotyčným doporučena dostatečná hydratace a omezení kontaktu s těhotnými ženami a dětmi v den vyšetření (mRS NM FNOL, 2023; MZČR, 2016; Koranda, 2014).

6.1.5 Scintigrafie ^{99m}Tc - Tektrotyd (EDDA/HYNIC-TOC)

Technecium má pro zobrazování neuroendokrinních nádorů optimální energii 150 keV. Poločas rozpadu činí šest hodin, což je dostatečně dlouhá doba pro vyšetření metabolických a funkčních procesů, ale stále dostatečně krátká na minimalizaci radiační dávky pro pacienta. Technecium je i dobře dostupné, proto není divu, že je oproti ^{111}In častěji používaným radiofarmakem pro zobrazení neuroendokrinních nádorů jednofotonovou emisní tomografií (Jashari et al, 2021).

Pacient by měl před vyšetřením vysadit analogy somatostatinu a požit laxativa pro větší přehlednost oblasti břicha a snížení radiační zátěže pro tlusté střevo. Důležitá je také dostatečná hydratace před aplikací radiofarmaka i den po vyšetření.

Za 4 hodiny po i.v. podání je zahájena vleže na zádech celotělová scintigrafie a následně SPECT/CT se zaměřením na podezřelou oblast (Zavoral, 2021; mRS NM FNOL, 2023).

6.1.6 Scintigrafie ^{111}In - OctreoScan (Pentetreotid)

^{111}In Indium není pro scintigrafii neuroendokrinních nádorů naprosto ideální radionuklid, je poměrně drahý, vyrobený v cyklotronu. Záření gama má vysokou energii fotonu, která má za následek méně kvalitní obraz. Jeho vyšší poločas rozpadu 2,8 dne způsobuje vyšší radiační zátěž a měli bychom tudíž podat menší množství (Jashari et al, 2021).

Pacient je před vyšetřením upozorněn na náležitou přípravu, a to vysazení analogů somatostatinu (Zavoral, 2021). Dále je doporučena premedikace laxativy pro větší přehlednost abdominální oblasti a snížení radiační zátěže tlustého střeva pacienta.

Průměrná aktivita intravenózně podávaného radiofarmaka ^{111}In -pentetretid činí 175 MBq, u vyšetření dětí je aktivita přepočtena dle tabulek. Celotělová planární scintigrafie se nahrává vleže na zádech za 4 a 24 nebo za 24 a 48 hodin od intravenózní aplikace radiofarmaka. Za 24 hodin provádíme i SPECT nebo SPECT/CT, které je nápomocné v rozlišení nádorového ložiska od přirozené akumulace v ledvině, játrech, slezině a střevě (MZČR, 2016; Kraft & Pekárek, 2014).

6.1.7 Scintigrafie ^{123}I - MIBG

Scintigrafie pomocí metajodbenzylguanidinu (analog noradrenalinu) slouží k zobrazení neuroendokrinních nádorů. MIBG je značen radioaktivním ^{123}I , jehož $T_{1/2}$ činí 13 hod a energie gama záření 159 keV. Den před vyšetřením je nutná blokáce štítné žlázy pomocí KClO_4 , v té se pokračuje i další dva dny od aplikace. Minimálně týden před vyšetřením by měl pacient vysadit analogy noradrenalinu, tricyklická antidepresiva, některá sympatomimetika, antihypertenziva a mnoho dalšího, které interferují s vychytáváním metajodbenzylguanidinu. Minimálně týden by se měl dotýčný vyhnout podání opioidů, kokainu a tramadolu (opioidní analgetikum). Důležitá je samozřejmě také dostatečná hydratace ke snížení radiační zátěže močového měchýře.

Aktivita radiofarmaka se pohybuje mezi 200 až 300 MBq. Za 24 hodin, případně i 48 hodin od intravenózní aplikace je zahájena celotělová scintigrafie v přední a zadní projekci. Následuje SPECT nahrávání. Pokud to situace žádá, doplní se i bočné scintigramy (mRS NM FNOL, 2023; MZČR, 2016).

6.1.8 Scintigrafie $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -značenými erytrocyty

Scintigrafie pomocí značených červených krvinek je užitečnou zobrazovací metodou k detekci hemangiomu, nejčastějšího benigního nádoru jater. Vzhledem k relativně vysoké prevalenci je nezbytné odlišit jaterní hemangiom od jiných lézí, zejména od maligního hepatocelulárního karcinomu či metastatického onemocnění jater. Jaterní hemangiom je složen z dutin naplněných krví vyživovaných jaterním arteriálním oběhem, zde je založen princip vychytávání radioindikátoru (Aziz, 2022; Khalid et al., 2023).

Erytrocyty jsou značeny in vitro (v laboratoři) nebo in vivo (v těle pacienta), záleží na pracovišti a provozu laboratoře. V případě méně náročného procesu značení in vivo je pacient 30 minut před aplikací $[\text{}^{99\text{m}}\text{Tc}]\text{-TcO}_4$ i.v. premedikován Sn-pyrofosfátem (20 mg/kg) a 400 mg chloristanem per os. Pacient při vyšetření leží na zádech. Souběžně s intravenózní aplikací

$^{99m}\text{TcO}_4$ je zahájena dynamická studie trvající dvě minuty (1 scintigram/1 – 5 s). Následuje statická scintigrafie v přední, zadní a pravé bočné projekci. Za dvě hodiny od aplikace pokračujeme poslední částí vyšetření, SPECT (MZČR, 2016).

6.2 Vyšetření polykacího aktu a detekce gastroezofageálního refluxu

Indikace

Indikací k scintigrafickému vyšetření je podezření na poruchu jícnové peristaltiky a zjištění funkce dolního jícnového svěrače u jícnové i mimojícnové manifestace refluxní choroby jícnu. Mezi příčiny poruchy jícnové peristaltiky patří achalázie, ezofagitida, porucha průchodnosti a systémové nemoci pojiva- např. sklerodermie (Kupka, 2015). K scintigrafickému vyšetření jsou indikováni také pacienti v 6. týdnu, 6. měsíci a 12. měsíci po sleeve gastrektomii pro podezření na poruchu jícnového tranzitu (Wickremasinghe et al, 2023). Při standartních postupech je diagnostika GER scintografií metodou druhé volby po pH-metrii (MZČR, 2016). Výhodou radionuklidového vyšetření je větší senzitivita detekce vůči rentgenkontrastnímu vyšetření a také schopnost rozpoznání refluxu nezávisle na změnách pH jícnu. Je známo, že použití kombinace manometrie a radionuklidové studie rozpozná mnohem větší množství onemocnění, než metoda samostatná (Koranda, 2014).

Radiofarmakum

Při vyšetření lze použít ^{99m}Tc -sirný koloid nebo vodný nevstřebatelný roztok ^{99m}Tc -DTPA. Výhody aplikace ^{99m}Tc -koloidu spočívají v jeho snadné dostupnosti, je nevstřebatelný a levný.

Příprava před vyšetřením

Dynamická scintigrafie polykacího aktu se provádí nalačno, pacient by se měl také 4 hodiny před vyšetřením zdržet kouření. Pokud je indikace diagnostická je třeba vysadit léky ovlivňující motilitu jícnu. V případě kontroly hodnotící efekt léčby je nutné terapii ponechat (MZČR, 2016; Koranda, 2014).

Průběh vyšetření

Z důvodu eliminace účinku gravitace je pacient pod gama kamerou umístěn na záda, přičemž zorné pole zahrnuje celý jícen a proximální žaludek (Mettler & Guiberteau, 2019). Pacient je poučen o polknutí daného množství látky až na pokyn laboranta. Nejdříve je

proveden nácvik spolupráce při vyšetření, pacient na pokyn personálu polkne 10 ml tekutinu bez přítomnosti radiofarmaka a minutu nepolyká. Pokud je vše v pořádku, je zahájeno samotné scintigrafické vyšetření polykacího aktu. Vyšetřovaný spolkne sousto označené tekutiny o objemu 10 ml a aktivitě 25-30 MBq při současném zahájení 1- 2minutové dynamické studie (MZČR, 2016). Dynamickou studii polykacího aktu 2- 3krát opakujeme, abychom omezili vliv variability jednotlivých pasáží (Koranda, 2014).

Dynamická scintigrafie detekce gastroezofageálního refluxu se provádí v návaznosti na předchozí studii polykacího aktu, málokdy se používá jako metoda samostatná. Pacient má 30 ml požadovaného radiofarmaka pro studii již polknuté a nyní vypije tekutinu odpovídající objemu žaludku, cca 400 ml. U dětí je objem stanoven individuálně. Po dobu 30 a více minut sledujeme oblast žaludku a jícnu dynamickou scintigrafií (1 scintigram za 10 vteřin). Během studie můžeme vyprovokovat GER tlakem na břicho (Koranda, 2014; MZČR, 2016).

Hodnocení

V hodnocení dynamické scintigrafie lékaři využívají nejprve vizuální posouzení sérií scintigramů a dále četnostní křivky průchodu sousta jednotlivými částmi jícnu. Nejvýznamnějším parametrem k posouzení stavu je celkový čas průchodu sousta jícnem, standardní čas je v rozmezí 5-11s (medián 7,3). U pacientů se sklerodermií a achalázií doba průchodu často přesahuje 30 sekund (Mettler & Guiberteau 2019). Důležité pro hodnocení dynamiky je také posouzení kondenzovaného obrazu, který zobrazuje seřazení jednotlivých scintigramů jícnu zkomprimovaných do úzkých pruhů vedle sebe. GER se projevuje vrácením více jak 5 % potravy zpět do jícnu. V hodnocení GER určujeme počet epizod refluxu v čase od požití farmaka, úroveň pronikavosti a rychlost, s jakou se vrací reflektovaná tekutina z jícnu zpět do žaludku (Koranda, 2014; Kupka, 2015).

6.3 Vyšetření evakuace žaludku

Indikace

Mechanické trávení začíná shromažďováním hrubě rozmělněné potravy, která se vrství podél stěn žaludku. Pomalé rytmické stahy svalstva žaludku potravu promíchávají a dále rozmělnují. Složení obsahu a jeho množství odpovídá mohutnosti stahu svaloviny při rozmělnování, a také na době setrvání v žaludku. Tekutiny žaludkem pouze protékají, sousto obsahující cukry zůstává v žaludku 3-4 hodiny, a pokud strava obsahuje tuky čas se prodlouží

až na 5-7 hodin. Rozmělněný obsah, promíchaný s žaludeční šťávou, nazýváme chymus, který po malém množství pokračuje v trávicím traktu dále, do dvanáctníku (Dylevský, 2019). Radionuklidová metoda sledování rychlosti evakuace stravy ze žaludku do střeva za fyziologických podmínek je považována za zlatý standard mezi diagnostickými postupy. Často dochází k poruchám žaludeční motility např. u diabetické neuropatie a u stavů po resekcii žaludku (MZČR, 2016). Dlouhé zadržování stravy v žaludku jako projev diabetické neuropatie působí značné potíže při regulaci hladiny cukru v krvi, jelikož účinek inzulínu nastoupí dříve, než se živiny začnou vstřebávat z tenkého střeva (Koranda, 2014). Častou indikací ke scintigrafickému vyšetření evakuace žaludku je také podezření na Dumping syndrom, více o Dumping syndromu v kapitole Patofyziologie (Berg & McCallum, 2016).

Radiofarmakum

Pacient nejčastěji sní polotuhý pokrm, který si sám donese, označený nevstřebatelným radiofarmakem ^{99m}Tc – DTPA nebo ^{99m}Tc -koloidem o aktivitě 30 MBq (Koranda, 2014). Pevné látky opouštějí žaludek lineárně (pomaleji), tekutiny naopak průběhem exponenciálním. Pokud bychom chtěli souběžně sledovat evakuaci tuhé i tekuté stravy, podáváme dva rozdílné radionuklidy – ^{99m}Tc a ^{111}In (Kupka, 2015).

Příprava před vyšetřením

Pacienti jsou instruováni, aby na vyšetření přišli nalačno. Jakékoliv látky, které mohou urychlit nebo zpomalit vyprazdňování žaludku (např. opiáty, tricyklická antidepresiva, nikotin nebo alkohol) musí být vysazeny alespoň 2 dny před vyšetřením. Před požitím pokrmu musí diabetici dostat odpovídající dávku inzulínu. Hyperglykémie může způsobit zpoždění vyprazdňování žaludku, proto je dobré u diabetiků před zahájením vyšetření zkontrolovat hladinu glukózy (Solnes et al., 2018).

Průběh vyšetření

Polotuhou stravu, kterou si vyšetřovaný sám donese – nejčastěji rozmačkané brambory, nejprve zvážíme, poté nakapeme izotop, zamícháme a zapíšeme čas, kdy pacient brambory co nejrychleji sní. Dynamická scintigrafie (1 scintigram za 30 vteřin) v levé přední šikmé projekci se provádí vleže bezprostředně po konzumaci jídla. Trvání záznamu je okolo 90 minut, dle vyprázdnění žaludku (mRS NM FNOL, 2023).

Hodnocení

Hodnocení vyprazdňování žaludku je komplikované. Rychlost vyprazdňování ovlivňuje osmolalita, pH, objem, kalorický obsah, množství bílkovin, sacharidů, tuků,

hmotnost, denní doba, poloha, léky a pohlaví pacienta (Mettler & Guiberteau 2019). Normální hodnota poločasu evakuace žaludku je v rozmezí 24-60 minut okolo, nejčastěji 40 minut (Koranda, 2014). Poločas evakuace žaludku bývá zkrácen u funkčních poruch, naopak u morfologických změn a pooperačních stavů naopak prodloužen (Kupka, 2015). Lékař hodnotí vyprazdňování žaludku vizuálně a pomocí četnostních křivek. Křivka průběhu vyprazdňování se skládá ze dvou fází, první tzv. lag fáze (množství potravy v žaludku, která v něm zůstává) a fáze lineárního poklesu. Pokud od křivky vyprazdňování odečteme lag fázi, získáme poločas evakuace žaludku, tedy čas, kdy se objem žaludku o polovinu zmenší (Koranda, 2014).

6.4 Průkaz ektopické žaludeční sliznice Meckelova divertiklu

Meckelův divertikl je nejčastější vrozenou anomálií gastrointestinálního traktu, která se vyskytuje téměř u 2 % populace. Může dojít ke komplikacím, jako je krvácení z trávicího traktu, střevní neprůchodnost, zánět a perforace. Většina lézí zůstává po celý život asymptomatická (Prakash et al., 2023). Tento výrůstek střevní stěny je způsoben neúplným uzavřením omfaloenterického vývodu během 7. týdne těhotenství. Byly zaznamenány varianty této vrozené vady podle umístění, velikosti a tvaru (Uppal et al. 2011). Ve 20 % případů je žaludeční sliznice aktivní a produkuje kyselinu chlorovodíkovou. Sekrece této žaludeční šťávy způsobí vznik vředů na přilehlé střevní sliznici, které jsou příčinou těžko diagnostikovatelného krvácení. Ke scintigrafickému přichází zejména malé děti, více jak polovina případů onemocnění je diagnostikována do dvou let od narození. Nejčastějším projevem u dítěte je nebolestivé krvácení z konečníku (Mettler & Guiberteau 2019; Kupka, 2015). Vzácnou komplikací Meckelova divertiklu je jeho přítomnost v kýlním vaku, nazývaná Littreova kýla (Prakash et al., 2023).

Radiofarmakum

Scintigrafie Meckelova divertiklu sestává z intravenózní injekce 296 až 444 MBq $^{99m}\text{TcO}_4^-$ u dospělých nebo přibližně 1,85 MBq/kg, s minimem 9,25 MBq u dětí.

Příprava před vyšetřením

Pacient by měl na vyšetření přijít na lačno, protože hypersekrece žaludeční sliznice souvisí s nižším kontrastem. Scintigrafie by neměla být provedena, pokud byl dotyčný před 72 hod. vyšetřován pomocí baryové kontrastní látky či byla před studií požitá laxativa nebo chloristan. Před vyšetřením je možná premedikace antagonisty H_2 receptorů ke snížení

žaludeční sekrece a zvýšení akumulace radiofarmaka, tudíž i kontrastu (Vali et al., 2015). U nespolupracujícího malého dítěte je na zvážení podání sedativ (Koranda, 2014).

Průběh vyšetření

Pacient při akvizici leží na zádech. Současně s intravenózní aplikací $^{99m}\text{TcO}_4^-$ nahráváme dynamickou scintigrafií v přední projekci. Následuje série statických scintigramů. Dle situace lze doplnit bočné nebo zadní projekce. Po vyšetření je možné podat ke snížení radiační zátěže chloristan (300 mg per os), který vyplaví zbytky technecianu z tkání, ve kterých nebyl identifikován (MZČR, 2016).

Hodnocení

Meckelův divertikl se nám zobrazí jako drobné patologické ložisko akumulace radiofarmaka v břiše ve stejnou dobu jako žaludeční sliznice (Kupka, 2015). S postupem času v místě ektopické žaludeční sliznice narůstá kontrast a ložisko nevykazuje žádný posun. Pokud by posun ložisko vykazovalo, předpokládali bychom vyloučení radiofarmaka do moči či žaludečních šťáv (Koranda, 2014). Negativní výsledky jsou běžné u pacientů, jejichž divertikly neobsahují ektopickou žaludeční tkáň. Falešně negativní skeny byly hlášeny u pacientů s malrotací ilea, malým množstvím ektopické sliznice, špatným prokrvením, či rychlým vymýváním technecianu (Mettler & Guiberteau, 2019).

6.5 Scintigrafie jater a sleziny

Jaterní buňky mají několik metabolických funkcí: ukládají cukry, tuky a vitamíny, zneškodňují některé toxické látky a přeměňují cukry na glykogen. Produkují žluč, která žlučovými cestami odtéká do duodena, právě zde dochází díky žlučovým kyselinám k emulgaci tuků (stanou se ve vodě rozpustnější a přístupnější ke štěpení enzymy). Játra jsou největší žlázou trávicího systému a důležitým orgánem podílejícím se na metabolismu a detoxikaci lidského organismu. Parenchym jater je z 60 % tvořen hepatocyty a 15 % retikuloendotelialními Kupferovými buňkami, schopné fagocytózy (Dylevský, 2019).

Indikace

Indikací pro ^{99m}Tc koloidní vyšetření jater a sleziny je především potvrzení jaterní fokální nodulární hyperplazie, hepatomegalie nebo splenomegalie, přítomnosti akcesorní sleziny či posttraumatické splenózy (Mettler & Guiberteau 2019; MZČR, 2016). Vzhledem k jiným zobrazovacím modalitám s vyšší rozlišovací schopností se scintigrafie k detekci

ložiskových lézí jater, až na výjimku fokální nodulární hyperplazie, prakticky nevyužívá (Koranda, 2014).

Radiofarmakum

^{99m}Tc -koloid je rychle akumulován fagocyty retikuloendoteliálního systému jater (Kupfferovy buňky) i sleziny, což umožňuje současné zobrazení obou orgánů (Mettler & Guiberteau 2019).

Průběh vyšetření

Před vyšetřením není nutná žádná příprava. Po intravenózní aplikaci 40-120 MBq ^{99m}Tc -koloidu je radiofarmakum Kupfferovými buňkami pohlceno. Po 15 minutách od aplikace koloidu je nahráván v přední, zadní a bočné projekci statický scintigram. Při podezření na hluboce uložené léze je provedeno i SPECT (MZČR, 2016; Mettler & Guiberteau 2019).

6.6 Dynamická hepatobiliární scintigrafie

Žluč se v jaterních buňkách produkuje nepřetržitě, obsahuje žlučová barviva, žlučové soli, vodu, hlen a některé minerální látky. Bez žluči by až 80 % tuků, a v nich rozpuštěných vitamínů, odcházelo z těla bez užitku. Objeví-li se tučná strava v duodenu, uvolní se svěrač a koncentrovaná žluč je ze žlučníku uvolněna (Dylevský, 2019).

Indikace

Při diagnostice biliárních obstrukcí stále dominují nescintigrafické postupy, přesto je funkční hepatobiliární scintigrafie indikována např. v případě funkčních poruch kinetiky žlučových cest, intraperitoneálního úniku žluči a kontroly pooperační průchodnosti cholangiointestinálních anastomóz (Koranda, 2014). Indikací cholescintigrafie je zřídka i diagnóza akutní cholecystitidy, diferenciální cholestázy, a zvláště u malých dětí a novorozenců odlišení biliární atrezie (vrozené zúžení či nedovinutí žlučových cest) od novorozenecké hepatitidy. Hepatobiliární scintigrafie může posloužit i pro diagnostiku ezofageálního žlučového refluxu po chirurgickému zákroku u pacientů s těžkou obezitou (one-anastomosis gastric bypass) (Arnon-Sheleg et al, 2023).

Radiofarmakum

Dynamická hepatobiliární scintigrafie je založena na schopnosti hepatocytů vychytávat z krevní plazmy různé látky, v našem případě ^{99m}Tc značené deriváty iminodioctové kyseliny

(IDA), a následně transportovat do žlučových cest (Kupka, 2015). U zdravého pacienta je v játrech za 5 minut přítomno dostatečné množství ^{99m}Tc -IDA, aby bylo možné tento orgán dobře zobrazit. Asi dvě třetiny žlučového toku vstupují do dvanáctníku a jedna třetina vstupuje do žlučníku. Množství a načasování vstupu do žlučníku závisí na řadě faktorů, včetně nutričního stavu pacienta, podávání různých léků a tonu Oddiho svěrače (Mettler & Guiberteau 2019).

Příprava před vyšetřením

Pacient přichází k vyšetření nalačno. Pokud je cílem i posouzení žlučníku, není dobré, aby bylo lačnění delší jak 12 hodin. Po tak dlouhé době je žlučník naplněn neaktivní žlučí a označená žluč radiofarmakem by se zde těžko akumulovala. Léky ovlivňující motilitu zažívacího traktu musí být před vyšetřením vysazeny. 6 hodin před studií by měli být vynechány opiáty, jelikož mohou stáhnout Oddiho svěrač a způsobit částečnou funkční biliární obstrukci. (Koranda, 2014; Mettler & Guiberteau 2019). Národní standardy doporučují požití evakuačního předmětu 3-4 hodiny před cholescintigrafií k vyprázdnění žlučníku. Samozřejmě ale záleží na místních standardech jednotlivých klinik a na požadavcích indikujícího lékaře a jeho očekávaném výstupu pro adekvátní léčbu pacienta (MZČR, 2016).

Průběh vyšetření

Radiofarmakum ^{99m}Tc -disofenin (DISIDA) nebo ^{99m}Tc -mebrodenin (BRIDA) o aktivitě 50-200 MBq je intravenózní cestou aplikováno ležícímu pacientovi. V přední projekci je současně s aplikací indikátoru zahájena dynamická studie trvajících 60-90 minut. Pro hodnocení a vypočítání ejekční frakce žlučníku je v průběhu vyšetření podán pokrm s obsahem tuků (čokoláda, chleba s máslem) nebo cholecystokinin. Žlučník je standartně zobrazen během první půl hodiny studie, stejně jako společný žlučovod a duodenum (Kupka, 2015; MZČR, 2016). Pokud je vyšetření indikované pro podezření na akutní cholecystitidu nebo detekci úniku žluči do dutiny břišní k zobrazení žlučníku je nutné doplnit pozdní statické scintigramy za 3 až 4 hodiny po aplikaci RF. V diagnostice akutní cholecystitidy, primární biliární atrezie atd. potřeba doplnit obrazy v delších časových intervalech, až do 24 hod. od aplikace radiofarmaka (MZČR, 2016).

Hodnocení

Hodnocení je stanoveno na základě vizuálního posouzení scintigrafických obrazů jater, žlučníku, žlučových cest a střev. Dále pomocí křivek průběhu aktivity v čase a ejekční frakce žlučníku (Koranda, 2014). Obraz poruchy průtoku žluči z jater do střev je rozdílný dle toho, zda je příčinou obstrukce žlučových cest nebo hepatocelulární postižení. Při extrahepatální obstrukci pozorujeme pozdější zobrazení střev, v případě úplné blokace průchodu žlučovodů se

střeva nezobrazí vůbec. Při hepatocelulárním postižení je zpomalená extrakce radionuklidu z krevního řečiště, nižší intenzita zobrazení žlučových cest a zpožděná akumulace ve střevech (Kupka, 2015).

6.7 Malabsorpce žlučových kyselin

Indikace

SeHCAT test je zlatým standardem diagnostiky malabsorpce žlučových kyselin. Je jednoduchý, neinvazivní a s minimální radiační zátěží (Zavoral, 2021). SeHCAT test umožňuje lékařům racionálněji využívat léky sekvestrující žlučové kyseliny, které mohou vyvolat nežádoucí účinky. Prodloužená léčba těmito léky může vést k malabsorpci tuků a vitamínů rozpustných v tucích (A, D a K), což zvyšuje riziko osteoporózy a možných koagulačních abnormalit. Z tohoto důvodu by pacienti s koagulačními poruchami nebo ti, kteří užívají perorální antikoagulační léčbu, měli podstoupit test SeHCAT k získání přesné diagnózy a zhodnocení poměru přínosu a rizika podávání léku uvolňujících žlučové kyseliny (Fani et al., 2018). Pozitivní diagnóza malabsorpce žlučových kyselin pomocí SeHCATU dle výzkumu vedla v následujících 5 letech ke snížení využití jiných diagnostických vyšetření (Turner et al., 2017). Scintigrafie může být užitečná také pacientům, u kterých se rentgenové vyšetření (ERCP, PTC) nezdařilo nebo jej nemohou podstoupit z důvodů alergie na kontrastní látku (Mettler & Guiberteau, 2019).

Radiofarmakum

Podávaná aktivita kapsle ⁷⁵Se-kyseliny tauroselcholové (SeHCAT) je velmi malá, obvykle 370 kBq. Absorbovaná dávka pro tenké střevo se zvyšuje u pacientů, kteří podstoupili cholecystektomii a kteří mají těžké poškození jater.

Příprava před vyšetřením

Standardní příprava pacienta vyžaduje jeden týden před vyšetřením pozastavení sekvestrantů žlučových kyselin a léků proti průjmům. Vyšetření se provádí nalačno.

Průběh vyšetření

První skenování se obvykle provádí 3 hodiny po p.o. požití kapsle SeHCAT (370 kBq) po dobu 1-3 hodin. Druhý sken je naplánován 7 dní po podání tobolky, což představuje optimální dobu opětovného skenování pro výpočet % retence SeHCAT a pro odlišení normální retence žlučových kyselin od abnormalit. V okolí vyšetřovny nesmí být naaplikováni pacienti, ani se nesmí provádět manipulace s RF. Těsně před vyšetřením je pacient vyzván, aby se

vymočil a sundal všechny kovové předměty z vyšetřované oblasti. Snímání se provádí gama kamerou bez kolimátoru, opatřenou ochrannými plastovými deskami, v poloze na zádech a rukami podél těla. Před vyšetřením se provádí měření pozadí (někdy následuje po vyšetření). Pro zajištění plynulého průchodu tobolky je vhodné, aby pacient vypil cca 15-20 ml vody před i po polknutí kapsle SeHCAT. Časný (3 hod) a pozdní scintigram (7 dní) je nutné provést ve stejné pozici a trvání (Fani et al, 2018). Skenování po sedmi dnech umožňuje procentuální měření retence radioaktivně značené žlučové kyseliny. Nízká retence svědčí pro abnormální výsledek testu a ukazuje na pozitivní diagnózu BAM (Reid et al, 2016).

6.8 Identifikace zánětů dutiny břišní

Scintigrafie zánětů je doplňující metodou po rentgenovém či endoskopickém vyšetření, zvláště v případě, kdy je vyšetření obtížné provést. Indikací je např. gastroenteritida, ulcerózní kolitida, Crohnova nemoc, dále zánětlivé píštěle či abscesy (Kupka, 2015). Nejčastěji se k vyšetření používají **leukocyty značené in vitro ^{99m}Tc - HMPAO**. Hexamethylpropyleneamin oxim je lipofilní látka, schopná průniku buněčnou membránou leukocytů. Uvnitř těchto krvinek se přemění na látku hydrofilní, což umožňuje její fixaci. Vazba na bílé krvinky není však absolutně stabilní a dochází k částečnému odstupu hydrofilního komplexu, který je vyloučen ledvinami, po určitém času i játry do žluči a následně do jater. To je vysvětlení pro typické zobrazení žlučníku ve 2-3. hodině vyšetření. Značení leukocytů začíná odběrem 60 ml krve s ACD protisrážlivým roztokem. Následnou centrifugací krve jsou leukocyty odděleny a označeny. Posledním krokem je reinjekce preparátu vyšetřovanému. Dalším možným používaným radiofarmakem jsou **^{99m}Tc -monoklonální antigranulocytární protilátky**. Výhodou je jednodušší příprava, avšak nevýhodou vyšší cena a tvorba protilátek proti myšimu antigenu. Radiofarmakum je aplikováno intravenózně a k vazbě preparátu na leukocyty dochází přímo v těle pacienta. Falešné nálezy mohou být způsobeny hematomy, ranami po operaci a aseptickými záněty. Vzhledem k přirozené akumulaci radiofarmaka v abdominální dutině je nutné provést vyšetření do 1 hod. od aplikace, kdy nám akumulace transportovaného radiofarmaka žlučí do střeva nekomplikuje detekci zánětlivého ložiska. Celotělová scintigrafie následuje po 4 hodinách od aplikace, je nutné doplnit i SPECT nebo dle možností SPECT/CT zobrazení. K definitivnímu posouzení nálezu je důležité doplnění pozdních scintigramů za 24

hodin, které pomohou odlišit přirozenou akumulaci radiofarmaka od lokalizaci zánětu ve střevech. V případě zánětu má aktivita v ložisku narůstající charakter.

Neonkologickou indikací k PET/CT vyšetření jsou po vyčerpání konvenčních metod záněty, které se projevují horečkami neznámého původu trvajících více než 3 týdny (Obrázek 3). Záněty, stejně jako nádory, mají zvýšenou glykolýzu, na které je založen princip vychytávání $^{18}\text{F-FDG}$. Příprava i průběh vyšetření je stejná jako při nádorové indikaci (Koranda, 2014).

6.9 Lokalizace místa krvácení do gastrointestinálního traktu

Indikace

Scintigrafické vyšetření lokalizace krvácení neznámého původu do GIT nastupuje při selhání endoskopických metod v obtížně vyšetřitelné oblasti tenkého střeva. Indikací však může být jakékoliv krvácení do GIT. Zdrojem krvácení může být Meckelův divertikl, žaludeční vředy, divertikulární onemocnění, angiodysplazie, polypy střev, nádorová a zánětlivá onemocnění. Předoperační lokalizace místa krvácení umožňuje racionálnější, na míru šitý přístup k angiografii a chirurgické intervenci (Mettler & Guiberteau 2019; Kupka, 2015).

Radiofarmakum

Nejoptimálnější diagnózu zprostředkuje aplikace značených autologních erytrocytů. Pokud nejsou $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -značené erytrocyty k dispozici nebo pokud čas neumožňuje provést značení, používá se jako zobrazovací látka pro krvácení do gastrointestinálního traktu $^{99\text{m}}\text{Tc}$ -koloid, který však není tak přesný (Mettler & Guiberteau, 2019). Použití značených červených krvinek je na rozdíl od koloidu, vhodné i pro detekci krvácení do jater a sleziny (Kupka, 2015). Autologní erytrocyty jsou značeny $^{99\text{m}}\text{Tc}$ in vitro (pomocí kitu v laboratoři) nebo in vivo – značení $^{99\text{m}}\text{TcO}_4$ za 30 minut po intravenózní premedikaci 20mg/kg Sn-pyrofosfátem a p.o. podání chloristanu. Aktivita radiofarmaka se pohybuje mezi 400–1000 MBq, u dětí je aktivita přepočtena dle tabulek.

Průběh vyšetření

Před vyšetřením není třeba žádná speciální příprava. Současně s aplikací značených erytrocytů intravenózní cestou spouštíme dvou až tří minutovou dynamickou studii a sledujeme abdominální oblast v přední projekci. Následuje série statických scintigramů. V prvních 60–90 minutách nahráváme statické scintigramy po 15 až 20 minutách a poté v hodinových intervalech. Dle nálezu je možné doplnit scintigramy v bočné nebo zadní projekci. Vyšetření je

ukončeno v případě průkazu krvácení nebo pokud nelze z technických důvodů ve vyšetření již pokračovat. Krvácení do GITu má často nepravidelný charakter, proto je vyšetření časově náročné, někdy až 8 hodin (MZČR, 2016).

6.10 Ostatní zobrazovací metody NM v GIT

Mezi méně časté vyšetření, které mohou stále některá pracoviště provozovat, patří např. tranzitní scintigrafie tlustého střeva. Metoda je užitečná pro pacienty, zejména pokud jsou jiné metody, jako je kolonoskopie nevhodné či nedostačující. Podobně můžeme sledovat transport a permeabilitu tenkého střeva. Hematology může být výjimečně indikováno vyšetření resorpce vitamínu B₁₂, kterým pomáhá v diagnostice anémie (perorální podání ⁵⁷Co nebo ⁵⁸Co značeného vitamínu). Dále stanovení ztrát bílkovin střevní stěnou, detekce přítomnosti *Helicobacter Pylori* v žaludeční sliznici či diagnostika duodenogastrického refluxu.

Pro přehlednost diagnostických zobrazovacích metod v gastroenterologii si uvedme také scintigrafie slinných žláz. Indikací scintigrafie mohou být nádory, abscesy a cysty, zjištění poruch odtoku slin při sialolithiáze, zánětech a také diagnostika Sjörgrenova syndromu. Vyšetření začíná i.v. aplikací technecistanu sodného Na^{99m}TcO₄. Slinné žlázy vychytávají z krevního oběhu anionty ^{99m}TcO₄⁻, avšak ne všechny akumulují radiofarmakum stejně, žlázy příušní a podjazykové jej akumulují pomaleji, za to ale intenzivněji než žlázy podčelistní. Dynamická studie v přední projekci se spouští okamžitě s i.v. aplikací radiofarmaka po dobu 40 min. Ve 20. minutě, tedy v polovině vyšetření, je jako salivační podmět podána citronová šťáva (Kupka, 2015).

Závěr

Diagnostické metody nukleární medicíny představují jeden z klíčových prvků v moderním přístupu k diagnostice onemocnění trávicího traktu. V průběhu této bakalářské práce jsme prozkoumali jednotlivé metody NM, které určením přesné lokalizace a charakteru patologických změn, přispívají k rychlému a přesnému stanovení diagnózy, což může vést k rychlejšímu zahájení léčby a zlepšení kvality života pacientů.

Prvním cílem bylo předložit informace o oboru nukleární medicíny, o využívané přístrojové technice a vzniku obrazu. Základním principem nukleární medicíny je využití radioaktivních látek, které se dostávají do těla pacienta a umožňují získat informace o funkci a struktuře orgánů pomocí detekce jejich emitovaného záření. Základní charakteristika radiofarmak, výroba a aplikace je popsána v kapitole 2.4.

S aplikací radiofarmak neodmyslitelně patří dodržování principů radiační ochrany. Druhým dílčím cílem bylo tedy předložit dohledané poznatky o radiační ochraně pacienta i personálu před nežádoucími účinky ionizujícího záření.

Dále jsou předloženy dohledané poznatky o patofyziologii gastrointestinálního traktu, především o nádorech a poruchách motility jako jedněch z nejčastějších indikací na NM. Na široké pole patologických stavů navazuje přehled dalších zobrazovacích metod využívaných k diagnostice patologických stavů v gastroenterologii.

Jádrem bakalářské práce je popis jednotlivých metody nukleární medicíny od přípravy pacienta, aplikace radiofarmaka, až k samotnému provedení. Jsou předloženy informace o diagnostice nádorů pozitronovou emisní tomografií i scintigrafickými metodami, o identifikaci zánětů, poruchách motility jícnu a žaludku, přítomnosti GER či ektopické sliznice Meckelova divertiklu. Jsou popsány principy scintigrafie jater, malabsorpce žlučových kyselin a lokalizace místa krvácení do GIT.

Tato práce slouží k seznámení s problematikou zobrazovacích metod NM k zobrazení trávicího traktu pro studenty radiologické asistence či jiných zdravotnických oborů. Doufáme, že naše práce přispěje k lepšímu porozumění diagnostických metod nukleární medicíny v oblasti gastroenterologie.

Seznam použité literatury

Al Bulushi, N., Al Suqri, B., Al Aamri, M., Al Hadidi, A., Al Jahdami, H., Al Zadjali, M., & Al Risi, M. (2019). Diagnostic accuracy of technetium-99m-octreotide in imaging neuroendocrine tumors, Oman hospital experience with literature review. *World journal of nuclear medicine*, 18(2), 137–142. https://doi.org/10.4103/wjnm.WJNM_36_18

Arnon-Sheleg, E., Farraj, M., Michael, S., Mari, A., Khoury, T., & Sbeit, W. (2023). Modified Hepatobiliary Scintigraphy for the Diagnosis of Bile Reflux in One-Anastomosis Gastric Bypass Surgery: a Prospective Multicenter Study. *Obesity surgery*, 33(7), 1997–2004. <https://doi.org/10.1007/s11695-023-06632-0>

Aziz, H., Brown, Z. J., Baghdadi, A., Kamel, I. R., & Pawlik, T. M. (2022). A Comprehensive Review of Hepatic Hemangioma Management. *Journal of gastrointestinal surgery : official journal of the Society for Surgery of the Alimentary Tract*, 26(9), 1998–2007. <https://doi.org/10.1007/s11605-022-05382-1>

Bencsiková, B., Řehák, Z., Budinský, M., Hejnová, R., Kozáková, Š., Kiss, I., Demlová, R., & Svoboda, M. (2019). 68Ga-DOTA-TOC PET/CT vyšetření u pacienta s gastroenteropankreatickým neuroendokrinním nádorem – první vyšetření v České republice. *Klinická onkologie*, 32(5), 390-392.

Berg, P., & McCallum, R. (2016). Dumping Syndrome: A Review of the Current Concepts of Pathophysiology, Diagnosis, and Treatment. *Digestive Diseases and Sciences*, 61(1), 11-18. <https://doi.org/10.1007/s10620-015-3839-x>

Dohnalová, D. (2014). *Repetitorium patologie pro praktická cvičení*. Univerzita Palackého v Olomouci.

Dylevský, I. (2019). *Somatologie: pro předmět Základy anatomie a fyziologie člověka* (3. přepracované a doplněné vydání). Grada Publishing.

Fakultní nemocnice Olomouc. (2023, October 25). *Katalog místních radiologických standardů-nukleární medicína* (version 6) [Workflow]. Fakultní nemocnice Olomouc

Fani, B., Bertani, L., Paglianiti, I., Fantechi, L., De Bortoli, N., Costa, F., Volterrani, D., Marchi, S., & Bellini, M. (2018). Pros and Cons of the SeHCAT Test in Bile Acid Diarrhea: A More Appropriate Use of an Old Nuclear Medicine Technique. *Gastroenterology research and practice*, 2018, 2097359. <https://doi.org/10.1155/2018/2097359>

Fujimori, S., Hamakubo, R., Hoshimoto, A., Nishimoto, T., Omori, J., Akimoto, N., Tanaka, S., Tatsuguchi, A., & Iwakiri, K. (2022). Risk factors for small intestinal adenocarcinomas that are common in the proximal small intestine. *World Journal of Gastroenterology*, 28(39), 5658-5665. <https://doi.org/10.3748/wjg.v28.i39.5658>

Gherghe, M., Lazar, A. M., Simion, L., Irimescu, I. -N., Sterea, M. -C., Mutuleanu, M. -D., & Anghel, R. M. (2023). Standardized Uptake Values on SPECT/CT: A Promising Alternative Tool for Treatment Evaluation and Prognosis of Metastatic Neuroendocrine Tumours. *Diagnostics*, 13(2). <https://doi.org/10.3390/diagnostics13020318>

Gonzalez, Z., Herlihy, D., Phan, C., Diaz, J., Dominguez, K., & McCallum, R. (2020). Alcohol and Gastric Motility: Pathophysiological and Therapeutic Implications. *Journal of Investigative Medicine*, 68(5), 965-971. <https://doi.org/10.1136/jim-2020-001327>

Jashari, A., Kaçiu, Y., Anastasova, M., & Janevik-Ivanovska, E. (2021). The Place of Technetium 99M Radiopharmaceuticals for Imaging of Neuroendocrine Tumors. *Knowledge: International Journal*, 45(7), 1461–1465.

Khalid, H. B., Hassan, A., & Gill, S. M. (2023). Hepatic Haemangioma: A Diagnostic Dilemma With An Easy Solution. *JPMA. The Journal of the Pakistan Medical Association*, 73(9), 1921–1922. <https://doi.org/10.47391/JPMA.23-67>

Kobiela, J., Kaska, Ł., Pindel, M., Szarmach, A., Janiak, M., Proczko-Markuszczyńska, M., Stefaniak, T., Łaski, D., Łachiński, A., & Śledziński, Z. (2015). Dynamics of quality of life improvement after floppy Nissen fundoplication for gastroesophageal reflux disease. *Wideochirurgia i inne techniki maloinwazyjne = Videosurgery and other miniinvasive techniques*, 10(3), 389–397. <https://doi.org/10.5114/wiitm.2015.54187>

Koranda, P. (2014). *Nukleární medicína*. Univerzita Palackého v Olomouci.

Kraft, O., & Havel, M. (2020). *Nukleární medicína pro studenty se specifickými potřebami*. Ostravská univerzita.

Kraft, O., & Pekárek, J. (2014). *Radiofarmaka: skriptum*. Ostravská univerzita v Ostravě.

Kubinyi, J., Sabol, J., & Vondrák, A. (2018). *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami*. Grada Publishing.

Kupka, K., Kubinyi, J., & Šámal, M. (2015). *Nukleární medicína* (6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K). P3K.

Li, W., Li, R., Zhao, X., Lin, X., Yu, Y., Zhang, J., Chen, K., Chai, W., & Yan, F. (2021). Differentiation of Hepatocellular Carcinoma from Hepatic Hemangioma and Focal Nodular Hyperplasia using Computed Tomographic Spectral Imaging. *Journal of clinical and translational hepatology*, 9(3), 315–323. <https://doi.org/10.14218/JCTH.2020.00173>

Mehrotra, R., Tulsyan, S., Hussain, S., Mittal, B., Singh Saluja, S., Singh, S., Tanwar, P., Khan, A., Javle, M., Hassan, M. M., Pant, S., De Aretxabala, X., Sirohi, B., Rajaraman, P., Kaur, T., & Rath, G. K. (2018). Genetic landscape of gallbladder cancer: Global overview. *Mutation Research/Reviews in Mutation Research*, 778, 61-71. <https://doi.org/10.1016/j.mrrev.2018.08.003>

Mettler, F. A., & Guiberteau, M. J. (2019). *Essentials of nuclear medicine and molecular imaging* (7th edition). Elsevier.

Mihailovič, J., Matovina, E., & Nikoletič, K. (2015). 18F-fluorideoxyglucose positron emission tomography/computed tomography imaging: artifacts and pitfalls. *Medicinski pregled*, 68(1-2), 41–48. <https://doi.org/10.2298/mpns1502041m>

Ministerstvo zdravotnictví České republiky. (2016, January 21). *Standardy zdravotní péče - „Národní radiologické standardy – nukleární medicína“*. Soubor doporučení a návod pro tvorbu místních radiologických postupů (standardů) na diagnostických a terapeutických pracovištích nukleární medicíny v České republice. Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky, částka 2. Retrieved March 1, 2024 from: <https://www.mzcr.cz/wp-content/uploads/wepub/11347/36103/Vestník%20MZ%20ČR%202-2016.pdf>

Najjar, R. (2023). Radiology's Ionising Radiation Paradox: Weighing the Indispensable Against the Detrimental in Medical Imaging. *Cureus*. <https://doi.org/10.7759/cureus.41623>

Prakash, S., Sunil, J., Shivakumar, M., Shaikh, O., & Balasubramanian, G. (2023). Incidental Meckel's Diverticulum in Umbilical Hernia. *Cureus*, 15(6), e41115. <https://doi.org/10.7759/cureus.41115>

Quak, E., Weyts, K., Jaudet, C., Prigent, A., Foucras, G., & Lasnon, C. (2023). Artificial intelligence-based 68Ga-DOTATOC PET denoising for optimizing 68Ge/68Ga generator use throughout its lifetime. *Frontiers in Medicine*, 10. <https://doi.org/10.3389/fmed.2023.1137514>

Reid, F., Peacock, J., Coker, B., McMillan, V., Lewis, C., Keevil, S., Sherwood, R., Vivian, G., Logan, R., & Summers, J. (2016). A Multicenter Prospective Study to Investigate the Diagnostic Accuracy of the SeHCAT Test in Measuring Bile Acid Malabsorption: Research Protocol. *JMIR research protocols*, 5(1), e13. <https://doi.org/10.2196/resprot.4467>

Solnes, L. B., Sheikhabaei, S., & Ziessman, H. A. (2018). Nuclear Scintigraphy in Practice: Gastrointestinal Motility. *American Journal of Roentgenology*, 211(2), 260-266. <https://doi.org/10.2214/AJR.18.19787>

Šabata, L. (2019). *Nukleární medicína - technické základy: přístrojová a výpočetní technika v nukleární medicíně, základy radiofarmak a specifika radiační ochrany v nukleární medicíně*. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích, Zdravotně sociální fakulta.

Treglia, G. (2019). Diagnostic Performance of 18 F-FDG PET/CT in Infectious and Inflammatory Diseases according to Published Meta-Analyses. *Contrast Media & Molecular Imaging*, 2019, 1-12. <https://doi.org/10.1155/2019/3018349>

Turner, J. M., Pattni, S. S., Appleby, R. N., & Walters, J. R. F. (2017). A positive SeHCAT test results in fewer subsequent investigations in patients with chronic diarrhoea. *Frontline Gastroenterology*, 8(4), 279-283. <https://doi.org/10.1136/flgastro-2017-100826>

Ullmann, V. (2009). *Jaderná a radiační fyzika*. Ostravská univerzita v Ostravě, Fakulta zdravotnických studií.

Uppal, K., Shane Tubbs, R., Matusz, P., Shaffer, K., & Loukas, M. (2011). Meckel's diverticulum: A review. *Clinical Anatomy*, 24(4), 416-422. <https://doi.org/10.1002/ca.21094>

Vali, R., Daneman, A., McQuattie, S., & Shamma, A. (2015). The value of repeat scintigraphy in patients with a high clinical suspicion for Meckel diverticulum after a negative or equivocal

first Meckel scan. *Pediatric Radiology*, 45(10), 1506-1514. <https://doi.org/10.1007/s00247-015-3340-x>

Vomáčka, J., Nekula, J., & Kozák, J. (2023). *Zobrazovací metody pro radiologické asistenty* (Třetí, doplněné vydání). Univerzita Palackého v Olomouci.

Weitzer, F., Nazerani Hooshmand, T., Pernthaler, B., Sorantin, E., & Aigner, R. M. (2022). Diagnostic value of F-18 FDG PET/CT in fever or inflammation of unknown origin in a large single-center retrospective study. *Scientific Reports*, 12(1). <https://doi.org/10.1038/s41598-022-05911-7>

Wickremasinghe, A. C., Johari, Y., Yue, H., Laurie, C., Shaw, K., Playfair, J., Beech, P., Hebbard, G., Yap, K. S., Brown, W., & Burton, P. (2023). Changes in Oesophageal Transit, Macro-Reflux Events, and Gastric Emptying Correlate with Improvements in Gastro-Intestinal Symptoms and Food Tolerance Early Post Sleeve Gastrectomy. *Obesity surgery*, 33(8), 2384–2395. <https://doi.org/10.1007/s11695-023-06695-z>

Wu, Y. W., Tseng, P. H., Lee, Y. C., Wang, S. Y., Chiu, H. M., Tu, C. H., Wang, H. P., Lin, J. T., Wu, M. S., & Yang, W. S. (2014). Association of esophageal inflammation, obesity and gastroesophageal reflux disease: from FDG PET/CT perspective. *PloS one*, 9(3), e92001. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0092001>

Yamoto, M., Fukumoto, K., Takahashi, T., Miyake, H., Nakaya, K., Nomura, A., Sekioka, A., Yamada, Y., & Urushihara, N. (2021). Risk factors of dumping syndrome after fundoplication for gastroesophageal reflux in children. *Pediatric Surgery International*, 37(2), 183-189. <https://doi.org/10.1007/s00383-020-04783-0>

Zanotti-Fregonara, P., & Hindie, E. (2017). Performing nuclear medicine examinations in pregnant women. *Physica Medica*, 43, 159-164. <https://doi.org/10.1016/j.ejmp.2017.05.043>

Zavoral, M. (Ed.). (2021). *Mařatkova gastroenterologie: patofyziologie, diagnostika, léčba*. Univerzita Karlova, nakladatelství Karolinum.

Zhang, X., Wang, Y., & Meng, L. (2022). Comparative genomic analysis of esophageal squamous cell carcinoma and adenocarcinoma: New opportunities towards molecularly targeted therapy. *Acta Pharmaceutica Sinica B*, 12(3), 1054-1067. <https://doi.org/...028>

Seznam použitých zkratek

&	a
%	procenta
3D	trojrozměrný
^{99m}Tc	99-metastabilní izotop technecia
$^{99m}\text{TcO}_4^-$	technecistan
Al_2O_3	oxid hlinitý
atd.	a tak dále
BAM	bile acid malabsorption; malabsorpce žlučových kyselin
BGO	bismut germanium oxid
cm	centimetr
CNS	centrální nervová soustava
^{57}Co	kobalt-57
^{58}Co	kobalt-58
CT	computed tomography, počítačová tomografie
č.	číslo
DOPA	dihydroxyphenylalanine
DOTA-TOC	DOTA-[Tyr3]-octreotide
DRÚ	diagnostická referenční úroveň
DTPA	diethylentriaminpentaoctová kyselina
EBV	virus Ebsteina-Barrové
et al.	a další
^{18}F	fluor-18
FDG	fluorodeoxyglukóza
FNOL	Fakultní nemocnice Olomouc
^{68}Ga	galium-68

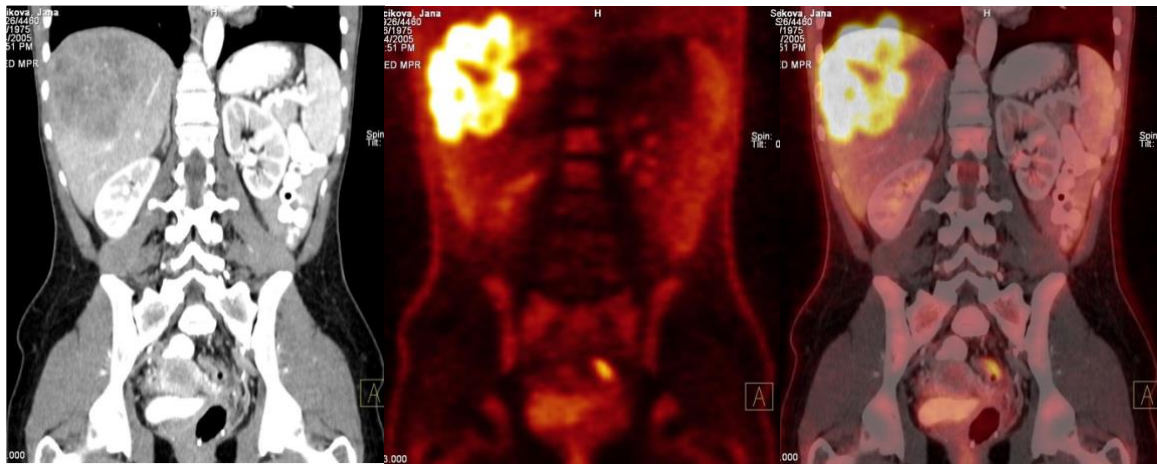
^{68}Ge	germanium-68
GER	gastroezofageální reflux
GIT	gastrointestinální trakt
HCl	kyselina chlorovodíková
HIV	Human Immunodeficiency Virus
HMPAO	Hexamethylpropyleneamin oxim
hod.	hodina
HYNIC-TOC	hydrazinonicotinamide-Tyr3-oktreotid
^{123}I	jod-123
^{131}I	jod-131
i.v.	intravenózní aplikace
^{111}In	indium-111
^{40}K	draslík-40
keV	kiloelektronvolt
$^{81\text{m}}\text{Kr}$	81-metastabilní izotop kryptonu
LSO	lutetium ortosilikát
MBq	megabequerel
mg	miligram
MIBG	metajodbenzylguanidin
min.	minimálně
ml	mililitr
mmol/l	milimol na litr
^{99}Mo	molybden-99
MR	magnetická rezonance
mRS	místní radiologické standardy
MZČR	Ministerstvo zdravotnictví České republiky

$\text{Na}^{99\text{m}}\text{TcO}_4^-$	technecistan sodný
NaCl	chlorid sodný
např.	například
NEN	neuroendokrinní nádory
NM	nukleární medicína
p.o.	per os
PET	pozitronová emisní tomografie
^{81}Rb	rubidium-81
s	sekunda
Sb.	sbírky
SeHCAT	Selenium HomoCholic Acid Taurine Test
SPECT	Single-Photon Emission Computed Tomography
tzv.	takzvaný

Seznam obrázků

Obrázek 1

PET/CT – karcinomu tlustého střeva a metastázy v játrech

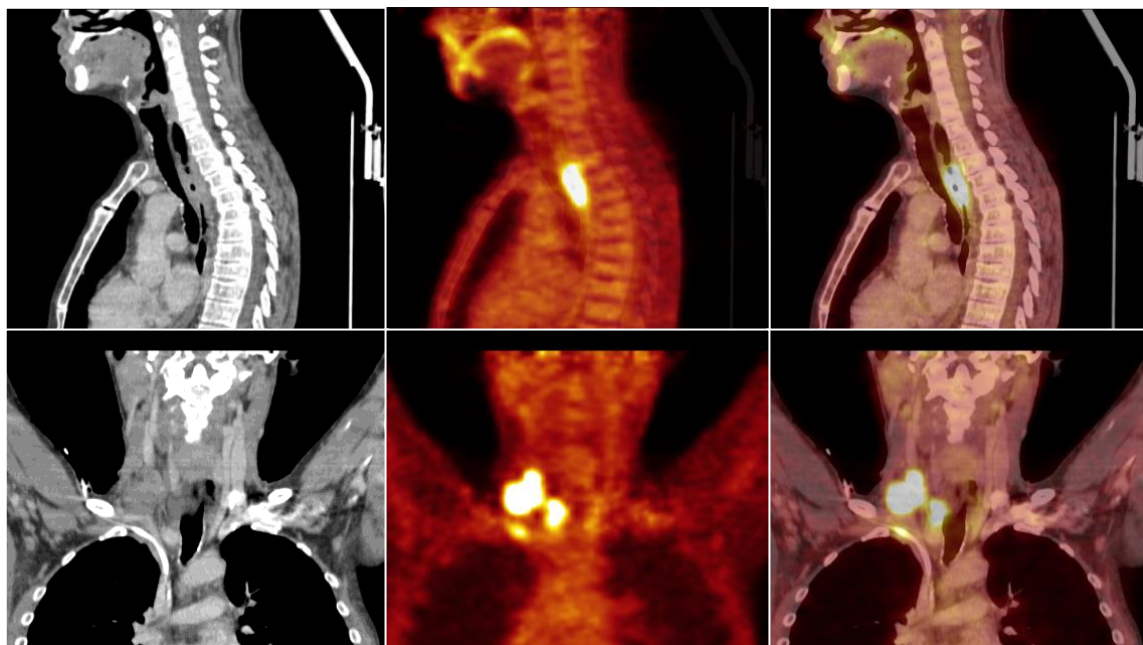


PET/CT vyšetření v koronární rovině. Vlevo CT abdominální oblasti, uprostřed PET, vpravo fúze PET/CT.

Zdroj: Archiv KNM FNOL.

Obrázek 2

PET/CT – Karcinom jícnu

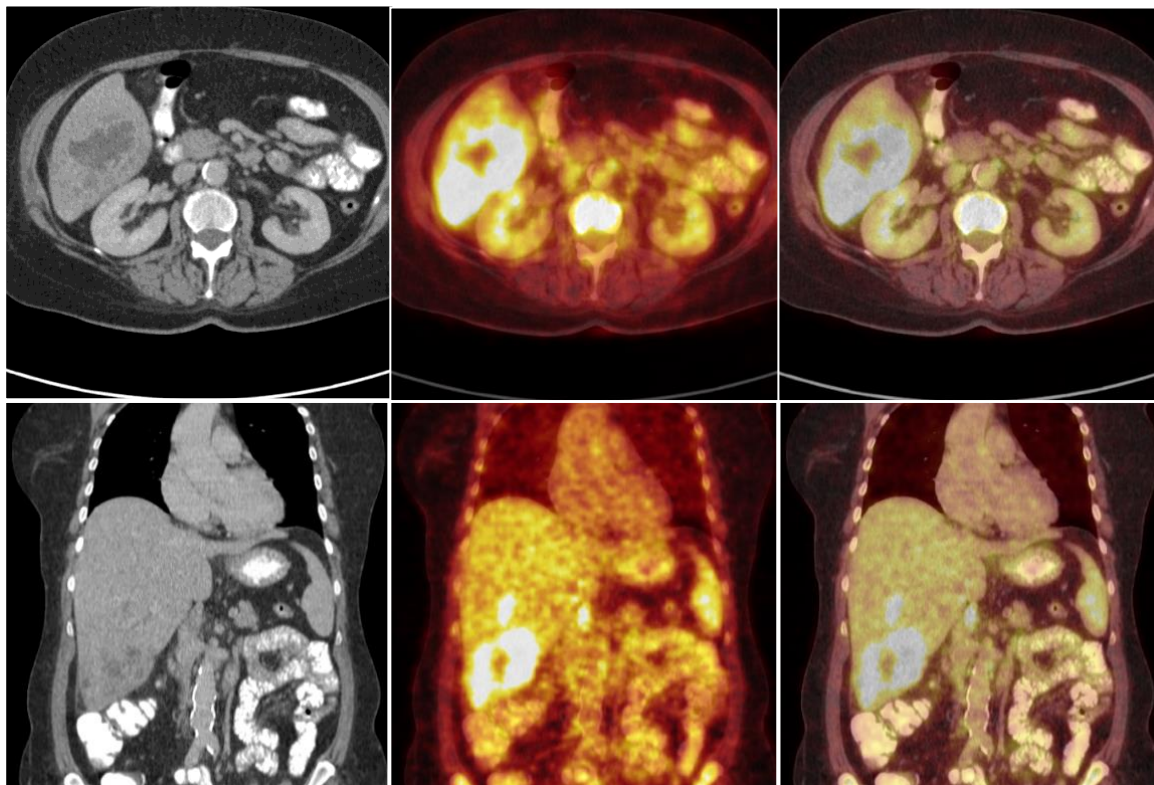


PET/CT vyšetření oblasti jícnu. Vlevo CT obraz, uprostřed PET, vpravo fúze obrazů. Horní projekce v rovině sagitální, dolní projekce v rovině koronární.

Zdroj: Archiv KNM FNOL.

Obrázek 3

PET/CT – Mnohočetné abscesy v játrech

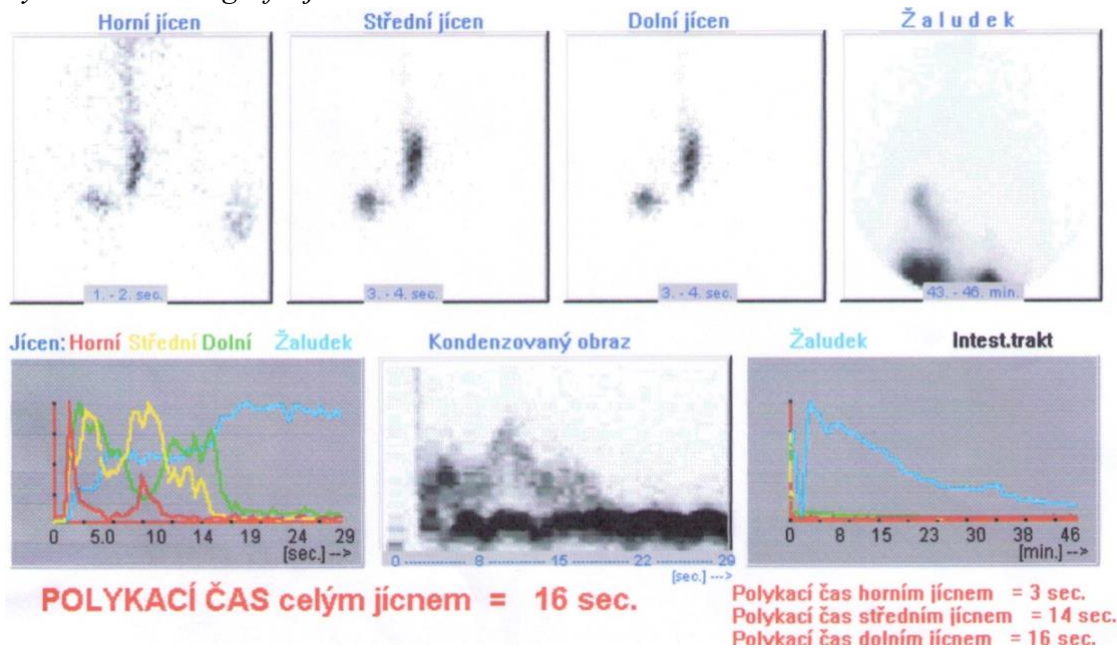


Horní řada zleva CT obraz v oblasti jater a ledvin, uprostřed PET obraz, vpravo fúze obrazů v axiální rovině.
Dolní řada projekcí v rovině koronární.

Zdroj: Archiv KNM FNOL.

Obrázek 4

Dynamická scintigrafie jícnu

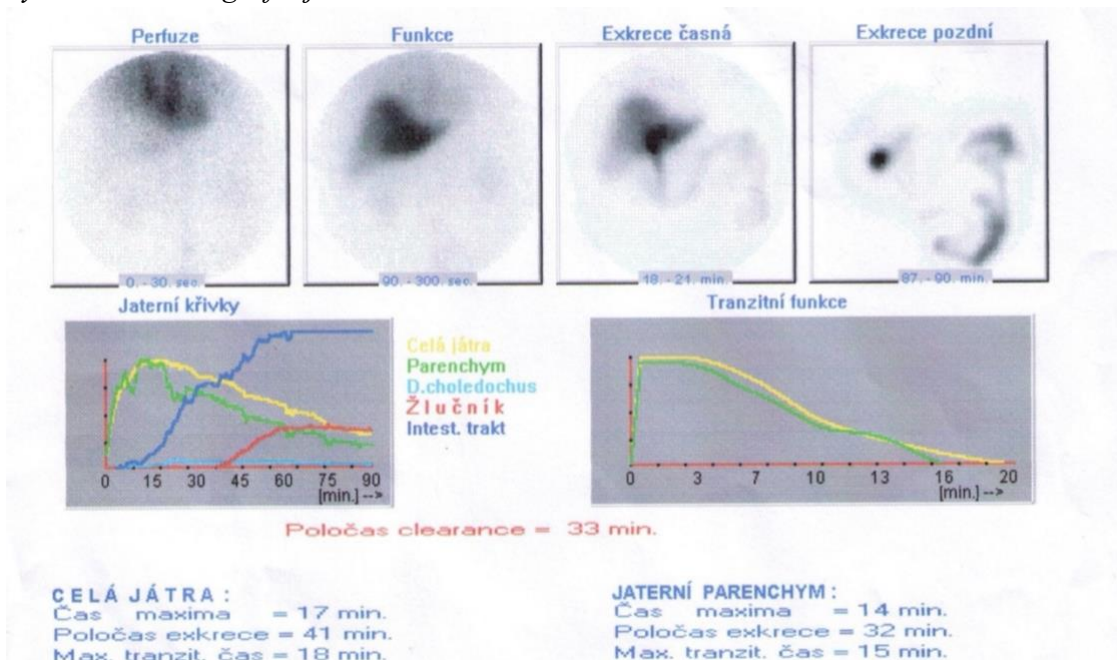


Série scintigramů, četnostní křivky průchodu sousta jednotlivými částmi jícnu a kondenzovaný obraz.

Zdroj: Archiv KNM FNOL.

Obrázek 5

Dynamická scintigrafie jater

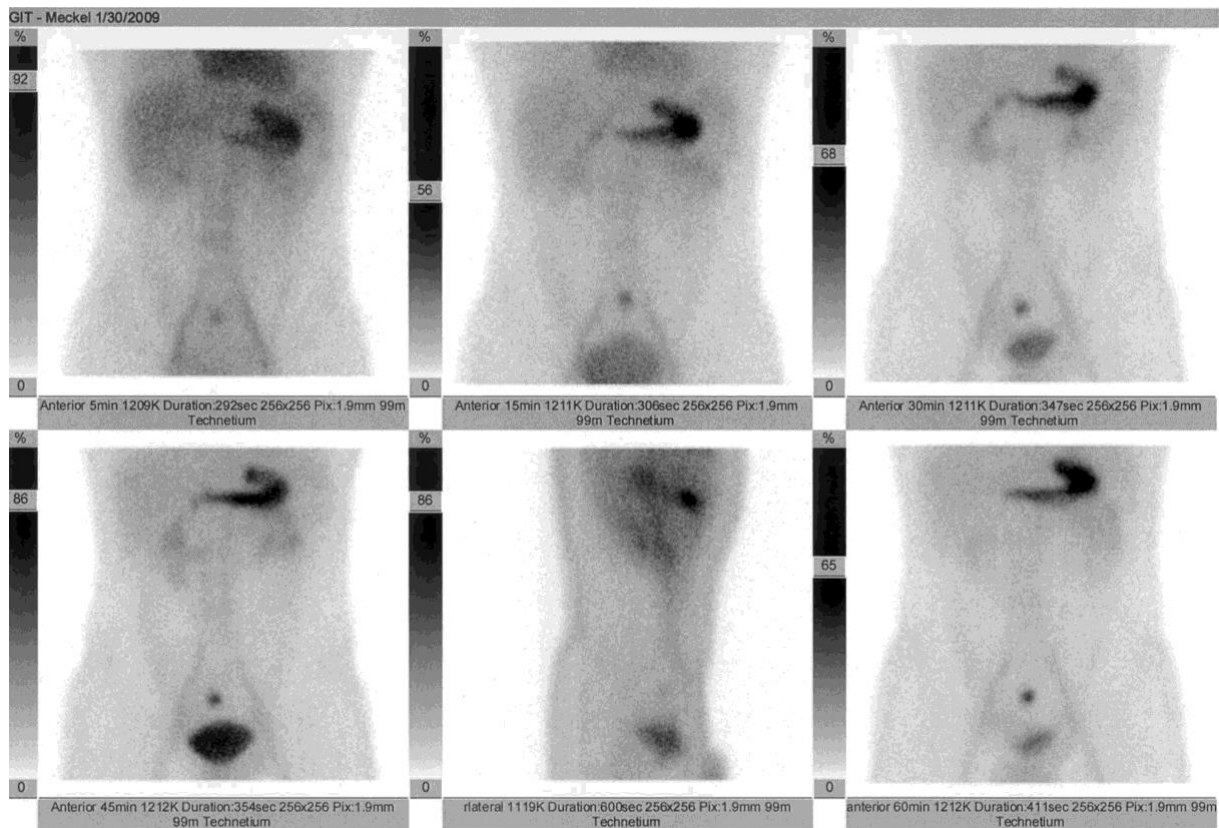


Série scintigramů a četnostní křivky průběhu aktivity v čase jednotlivými oddíly.

Zdroj: Archiv KNM FNOL.

Obrázek 6

Detekce Meckelova divertiklu



Série scintigramů v koronární rovině (s výjimkou scintigramu druhá řada uprostřed, viz popis)

Zdroj: Archiv KNM FNOL.