

UNIVERZITA PALACKÉHO V OLMOUCI

FAKULTA ZDRAVOTNICKÝCH VĚD

Ústav radiologických metod

Veronika Dostálová

Radionuklidová diagnostika centrální nervové soustavy

Bakalářská práce

Vedoucí práce: Mgr. Veronika Hegerová

Olomouc 2026

Prohlašuji, že jsem tuto bakalářskou práci vypracovala samostatně a použila jen uvedené bibliografické a elektronické zdroje.

Dále prohlašuji, že při vypracování této práce byla použita umělá inteligence, přesněji model Gemini, v souladu s Doporučením Univerzity Palackého v Olomouci pro využívání generativních modelů AI. Nástroje umělé inteligence byly tedy využívány pouze pro stylistickou a formální úpravu textu, nikoliv jako náhrada tvůrčí práce nebo odborné rešeršní činnosti.

Ráda bych tímto poděkovala Mgr. Veronice Hegerové za cenné rady a vstřícnost při vedení mé bakalářské práce.

ANOTACE

Typ závěrečné práce: Bakalářská práce

Téma práce: Radionuklidová diagnostika centrální nervové soustavy

Název práce: Radionuklidová diagnostika centrální nervové soustavy

Název práce v AJ: Radionuclide imaging of the central nervous system

Datum zadání: 2025-11-27

Datum odevzdání: 2026-04-30

Vysoká škola, fakulta, ústav: Univerzita Palackého v Olomouci
Fakulta zdravotnických věd
Ústav radiologických metod

Autor práce: Veronika Dostálová

Vedoucí práce: Mgr. Veronika Hegerová

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

Abstrakt v ČJ: Tato bakalářská práce se zabývá radionuklidovou diagnostikou centrální nervové soustavy, která umožňuje neinvazivní funkční hodnocení mozkové tkáně. Hlavním cílem je sjednocení teoretických poznatků a poskytnutí jejich syntézy v přímé návaznosti na aktuální trendy a provoz Kliniky nukleární medicíny Fakultní nemocnice Olomouc s ohledem na specifika práce radiologického asistenta. Práce nejprve popisuje základní principy využívané zobrazovací techniky (SPECT, PET a jejich hybridní formy) a vlastnosti příslušných radiofarmak. Jádrem textu je analýza pěti vybraných vyšetření dostupných na zmíněném pracovišti: SPECT vyšetření mozkové perfuze, stanovení mozkové smrti, zobrazení dopaminových transportérů ^{123}I -ioflupanem, detekce amyloidových plaků ^{18}F -flutemetamolem a diagnostika mozkových nádorů pomocí ^{18}F -FLT. U těchto vyšetření je detailně vymezena pracovní náplň radiologického asistenta, zahrnující přípravu pacienta, polohování a samotný průběh akvizice dat. Závěrečná část práce mapuje perspektivní trendy v neurozobrazování, konkrétně detekci Tau proteinu a proteinu α -synuklein metodou PET. Výsledný text propojuje teoretické poznatky s reálnou klinickou praxí a může sloužit jako ucelený edukační materiál pro studenty radiologické asistence.

Abstrakt v AJ: This bachelor's thesis focuses on radionuclide diagnostics of the central nervous system, which enables non-invasive functional assessment of brain tissue. The main objective is to consolidate theoretical knowledge and provide a synthesis of this knowledge in direct connection with current trends and the operations of the Department of Nuclear Medicine at the University Hospital Olomouc, with regard to the specific nature of the work of a radiology assistant. The thesis first describes the basic principles of the imaging techniques used (SPECT, PET, and their hybrid forms) and the properties of the relevant radiopharmaceuticals. The core of the text is an analysis of five selected examinations

available at the aforementioned facility: SPECT examination of cerebral perfusion, determination of brain death, imaging of dopamine transporters with ^{123}I -ioflupane, detection of amyloid plaques with ^{18}F -flutemetamol, and diagnosis of brain tumors using ^{18}F -FLT. For these examinations, the duties of the radiology assistant are defined in detail, including patient preparation, positioning, and the actual data acquisition process. The concluding section of the thesis outlines future trends in neuroimaging, specifically the detection of tau protein and α -synuclein protein using PET. The resulting text integrates theoretical knowledge with real-world clinical practice and can serve as comprehensive educational material for radiology assistant students.

Klíčová slova v ČJ: Radionuklidová diagnostika, centrální nervová soustava, nukleární medicína, SPECT, PET, radiofarmaka, onemocnění centrální nervové soustavy

Klíčová slova v AJ: Radionuclide imaging, central nervous system, nuclear medicine, SPECT, PET, radiopharmaceuticals, diseases of the central nervous system

Rozsah: 44/0

Obsah

Úvod	7
Rešeršní činnost	9
1 Radionuklidová diagnostika	11
1.1 Zobrazovací technika	11
1.2 Radiofarmaka	14
2 Vyšetření v radionuklidové diagnostice CNS	16
2.1 SPECT vyšetření mozkové perfuze	16
2.2 Stanovení mozkové smrti	20
2.3 Zobrazení dopaminových transportérů pomocí ^{123}I -ioflupan	22
2.4 Zobrazení amyloidových plaků pomocí ^{18}F -flutemetamol	25
2.5 Diagnostika mozkových nádorů pomocí ^{18}F -FLT	28
3 Aktuální trendy v radionuklidové diagnostice CNS	32
3.1 Zobrazení Tau proteinu metodou PET	32
3.2 Zobrazení proteinu α -synuklein metodou PET	32
Význam a limitace dohledaných poznatků	34
Závěr	35
Referenční seznam	37
Seznam zkratk	44

Úvod

Radionuklidová diagnostika centrální nervové soustavy je oblast nukleární medicíny, která umožňuje neinvazivní funkční hodnocení tkání tohoto orgánového systému. Zaměřuje se hlavně na zobrazení dějů, jako jsou perfuze, metabolismus nebo distribuce receptorů v mozkové tkáni (Muhleman et al., 2025).

Tato oblast nukleární medicíny zastřešuje širokou škálu patologií. Významnou část svého uplatnění nachází v diagnostice neurodegenerativních onemocnění ze skupiny demencí, jako je například Alzheimerova choroba, nebo motorických poruch, pod které spadá například parkinsonismus. Neméně významnou je radionuklidová diagnostika v oblasti neuroonkologie, kde přispívá k plánování a mapování průběhu léčby mozkových malignit. Samotné spektrum indikací pro tuto oblast nukleární medicíny sahá až k diagnostice epileptických ložisek nebo vyšetření deficitu perfuze mozku (Kamínek, 2024).

V diagnostice onemocnění centrálního nervového systému se standardně využívají strukturální zobrazovací metody, jako jsou výpočetní tomografie nebo magnetická rezonance. V mnoha případech však morfologické změny mozkové tkáně zaostávají za změnami metabolickými. Právě zde spočívá nezastupitelný přínos radionuklidové diagnostiky. Zobrazovací metody nukleární medicíny, jako jsou scintilační kamery, PET, SPECT nebo jejich hybridní formy, umožňují za využití specifických radiofarmak posoudit funkční stav tkáně a detekovat patologické procesy na molekulární úrovni dříve, než dojde k samotnému poškození napadených struktur (Muhleman et al., 2025).

Za účelem užšího propojení bakalářské práce s praxí se text zaměřuje na metody dostupné na Klinice nukleární medicíny Fakultní nemocnice Olomouc. Zvolená vyšetření reprezentují klíčové oblasti, které radionuklidová diagnostika CNS zastřešuje, konkrétně neurodegenerativní onemocnění, neuroonkologii, perfuzní poruchy mozku a lokalizaci epileptogenních ložisek.

Hlavním cílem této bakalářské práce je sjednocení teoretických poznatků o radionuklidové diagnostice centrální nervové soustavy a poskytnutí jejich ucelené syntézy v přímé návaznosti na aktuální poznatky a na provoz Kliniky nukleární medicíny Fakultní nemocnice Olomouc s ohledem na práci radiologického asistenta.

Tento cíl byl rozdělen na následující dílčí cíle:

1. Popsat základní principy radionuklidové diagnostiky, jako jsou radionuklidy, radiofarmaka a zobrazovací technika v nukleární medicíně
2. Analyzovat vybraná radionuklidová vyšetření CNS dostupná na pracovišti FNOL a detailně vymezit pracovní náplň radiologického asistenta u těchto konkrétních vyšetření.
3. Zmapovat vybrané aktuální trendy z oblasti radionuklidové diagnostiky CNS

Za účelem vypracování této bakalářské práce byla zvolena a prostudována tato vstupní literatura:

1. Kamínek, M. (2024). *Nukleární medicína* (2., přepracované vydání). Univerzita Palackého v Olomouci.
2. Doležal, J., & Krčálová, E. (2019). Radionuclide imaging of central nervous system. *Česká radiologie*, 73(3), 177-182. <https://doi.org/10.55095/cesradiol2019/026>
3. Calabria, F., Leporace, M., Cimini, A., Ricci, M., Travascio, L., & Bagnato, A. (2023). Positron Emission Tomography Molecular Imaging of the Major Neurodegenerative Disorders: Overview and Pictorial Essay, from a Nuclear Medicine Center's Perspective. *Journal of Integrative Neuroscience*, 22(6), 172-172. <https://doi.org/10.31083/j.jin2206172>
4. Bronte, A., Prieto, E., Quincoces, G., Erro, E., & Arbizu, J. (2025). The basics of PET molecular imaging in neurodegenerative disorders with dementia and/or parkinsonism. *European Radiology*, 35(8), 4621-4634. <https://doi.org/10.1007/s00330-025-11388-5>
5. Kubinyi, J., Sabol, J., & Vondrák, A. (2018). Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami. *Grada Publishing*.

Rešeršní činnost

Vyhledávací kritéria:

Klíčová slova ČJ: Radionuklidová diagnostika, centrální nervová soustava, nukleární medicína, SPECT, PET, radiofarmaka, onemocnění centrální nervové soustavy

Klíčová slova AJ: Radionuclide imaging, central nervous system, nuclear medicine, SPECT, PET, radiopharmaceuticals, diseases of the central nervous system

Období: 2016–2026

Jazyk: český, anglický

Vyhledávací kritéria: recenzované publikace

Použité filtry: full text



Kombinace klíčových slov:

(("SPECT" OR "PET") AND ("hybrid imaging" OR "radiopharmaceuticals") AND ("radionuclide imaging") AND ("neuroimaging" OR "central nervous system")) OR (("brain perfusion") AND (SPECT) AND ("99mTc-HMPAO" OR "99mTc-ECD") AND ("epilepsy" OR "dementia" OR "cerebral perfusion")) OR (("brain death") AND (scintigraphy OR SPECT)) OR (("DaTSCAN" OR "123I-ioflupane") AND (SPECT) AND ("Parkinson's disease" OR parkinsonism)) OR (("flutemetamol" OR "18F-flutemetamol") AND (PET OR "positron emission tomography") AND (amyloid OR "Alzheimer's disease") NOT ("plasma" OR "cardiac*")) OR (("18F-FLT" OR fluorothymidine) AND (PET) AND ("brain tumor" OR glioma OR neuro-oncology)))



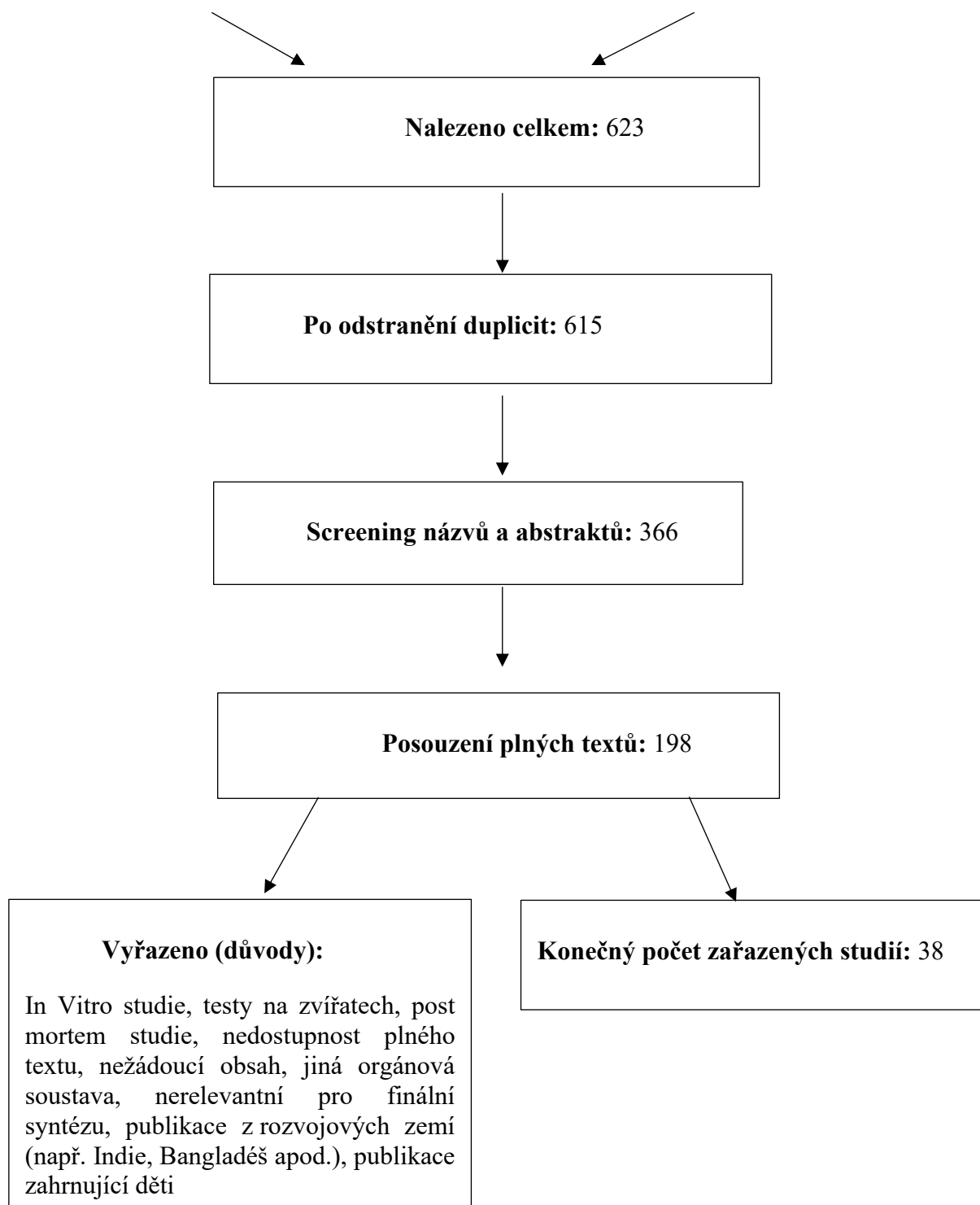
Databáze:

PubMed, Google Scholar



Jiné zdroje:

knižní zdroje, legislativní dokumenty, místní radiologické standardy, primární zdroje, odborné příručky, řetězové vyhledávání, ruční vyhledávání



1 Radionuklidová diagnostika

Radionuklidová diagnostika představuje vysoce specifickou oblast v rámci lékařských zobrazovacích metod. Jedná se o hlavní náplň oboru nukleární medicína. Zobrazování radionuklidovými metodami se opírá o dva hlavní pilíře: o specifické zobrazovací modalitty, které jsou založeny na zcela odlišném principu než běžná zobrazovací technika, a o využití radionuklidů ve formě radiofarmak pro samotné označení hledaných patologií in vivo (Kamínek, 2024).

1.1 Zobrazovací technika

Úplným základem zobrazování v nukleární medicíně je gamakamera. Ta nám umožňuje získat planární scintigram. Scintigrafii můžeme dělit na statickou a dynamickou. Důležitá je samotná stavba gamakamery, jelikož se od ní odvíjí modalita SPECT. Klíčový komponent zde tvoří scintilační krystal (jodid sodný aktivovaný thaliem), který reaguje na fotony vyzářené z γ zářiče. Aby se tyto částice dostaly ke zmíněnému krystalu, musí projít skrz olověný kolimátor. Tato část kamery hraje důležitou roli pro výsledný obraz. Funguje jako filtr pro γ fotony, které z pacienta vyzařují všemi směry po podání radiofarmaka. Kolimátor propustí pouze ty, které letí kolmo k detektoru. Po dosažení krystalu dojde ke scintilaci. Tyto záblesky viditelného světla dál postupují do fotonásobiče, kde je jejich signál zesílen, aby byl poté interpretován počítačem do výsledného obrazu - scintigramu (Kubinyi et al., 2018).

1.1.1 SPECT

Pro jednofotonovou emisní výpočetní tomografii platí, že SPECT skener je v podstatě scintilační kamera, která je schopná pohybu kolem pacienta. Pro potřeby této modalitty se využívají dvouhlavé scintilační kamery. Nasnímání pacienta z mnoha úhlů je stěžejní pro získání trojrozměrného obrazu. Rekonstrukce výsledného obrazu je prováděna zpětnou filtrovanou projekcí nebo iterativní rekonstrukcí. Z principu tedy vyplývá, že pro pořízení obrazu je třeba využít radiofarmakum značené γ radionuklidem (Kubinyi et al., 2018).

Přestože se tento druh jednofotonové emisní tomografie uchoval a je stále přítomen v klinické praxi, můžeme si všimnout nemalého pokroku v technologii SPECT. Mezi inovace, které jsou již dostupné pro klinickou praxi, se řadí polovodičové CZT (kadmium-zinek-telurid) detektory. Tyto detektory si našly uplatnění především v nukleární kardiologii. Hlavní výhody

spočívají ve snížení radiační zátěže pacienta pomocí vyšší senzitivity CZT detektorů, snížení času vyšetření a zvýšení kvality získaného obrazu. To vše vede k většímu komfortu pacienta při vyšetření. První CZT kamera pro klinické využití byla D-SPECT od Spectrum Dynamics, která disponovala svým open-gantry designem, šesti až devíti detektory a byla určena pouze pro nukleární kardiologii. Další skok ve vývoji této technologie představuje rozvoj mnohoúčelového SPECT s CZT detektory. Příkladem je komerčně dostupný VERITON od Spectrum Dynamics, který obsahuje 12 samostatných CZT detektorových ramen a lze ho využít i pro celotělová vyšetření nebo neuromolekulární zobrazování jako teoretickou alternativu k PET (Bouchareb et al., 2024).

1.1.2 Hybridní SPECT metody

Slabou stránkou zobrazování pomocí SPECT je obecně kvalita obrazu a schopnost prostorového rozlišení. Tento problém řeší hybridní metoda SPECT/CT. Jedná se už o běžnou metodu na klinikách nukleární medicíny. Je zde spojen princip detekce fotonů umělého rentgenového záření, za pomoci kterého lze získat anatomický obraz, a funkčního zobrazení tkání jednofotonovou emisní tomografií. Pro zmírnění radiační zátěže běží CT v nízkodávkovém režimu (Kamínek, 2024; Kubinyi et al., 2018).

V kontextu hybridních SPECT metod za zmínku stojí vývoj křemíkových fotonásobičů (SiPM) pro SPECT detektory. Klasický vakuový fotonásobič výrazně zvyšuje tloušťku kamery a interaguje s magnetickým polem. Oproti tomu SiPM, který disponuje tloušťkou v řádu milimetrů, na magnetické pole nereaguje. Navíc operuje při nižších hodnotách napětí s vysokou účinností detekce fotonů. Tyto aspekty otevírají cestu pro vývoj simultánních klinických SPECT/MR systémů (Cheng et al., 2025).

1.1.3 PET

Princip pozitronové emisní tomografie se značně liší od principu běžné scintilační kamery. Jodid sodný aktivovaný thaliem zde nahradily krystaly na bázi lutecia (Belcari et al., 2024). U této metody se liší druh použitých radionuklidů pro funkční zobrazování tkání. Technologie těží z anihilace pozitronů vyzářených z β^+ zářiče. Takto vyzářený pozitron doletí krátkou vzdáleností a ztratí veškerou svou energii v okolní tkáni, kde se srazí s elektronem a zanikne za vyzáření dvou fotonů. Pro fotony platí, že mají vždy stejnou energii o velikosti 511 keV a letí opačným směrem od místa svého vzniku. PET detektory, které jsou uspořádány

do prstence, zaznamenávají koincidenci těchto fotonů. Registrovány jsou pouze dopady dvou fotonů na protilehlých detektorech, ke kterým dojde současně. Nabízí se i možnost, kdy současně dopadnou na protilehlé detektory dva fotony ze dvou různých anihilací. Tento jev se označuje jako nepravá koincidence a ovlivňuje výsledný obraz. I přesto obecně platí, že metoda PET poskytuje lepší prostorové rozlišení a citlivost než scintilační kamery (Kubinyi et al., 2018).

1.1.4 Hybridní PET metody

Fúze PET a CT přinesla takový převrat na poli nukleární medicíny, že v současnosti již nejsou k dispozici samostatné PET skenery a PET/CT je novým standardem pro radionuklidovou diagnostiku (Belcari et al., 2024). Hlavní doménou PET/CT je současné snímání anatomické struktury a funkční aktivity tkáně pacienta a také možnost korekce atenuace záření pomocí CT. To významně zlepšuje kvantifikaci PET obrazu. Je nutno brát v potaz, že radiační zátěž pacienta při vyšetření touto modalitou se skládá jak z dávky obdržené za účelem diagnostiky pomocí PET, tak z dávky z CT. To vše je vyváжено zvýšenou diagnostickou výtěžností, kterou metoda nabízí. Vyšetření lze doplnit jodovou kontrastní látkou pro účely sledování patologií spojených s krevním průtokem (Kubinyi et al., 2018).

PET/MR

Největší posun na poli PET zobrazování představuje hybridní systém PET/MR. Ten propojuje strukturální zobrazení s funkčním PET obrazem. Hlavní překážkou tohoto spojení byla citlivost PET fotonásobičů na magnetické pole, které i při velmi malých intenzitách ovlivňovalo jejich fungování. Průlom nastal s vývojem polovodičových technologií, konkrétně křemíkových fotonásobičů. SiPM jsou vůči magnetickému poli necitlivé. V oblasti těchto fotonásobičů lze narazit na inovace ve formě digitálních křemíkových fotonásobičů, které přinášejí přesnější zpracování zachycených signálů. Jelikož magnetická rezonance vyniká v zobrazování měkkých tkání mnohem lépe než běžné CT, uplatňuje se tento přístroj primárně při komplexním sledování onkologických pacientů. Obrovský potenciál má však i v neurologii, kde překrytí těchto dvou modalit a využití nových druhů radiofarmak umožňuje detailně analyzovat dynamiku metabolických procesů u nervových onemocnění (Belcari et al., 2024). Vyšetření touto metodou lze doplnit příslušnou kontrastní látkou pro MR. Za zmínku stojí snížení radiační zátěže pacienta oproti PET/CT (Kubinyi et al., 2018).

1.2 Radiofarmaka

Obecně lze radiofarmaka chápat jako radioaktivní chemické sloučeniny, které jsou určeny pro léčebné účely. Řadíme je tedy mezi léčivé přípravky, které podáváme za účelem získání diagnostické informace nebo dosažení terapeutického účinku. V radiofarmaku najdeme zpravidla jeden nebo více radioaktivních izotopů – tzv. radionuklidů. Radionuklid je vybrán podle svých fyzikálních vlastností, aby bylo docíleno požadovaného účinku léčiva. Existuje několik způsobů syntézy radionuklidů pro potřeby nukleární medicíny. Mezi tyto způsoby řadíme výrobu pomocí cyklotronu (např. ^{18}F nebo ^{11}C), jaderného reaktoru (např. ^{99}Mo) nebo samostatných radionuklidových generátorů obsahujících mateřský radionuklid (nejčastěji molybden-techneciový generátor pro získání $^{99\text{m}}\text{Tc}$). Další složkou radiofarmaka je kromě specifického izotopu i biologicky účinná látka (tzv. nosič). Ta má za úkol doručit radiofarmakum do cílového místa, které potřebujeme zobrazit nebo ovlivnit. Děje se tak díky schopnostem tkání specificky či nespecificky vychytávat daný nosič. Biologicky účinnou látku lze získat samostatně pomocí tzv. kitů, které pak slouží pro individuální přípravu radiofarmak. Ta probíhá značením kitů daným radionuklidem přímo na pracovišti nukleární medicíny. Alternativně lze radiofarmakum zakoupit pro oddělení již hotové z hromadné výroby, tudíž bez nutnosti individuální přípravy. Samotné radionuklidy se liší svými fyzikálními a biochemickými charakteristikami, jako jsou poločasy rozpadu, způsoby rozpadu nebo energie záření. Podle způsobu rozpadu se radionuklidy dělí do tří základních kategorií - α , β , γ (Kubinyi et al., 2018).

1.2.1 Radionuklidy pro SPECT

Diagnostické radionuklidy vyzařující během svého rozpadu pouze jeden γ foton jsou běžně používány v metodě SPECT. Nejvýznamnějším z nich je technecium-99m, které se využívá u většiny SPECT vyšetření v nukleární medicíně. Tento fotonový zářič o energii 140,5 keV nabyl své popularity v nukleární medicíně hlavně díky příznivému poločasu rozpadu okolo šesti hodin. Vedle něj se pro SPECT vyšetření využívají i jód-123, galium-67 nebo thallium-201. Mezi oblasti jejich využití patří např. diagnostika nádorů, kardiologie nebo i neurologické diagnózy (Zhang et al., 2025). Pro vyšetření pomocí SPECT v oblasti CNS převažují hlavně radiofarmaka značená $^{99\text{m}}\text{Tc}$ a ^{123}I , který disponuje energií 159 keV a poločasem rozpadu 13,2 hodin (Kamínek, 2024).

1.2.2 Radionuklidy pro PET

Radionuklidy určené pro PET diagnostiku se vyznačují specifickým procesem anihilace, při kterém vznikají dva fotony, které jsou následně emitovány opačnými směry. Ačkoliv existuje celá řada využitelných pozitronových zářičů, například izotopy uhlíku-11, dusíku-13, kyslíku-15, jodu-124, mědi-64 či galia-66 a 68, k nejčastěji využívaným patří fluor-18. Obliba tohoto radionuklidu vychází z jeho vlastností, jako je poločas rozpadu 110 minut. Dále se vyznačuje velmi čistým profilem rozpadu, kdy 97 % tvoří emise pozitronů, a krátkým doletem pozitronů ve tkáni. To zaručuje vysoké prostorové rozlišení získaných snímků (Zhang et al., 2025).

2 Vyšetření v radionuklidové diagnostice CNS

Podstatou jednotlivých vyšetření je vizualizace toho, jakým způsobem se v CNS distribuuje podané radiofarmakum. K zachycení tohoto procesu se využívají výše popsané modalities (Doležal & Krčálová, 2019). Jednotlivá vyšetření CNS v nukleární medicíně pokrývají širokou škálu patologií. Pomocí zmíněných modalit v kombinaci se správným radiofarmakem (RF) lze diagnostikovat a diferenciovat např. onemocnění neurodegenerativního typu, potvrdit mozkovou smrt nebo lokalizovat maligní léze mozku (Yoshikawa et al., 2021; Zhang et al., 2025).

2.1 SPECT vyšetření mozkové perfuze

Jedná se o metodu, která slouží k zobrazení regionálního prokrvení mozkové tkáně. Míra prokrvení mozkové tkáně je primárně závislá na průchodnosti a celkovém stavu cévního řečiště. Zásadní roli hraje také aktuální funkční stav mozku, jelikož obecně platí, že funkčně aktivované oblasti kůry vykazují úměrně vyšší prokrvení. Pro vizualizaci a hodnocení těchto perfuzních poměrů se v klinické praxi využívá jednofotonová emisní výpočetní tomografie s aplikací odpovídajících radiofarmak jako jsou ^{99m}Tc -HMPAO nebo ^{99m}Tc -ECD (Kupka et al., 2015). Metoda se indikuje pro spolehlivý průkaz mozkové smrti, poruchy cerebrovaskulární perfuze nebo lokalizaci epileptogenních ohnisek (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025; Kamínek, 2024). Příprava pacienta a povaha radionuklidového vyšetření mozkové smrti se značně liší od běžného SPECT vyšetření mozkové perfuze, má tedy v Místních radiologických standardech FNOL svůj vlastní protokol (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025).

Perfuzní vyšetření mozku má své místo v diferenciální diagnostice demencí. Dokáže odhalit funkční změny spojené s demencí mnohem dříve než jiné běžně dostupné zobrazovací metody. Metoda umožňuje odlišit různé formy demencí na základě specifických vzorců sníženého prokrvení. Pro zvýšení diagnostické přesnosti lze využít metody statistické analýzy obrazu, které prokazatelně zvyšují diagnostický přínos oproti vizuálnímu hodnocení. Metoda je schopna svou povahou poskytnout dostatečný náhled do patologických procesů mozku v různých stádiích. Obecně se jedná o dostupnou metodu, jelikož SPECT skenery jsou v nemocnicích rozšířenější než PET zařízení (Imokawa et al., 2024). Je však nutné podotknout, že v této oblasti přebírá iniciativu diagnostika pomocí ^{18}F -FDG, tudíž je na místě upřednostnit tuto modalitu, pokud je dostupná (Kamínek, 2024).

Indikací může být i nutnost vyšetření cerebrovaskulární rezervy (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025). Metoda slouží ke zhodnocení hemodynamického dopadu zúžení nebo uzávěru arteria carotis interna a k potvrzení případné hemodynamické nedostatečnosti. Toto hodnocení má význam pro rozhodnutí dalšího postupu léčby nemocného, kdy pomocí výsledků lze potvrdit nutnost chirurgického zákroku, jako jsou endarterektomie, zavedení stentu nebo bypass (Wong et al., 2020). Jak Kamínek (2024), tak Wong et al. (2020) uvádějí, že vyšetření se provádí s použitím zátěžového testu pomocí acetazolamidu, nicméně Místní radiologické standardy Fakultní nemocnice Olomouc (2025) tuto zátěž ve svém protokolu přímo neuvádějí. Farmakologická zátěž má význam při odhalení oblastí mozku, které již vyčerpaly svou cévní rezervu, což by při běžném klidovém vyšetření nebylo patrné. Zdravé tepny reagují na zátěž dilatací, a tím navýší průtok, zatímco stenotické arterie kvůli vyčerpání své kompenzační kapacity nedokážou průtok krve navýšit (Wong et al., 2020).

Existují i různá omezení pro provedení vyšetření mozkové perfuze v plném rozsahu. Jedná se převážně o těhotenství, kdy se pouze z vitálních indikací může přistoupit k aplikování radiofarmaka o omezené aktivitě, nebo o období laktace. Absolutní kontraindikaci představuje neklid a nespolupráce pacienta (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025).

Radiofarmaka

^{99m}Tc -HMPAO, nebo také exametazim, je významné radiofarmak pro vyšetření centrální nervové soustavy. Jedná se o stabilizovaný kit, což výrazně prodlužuje využitelnost radiofarmaka i na několik jednotek hodin po označení metastabilním techneciem v laboratoři. Tím odpadá nutnost aplikace radiofarmaka do 30 minut po jeho označení, jak tomu bývalo dříve (Kupka et al., 2015). Metastabilní technecium devadesát devět je samo o sobě hydrofilní, tudíž by nebylo schopné projít přes neporušenou hematoencefalickou bariéru. Je k tomu třeba lipofilní nosič, který technecium zvládne transportovat až do požadované cílové tkáně v centrálním nervovém systému. Jako tento nosič slouží exametazim. Po průniku do CNS dojde k zafixování farmaka do buněk cílové tkáně díky rychlé chemické přeměně, jejímž výsledkem je hydrofilní forma sloučeniny (Kupka et al., 2015; Mada et al., 2019).

^{99m}Tc -ECD je modernější alternativou ^{99m}Tc -HMPAO s chemickým názvem ethylendicystein-diethylester, triviálně také bisisát. Stejně jako ^{99m}Tc -HMPAO je toto radiofarmakum používáno pro zobrazení prokrvení mozku. Bisisát je stejně jako exametazim

lipofilní, platí tedy v principu stejný mechanismus průniku do nervové tkáně. Rozdíl nastává v mechanismu retence radiofarmaka. Ta je v tomto případě založena na principu rychlé enzymatické hydrolýzy, jejímž výsledkem jsou hydrofilní metabolity, které se zachytí v buňkách cílové tkáně. Klíčovou výhodou oproti ^{99m}Tc -HMPAO je vysoká in vitro stabilita (Mada et al., 2019). Rovněž lze vyzdvihnout nižší radiační zátěž ^{99m}Tc -ECD oproti ^{99m}Tc -HMPAO. Pro ^{99m}Tc -HMPAO to činí 0,0093 mSv/MBq, zatímco u ^{99m}Tc -ECD je to 0,0074 mSv/MBq (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016).

Příprava pacienta, průběh a hodnocení vyšetření

Příprava před vyšetřením začíná již v domácím prostředí. Vyšetřovaný musí před příchodem na oddělení zcela vyloučit příjem alkoholických nápojů, kofeinových produktů a zdržet se užívání nikotinu v jakékoliv formě. Důležitým krokem je rovněž přechodné přerušování farmakoterapie léky, které mají potenciál ovlivňovat regionální krevní průtok v centrálním nervovém systému. Následně je na pracovišti nezbytné posoudit celkovou schopnost spolupráce nemocného, jelikož vyšetření vyžaduje po pacientovi naprostou nehybnost po dobu 30 až 60 minut. V případě potřeby lze přistoupit k medikamentóznímu zklidnění, ovšem výhradně za použití sedativ, jež nenaruší diagnostickou výtěžnost získaných záznamů. Pro ideální distribuci aplikované látky v mozku se uplatňuje režim striktní senzorické restrikce. Vyšetřovaný je polohován na záda v komfortním prostředí v zatemnělé a odhlučněné místnosti, aby se předešlo ovlivnění zachytu radiofarmaka. Kvůli bolestivému stimulu při zavádění žilního vstupu je doporučováno tento vstup zajistit s dostatečnou časovou rezervou 10 až 15 minut před samotnou aplikací RF. Klíčovou fází je interval pěti minut před aplikací a pěti minut po ní, kdy pro pacienta platí absolutní zákaz komunikace, čtení i sebemenšího pohybu. Zdravotnický personál s ním v tomto intervalu nesmí jakkoliv interagovat. Každý senzorický podnět v této fázi totiž představuje riziko zkreslení výsledného obrazu. Pokud dojde k jakémukoliv vyrušení v tomto intervalu, je nutné tuto skutečnost pečlivě zanést do zdravotnické dokumentace (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025). Aplikovaná aktivita zvoleného radiofarmaka se přímo odvíjí od hmotnosti a věku vyšetřovaného. Typicky se vyšetřovaným dospělého věku aplikuje aktivita kolem 740 MBq (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016).

Bezprostředně před zahájením snímání je nutné, aby si pacient naposledy došel na toaletu a vyprázdnil močový měchýř. Poté je vyšetřovaný napolohován pod detektor přístroje.

Standardně se využívá poloha vleže na zádech. Správné napolohování je nezbytným předpokladem pro získání diagnosticky významných dat. Personál musí dbát na pevnou fixaci hlavy pacienta. Do zorného pole kamery se přitom musí bezpodmínečně vejít celý rozsah mozkové tkáně včetně struktur mozečku. Nutností jsou kolimátory typu LEHR, optimálnější jsou fan-beam kolimátory. Těsně před spuštěním sběru dat je vyšetřovaný znovu seznámen s celkovou dobou trvání procedury a je mu opakovaně zdůrazněno, aby se v průběhu akvizice nehýbal. Přesný okamžik startu akvizice se odvíjí od typu použitého radiofarmaka. Na základě indikace lékaře, je možné proceduru rozšířit o nízkodávkové CT (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025).

Při interpretaci obrazu perfuze se vychází z předpokladu, že míra tkáňové perfuze přímo odráží její aktuální aktivitu. Na zrekonstruovaném obrazu se tento princip projevuje zřetelnějším zobrazením šedé hmoty mozkové ve srovnání s bílou hmotou (Kamínek, 2024). Samotná analýza nálezů se opírá o vizuální komparaci případných patologických ložisek se zdravou tkání. V praxi se toto hodnocení provádí buď zrcadlovým porovnáním se symetrickým úsekem v kontralaterální hemisféře, nebo porovnáním s jinou, předem definovanou referenční strukturou v jiném mozkovém regionu (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025). Patologicky snížená akumulace látky je typická pro oblasti postižené ischemií nebo mozkovým infarktem. Obdobný vzorec sníženého regionálního prokrvení lze pozorovat také u různých forem demencí či v oblastech tkáně po prodělaném traumatu mozku. Na tyto základní principy hodnocení perfuze pak úzce navazuje specifická diagnostika lokálních změn prokrvení u záchvatovitých onemocnění, pro které je typická hyperperfuze postižené tkáně (Doležal & Krčálová, 2019).

Detekce epileptogenních ložisek

Detekce epileptogenního ložiska metodou SPECT významně napomáhá při chirurgické léčbě ložiskových epilepsií (Kamínek, 2024). Ve standardech Fakultní nemocnice Olomouc (2025) lze zaznamenat, že pro všechny dříve zmíněné indikace perfuzního SPECT mozku existuje jeden protokol. Nicméně odborná literatura, jako je Kamínek (2024), uvádí, že samotné vyšetření epileptogenního ložiska lze rozdělit v závislosti na období podání radiofarmaka na dva druhy, a to na tzv. iktální a interiktální SPECT.

Získání iktálního SPECT obrazu probíhá následujícím způsobem. Při této studii je nutno radiofarmakum aplikovat co nejdříve po začátku záchvatu, ideálně do 20 sekund,

a to prostřednictvím předem zavedené intravenózní kanyly. Pacienti by měli být po celou dobu studie napojeni na EEG monitoring. Radiofarmakum je do dvou minut ireverzibilně vychytáno v klíčových oblastech mozku. Během tohoto skenu vykazují oblasti mozku, které se podílejí na vzniku a časném šíření záchvatu, zvýšené prokrvení. Nej kvalitnějších výsledků se dosahuje tehdy, pokud je radiofarmakum podáno během fokálních záchvatů s poruchou vědomí. Metoda disponuje senzitivitou a specificitou nad 70 %. Iktální SPECT je velmi vhodný i pro vyšetření dětí s fokální refrakterní epilepsií. Lze poukázat na to, že toto vyšetření obecně představuje významný prediktor úspěšnosti případného chirurgického zákroku (Traub-Weidinger et al., 2024).

V přímém kontrastu s iktálním stavem je většina epileptických sítí v klidovém interiktálním období naopak hypoperfuzní. Během aplikace radiofarmaka se pro toto vyšetření doporučuje provádět EEG monitoring, aby se s jistotou vyloučila případná záchvatovitá aktivita, a to zejména v prvních dvou minutách fáze vychytávání radiofarmaka. Interiktální SPECT disponuje specificitou 75 %, jeho senzitivita ovšem klesá na pouhých 50 %, a má tak výrazně nižší lokalizační hodnotu. Přestože může poskytnout užitečné doplňující informace k iktálním studiím, nelze jej doporučit jako jedinou a samostatnou diagnostickou metodu pro detekci epileptického ohniska. Zásadním faktorem je také skutečnost, že prostorové rozlišení metody SPECT je limitované. Z toho důvodu se u fokálních epilepsií v interiktální fázi často využívá PET zobrazení pro vyšší senzitivitu při detekci epileptických ložisek (Traub-Weidinger et al., 2024).

Vzhledem k nižší senzitivě a specificitě slouží interiktální SPECT primárně jako pomocný nástroj pro interpretaci iktálního SPECT vyšetření. Získaná data z interiktální a iktální fáze lze porovnávat buď vizuálně, nebo je dále zpracovávat pomocí kvantitativních metod, jako jsou SISCOM (subtrakční iktální SPECT koregistrovaný s MR), SPM (statistické parametrické mapování) či STATISCOM (statistický iktální SPECT koregistrovaný s MR) (Yassin et al., 2021).

2.2 Stanovení mozkové smrti

Definice smrti jako takové je v České republice ukotvena v tzv. Transplantačním zákoně. Tato definice popisuje smrt jako úplnou ztrátu funkcí mozku zároveň s funkcemi mozkového kmene. Taková ztráta je již dle definice nevratná. Diagnostika smrti je dále

v českém právním řádu řešena jako potvrzení nevratné ztráty cirkulace krve anebo již zmíněné celkové vyhasnutí mozkových funkcí, včetně mozkového kmene. Plicní ventilace s krevní cirkulací mohou být uměle zachovány pro potřeby diagnostiky. Vyšetřovací modalita pro potvrzení těchto skutečností vymezuje příslušná legislativa. Indikací pro vyšetření mozkové smrti metodou radionuklidové diagnostiky je právě potřeba potvrzení nevratné ztráty zmíněných funkcí (Havel et al., 2021).

Příprava, průběh a hodnocení vyšetření

Zásadním krokem před zahájením procedury u dospělých osob je zajištění středního arteriálního tlaku nad hodnotou 80 mmHg. Při i.v. aplikaci radiofarmaka, jehož aktivita je stejná jako u jiných vyšetření perfuze mozku pomocí ^{99m}Tc -HMPAO nebo ^{99m}Tc -ECD, nesmí tlak klesnout pod hranici 60 mmHg. Nedosažení těchto limitů znamená absolutní kontraindikaci výkonu. Po rutinním ověření identifikačních údajů je vyšetřovaný uložen do polohy na zádech. Zorné pole přístroje musí zabírat oblast mozečku. Vzhledem k povaze vyšetření je po celou dobu nezbytná přítomnost lékaře a anesteziologicko-resuscitačního týmu. Po dokončení přípravy pacienta následuje nejprve dynamická fáze scintigrafie hlavy a krku, která trvá v rozmezí 30 až 60 vteřin. Během ní přístroj pracuje s vysokou frekvencí náběru dat v přední, popřípadě současně i zadní projekci. Na dynamický záznam navazuje statická scintigrafie. Ta vyžaduje nasnímání minimálně ve třech základních úhlech, tj. zepředu a ze dvou bočních pohledů, ke kterým se eventuálně přidává zadní projekce pro vznik kvalitního diagnostického obrazu. Pro každou polohu je vyhrazena doba snímání v délce alespoň tří minut. U vyšetření se využívají kolimátory LEHR s paralelními otvory (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025; Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016).

Hodnocení průkazu mozkové smrti

Průkaz mozkové smrti se odvíjí od absence akumulace radiofarmaka v mozkovém parenchymu na pořízených scintigramech. Vzniká zde typicky tzv. příznak prázdné lebky (Yoshikawa et al., 2021).

Mezi hlavní limitace této metody patří její celková časová náročnost a obecně horší dostupnost na některých pracovištích. Z diagnostického hlediska lze za nevýhodu považovat sníženou schopnost detailního hodnocení struktur v oblasti zadní jámy lebeční a mozkového

kmene. Naopak výhody vyšetření spočívají v jeho neinvazivnosti a absenci jodové kontrastní látky (Doležal & Krčálová, 2019; Yoshikawa et al., 2021).

2.3 Zobrazení dopaminových transportérů pomocí ^{123}I -ioflupanu

Vyšetření pomocí ^{123}I -ioflupanu je indikováno k diagnostice extrapyramidových poruch, zejména k odlišení presynaptické degenerace u parkinsonských syndromů od esenciálního třesu. Podstatou Parkinsonovy nemoci je zánik dopaminergních neuronů v substantia nigra. Vzniklý nedostatek dopaminu znemožňuje správný přenos mozkových signálů a způsobuje ztrátu kontroly hybnosti, jež se typicky projevuje třesem, rigiditou nebo celkovým zpomalením pohybů (Palermo & Ceravolo, 2019). Limitací tohoto vyšetření je neschopnost odlišit Parkinsonovu nemoc (PD) a demenci s Lewyho tělísky (DLB) od multisystémové atrofie (MSA), kortikobazální degenerace (CBD) a progresivní supranukleární paralýzy (PSP) (Doležal & Krčálová, 2019; Muhleman et al., 2025).

Jako srovnatelnou alternativu k ^{123}I -ioflupan SPECT na poli nukleární medicíny lze jmenovat vyšetření pomocí ^{18}F -DOPA. Fluorodopa značená radioaktivním fluorem-18 vykazuje vysokou senzitivitu a specificitu. Míra akumulace tohoto radiofarmaka v neuronech je přímo závislá na aktivitě enzymu dekarboxylázy aromatických aminokyselin. Ten je zodpovědný za přeměnu DOPA na dopamin. Zásadní nevýhodou ^{18}F -DOPA je její omezená komerční dostupnost v běžné klinické praxi (Mercer et al., 2024). Vyšetření za použití radiofarmaka ^{18}F -DOPA má svůj vlastní protokol pro obdobné indikace. Na Klinice nukleární medicíny FNOL je tedy uskutečnitelné (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025).

Radiofarmaka

^{123}I -ioflupan, nebo také ^{123}I -FP-CIT, je častěji označován svým obchodním názvem DaTSCAN. Z chemického hlediska se radiofarmakum skládá z analogu kokainu, který je označen radionuklidem ^{123}I . DaTSCAN proniká hematoencefalickou bariérou a distribuuje se v mozkové tkáni. Klíčový pro funkčnost tohoto radiofarmaka je zmíněný analog, jehož předností je vysoká afinita a cílená vazba na transmembránový protein nacházející se výhradně na presynaptických zakončeních dopaminergních neuronů v mozku, konkrétně v oblasti bazálních ganglií zvané striatum. Jeho úkolem je vychytávat volný dopamin ze synaptických štěrbin. V případě, že je zde přítomen zmíněný kokainový analog, dojde k jeho přednostnímu navázání a tím k označení DAT radioaktivním ^{123}I . Radiofarmakum se distribuuje připravené

k okamžitému použití a podává se nitrožilně. Jeho přednostní vázání na zmíněné transportéry nám pomocí DAT-SPECT metody vizuálně zobrazuje hustotu těchto transportérů. Vazbu významně snižují stimulanty jako kokain a metamfetamin. Z klinických léčiv mohou mít vliv některá antidepresiva (např. sertralin či citalopram), která se doporučuje před vyšetřením vysadit. Naopak běžná antiparkinsonika (levodopa, dopaminoví agonisté) obvykle vyšetření nezkreslují (Ardila Jurado et al., 2025; Mada et al., 2019; Palermo & Ceravolo, 2019).

^{123}I -IBZM, jiným názvem ^{123}I -jodobenzamid, je radiofarmakum s vektorovou molekulou jodobenzamidu. Jodobenzamid vykazuje vysokou afinitu ke specifickým receptorům v mozku. Na rozdíl od radiofarmaka DaTSCAN, které cílí na presynaptické transportéry, jodobenzamid cílí specificky na postsynaptické receptory D_2 (Balážová et al., 2021; Kamínek, 2024). Největší akumulaci tohoto radiofarmaka můžeme tedy očekávat v oblasti striata. Míra akumulace radiofarmaka v obraze SPECT přímo odráží denzitu volných postsynaptických receptorů. Zjednodušeně se dá princip vazby jodobenzamidu na receptory vysvětlit kompeticí IBZM s endogenním dopaminem o vazebná místa (Chen et al., 2022). Diagnostiku pomocí radiofarmaka ^{123}I -IBZM lze využít v neurologii, obdobně jako u radiofarmaka DaTSCAN, za účelem diferenciální diagnostiky Parkinsonovy nemoci a odlišení atypických parkinsonských syndromů (Kamínek, 2024). Na poli psychiatrie se ^{123}I -IBZM uplatňuje k měření obsazenosti receptorů antipsychotiky při nasazení léčiv z těchto řad, např. u léčby schizofrenie. Možnost vizualizace počtu obsazených receptorů umožňuje lékařům optimalizovat dávkování léků tak, aby bylo dosaženo maximální efektivity terapie (Rogea et al., 2025). Radiofarmakum se podává intravenózně. Před aplikací je nutno provést u pacienta blokádu štítné žlázy kvůli uvolňování volného radioaktivního jódu v těle (Balážová et al., 2021; Chen et al., 2022). Dostupnost tohoto radiofarmaka se liší napříč státy. V České republice není toto radiofarmakum doposud dostupné (Kamínek, 2024). Opačná situace však panuje ohledně ^{123}I -IBZM na území Slovenské republiky (Balážová et al., 2021).

Příprava a průběh vyšetření

Před příchodem na oddělení by pacient neměl užívat žádné léky, které by mohly ovlivnit vazbu na dopaminové transportéry, pokud není specifickým cílem studie zhodnotit samotný efekt daného farmaka na tuto vazbu. Před aplikací radiofarmaka je zcela zásadní, aby se ošetřující personál ujistil, že pacient je schopen plné spolupráce. Předpokládá se, že pacient zvládne vydržet ležet naprosto bez pohybu po dobu 40 až 60 minut. Pokud klinický stav

vyžaduje podání sedativ, měla by být aplikována s dostatečným předstihem. Tímto časovým intervalem se rozumí alespoň jedna hodina před zahájením SPECT akvizice. Nelze-li dosáhnout plné spolupráce, znamená to absolutní kontraindikaci pro provedení vyšetření v plném rozsahu (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025). Pohybové artefakty a nesprávné napolohování pacienta mohou vést k chybné interpretaci nálezu. Například boční náklon hlavy může v některých řezech vytvořit asymetrický obraz bazálních ganglií. Předklon hlavy může zase způsobit artefakt, kdy se vyšetřovaná oblast mozku promítne v jiných rovinách, čímž vytvoří obraz připomínající středník. Pohybové artefakty v průběhu vyšetření snižují kvalitu získaného obrazu. Pořízený záznam je značně rozmazán, a tedy obtížně vizuálně hodnotitelný (Mercer et al., 2024).

Pacientovi je tři až šest hodin před začátkem studie aplikováno radiofarmakum (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025). Požadovaná aktivita u dospělého pacienta se pohybuje v nižších stovkách MBq, typicky v rozmezí 150 až 200 MBq (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016). Těsně před zahájením samotného snímání je vyšetřovaný vyzván, aby se vymočil. Snímání se provádí v poloze vleže na zádech. Nutná je spolehlivá fixace hlavy, přičemž optimálního nastavení lze dosáhnout, pokud je kantomeatální linie kolmá na podložku. V zorném poli detektoru se musí nacházet mozeček. Lze využít kolimátorů LEHR nebo fan-beam. Pacient je předem přesně informován o celkové délce nahrávání a je poučen o tom, že po celou dobu nesmí pohybovat hlavou. Čas na jednu projekci je 40 s. U neklidných pacientů se při výrazném pohybu hlavy doporučuje akvizici zastavit a celou studii opakovat. V takových případech lze akviziční parametry cíleně upravit, a to zejména zkrácením doby nahrávání jednotlivých scintigramů. Doba akvizice však nelze zkrátit pod 15 sekund. Pokud dojde k výraznému zkrácení, je nutné zmenšit i počet projekcí na 64 (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025).

Hodnocení vyšetření

Vizuální hodnocení fyziologického nálezu se vyznačuje dvěma symetrickými oblastmi ve tvaru bilaterálních „čárek“, které jsou vysoce kontrastní vůči okolním tkáním mozku. Tyto struktury odpovídají striatu. U fyziologického nálezu se může vyskytnout mírná asymetrie v akumulaci radiofarmaka, která bývá spojena s přirozenými změnami mozku při stárnutí. Abnormální vyšetření se projevuje sníženým vychytáváním ioflupanu, přičemž tento deficit může být symetrický i asymetrický. V počátečních stádiích Parkinsonovy nemoci postihuje

úbytek typicky zadní část putamina. To vede k redukci tvaru z „čárky“ na „ovál“ nebo „tečku“. Jak onemocnění postupuje, dochází ke ztrátě aktivity také v přední části putamina a nakonec i v nucleu caudatu. V pokročilé fázi onemocnění se celkový kontrast mezi striatem a okolím zásadně snižuje (Mercer et al., 2024).

Pomocí vizuálního hodnocení skenů lze klasifikovat nálezy do čtyř druhů, přičemž poslední tři jsou stupňující se patologické nálezy. První stupeň patologie odpovídá většinou asymetrickému deficitu DAT v putaminu. Druhým stupněm se označuje rozšířený deficit v oblasti putamina symetricky po obou stranách, přičemž lze ještě odlišit ncl. caudatus. Nejzávažnější třetí stupeň představuje obraz výrazného deficitu ve všech zmíněných strukturách (Kamínek, 2024).

Pro doplnění vizuálního hodnocení se používá hodnocení semikvantitativní. Tato metoda analyzuje vyznačené oblasti zájmu za účelem propočtu aktivity ve striatu. Hodnota je následně normalizována vůči aktivitě okcipitálního pozadí a porovnána s normativní databází. Tento přístup nabízí objektivní hodnocení získaného obrazu a umožňuje sledování progresu onemocnění. Podle využitého softwaru se liší hranice Z-skóre, od které je již nález hodnocen jako patologický. Jako příklad lze uvést software DaTQUANT, u kterého tato hodnota činí -1,8, zatímco u MIMneuro je hraniční Z-skóre -1,65. V rámci semikvantitativního hodnocení lze sledovat i poměr striatální vazby, přičemž se hraniční hodnoty opět liší podle použitého softwaru (Mercer et al., 2024).

2.4 Zobrazení amyloidových plaků pomocí ^{18}F -flutemetamolu

Extracelulární ukládání beta-amyloidových plaků v šedé hmotě mozkové kůry je jedním z hlavních patologických znaků Alzheimerovy choroby (AD). K jejich tvorbě dochází už v preklinické fázi onemocnění, mnohdy i desítky let předtím, než se u pacienta manifestují první příznaky demence a kognitivního úpadku. Z anatomického hlediska se tyto plaky v případě AD nacházejí primárně v kůře čelního laloku, dále v gyru cinguli, precuneu a v postranních oblastech temenního a spánkového laloku. Beta-amyloidové plaky nejsou přítomny pouze u AD. Jejich nárůst přirozeně koreluje s rostoucím věkem a lze je prokázat také u jiných onemocnění, jako jsou vaskulární a frontotemporální demence nebo demence s Lewyho tělísky (Bronte et al., 2025).

PET vyšetření amyloidových plaků je indikováno ve třech specifických situacích, kdy se sice diagnóza AD zvažuje, ale standardní klinická vyšetření neposkytují jednoznačný závěr. Může se jednat o pacienty s přetrvávající mírnou kognitivní poruchou. Zde vyšetření spolehlivě potvrdí, nebo naopak vyloučí přítomnost amyloidové patologie jako prvotní příčiny. Dále se vyšetření indikuje u demencí s atypickým klinickým průběhem nebo tam, kde se překrývá více možných příčin a je nutné rozlišit přesný typ neurodegenerace. Nelze opomenout případy, kdy nastupují projevy demence před 65. rokem života pacienta a klinický obraz je tedy atypický. Časné stanovení přesné diagnózy je klíčové pro zahájení adekvátní léčby (Kolanko et al., 2020).

¹⁸F-flutemetamol

Jedná se o radiofarmakum značené radioaktivním fluorem-18, které je mimo jiné strukturním analogem Pittsburské sloučeniny B. Radiofarmakum je dostupné pod komerčním názvem Vizamyl. Výhodou ¹⁸F-flutemetamolu je jeho fyzikální poločas rozpadu, který činí 109,8 minuty. Tím překonává limity starších tracerů na bázi uhlíku-11, jako je ¹¹C-PiB, jejichž velmi krátký poločas rozpadu, přesněji 20 minut, omezoval jejich širší uplatnění v praxi. Právě díky tomuto delšímu poločasu je ¹⁸F-flutemetamol vhodnější pro rutinní provádění PET skenů. Vizamyl se podává intravenózně a prostupuje hematoencefalickou bariérou, kde se poté specificky váže na amyloidové plaky v mozkové kůře. Klinický přínos této látky spočívá hlavně v zobrazování progresu Alzheimerovy choroby. Jak tato nemoc pokračuje, lze sledovat právě díky detekci akumulace plaků beta-amyloidu v mozku. To umožňuje hodnotit nejen rozsah postižení, ale také efektivitu případné terapie (Kalheim et al., 2018; Zhang et al., 2025). Další významnou vlastností radiofarmaka ¹⁸F-flutemetamolu je jeho schopnost poskytnout duální diagnostickou informaci v rámci jednoho vyšetření. Kromě primární detekce denzity beta-amyloidových plaků umožňuje tato látka při zvolení dynamického nebo dvoufázového akvizičního protokolu hodnotit také mozkovou perfuzi. Je to možno v časně fázi po intravenózní aplikaci. V této fázi odpovídá distribuce tohoto radiofarmaka v mozkové tkáni regionálnímu průtoku krve. Získaná data jsou tak perfuzně ekvivalentní a vykazují úzkou korelaci s metabolismem glukózy. Díky této kinetice lze provést komplexní analýzu, která zahrnuje jak funkční zobrazení průtoku v časně fázi, tak specifický nález vazby na amyloid ve fázi pozdní. To rozšiřuje využitelnost této látky i pro diferenciální diagnostiku stavů, kde primární patologie amyloidu chybí, jak je tomu například u frontotemporální demence (Ferda

& Ferdová, 2024). ^{18}F -flutemetamol je z těla odstraňován převážně močovými cestami, přičemž clearance z bílé hmoty je pomalejší než z hmoty šedé (Kalheim et al., 2018).

Nutno poznamenat, že k zobrazení beta-amyloidových plaků jsou celosvětově dostupná další dvě radiofarmaka. Jedná se o ^{18}F -florbetapir (komerčně známý jako Amyvid) a ^{18}F -florbetaben (Neuraceq). Všechny tři tracers pro zobrazení amyloidových plaků disponují obdobnou diagnostickou výtěžností. Vyznačují se vysokou reprodukovatelností a citlivostí. Zároveň vykazují nespecifické vychytávání v bílé hmotě mozkové, což vede k charakteristickému vzoru na snímcích mozku zdravých jedinců. Viditelný rozdíl mezi použitím jednotlivých radiofarmak přichází při jejich interpretaci, přičemž se pro každé zmíněné radiofarmakum používá jiná barevná škála. Obrazy zhotovené pomocí ^{18}F -florbetabenu by měly být zobrazovány v odstínech šedé, u ^{18}F -florbetapiru v inverzních odstínech šedé a u ^{18}F -flutemetamolu v barevné škále Sokoloff (Bronte et al., 2025). Protokol používaný na pracovišti nukleární medicíny FNOL ovšem nezohledňuje jiné radiofarmakum než zmíněný Vizamyl (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025).

Příprava a průběh vyšetření

Příprava na vyšetření začíná lačněním pacienta po dobu čtyř až šesti hodin před dostavením se na oddělení. Vyšetřovaný nesmí opomenout dostatečnou hydrataci. Radiologický asistent takto připraveného pacienta řádně poučí o průběhu vyšetření. Pokud to lékař indikuje, lze podat jodovou kontrastní látku souběžně s PET/CT vyšetřením (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025).

Těsně před zahájením akvizice je vyšetřovaný vyzván, aby se vymočil. Dále se pacient uloží na vyšetřovací stůl, kde ho asistující personál uvede do polohy vleže na zádech s rukama podél těla. Hlavu pacienta je nutno zafixovat. Vyšetření se odehrává ve dvou fázích. První fáze akvizice začíná topogramem, který je následován nativním nízkodávkovým CT. Po dokončení tohoto procesu následuje i.v. aplikace radiofarmaka a dynamický PET sken. Tento sken trvá osm minut. Druhá část studie následuje po 90 minutách od aplikace Vizamylu. Zde se opakuje počáteční topogram, následuje tentokrát plnohodnotné CT a pokračuje se statickým PET vyšetřením. Doba trvání PET skenu v druhé fázi vyšetření je 20 minut. Pro PET snímání platí, že v zorném poli přístroje se musí nacházet celý mozek (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025). Samotná aplikace Vizamylu se provádí s aktivitou kolem 185 MBq pro dospělé. Objem i.v.

aplikovaného RF by se měl pohybovat mezi jedním až deseti mililitry. Doporučuje se proplach žilní kanyly fyziologickým roztokem po dokončení aplikace (Evropská komise, 2019).

Hodnocení vyšetření

Úroveň akumulace Vizamylu v mozkové kůře lze semikvantitativně vyhodnotit pomocí hodnot SUV, a to jejich vzájemným porovnáním s doporučenými referenčními oblastmi mozku (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025). Současným trendem v PET diagnostice beta-amyloidových plaků je využití standardizované metriky zvané Centiloid. Ta sjednocuje kvantifikaci celkového amyloidového zatížení mozku nezávisle na použitém radiofarmaku. Centiloidová škála je koncipována tak, aby 0 reprezentovala absenci amyloidových plaků a 100 odpovídala typickému nálezu plaků při AD (Bronte et al., 2025).

U negativního nálezu je typická fyziologická distribuce radiofarmaka pouze v bílé hmotě mozkové. Tento obraz je obzvláště zřetelný na axiálních řezech v oblasti báze lební. V klinické praxi se tento nález označuje jako znak „mořských koníků“ (Calabria et al., 2023). Pozitivní nálezy se vyznačují specifickými vzorci ukládání beta-amyloidu. Například u frontotemporální lobární degenerace je typická velmi mírná depozice až absence plaků ve frontálních a temporálních lalocích. Podobně se DLB vyznačuje chybějícím či minimálním hromaděním amyloidu v oblasti okcipitálního laloku (Xie et al., 2024).

2.5 Diagnostika mozkových nádorů pomocí ^{18}F -FLT

Vyšetření pomocí ^{18}F -FLT nachází uplatnění především při určování stupně malignity a detekci recidiv v mozkové tkáni. Metoda vykazuje vysokou senzitivitu a celkovou přesnost kolem 92 % při odlišování high-grade od low-grade gliomů. Pro rutinní vyšetřování low-grade nádorů se ovšem zobrazování pomocí ^{18}F -FLT nepovažuje za příliš přínosné, jelikož tento typ lézí vykazuje minimální akumulaci radiofarmaka (Kim et al., 2024). Indikací pro vyšetření jsou i metastázy do mozkové tkáně (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025). Významným klinickým přínosem této modality je schopnost přesnějšího ohraničení skutečného rozsahu aktivního nádorového bujení. Zobrazované oblasti proliferujících buněk často přesahují hranice ložisek, která vykazují postkontrastní syčení na snímcích pořízených magnetickou rezonancí (Collet et al., 2021). Detailní mapování těchto ložisek má zásadní význam pro správné definování biologického cílového objemu. To je stěžejní pro naplánování rozsahu chirurgické resekce nebo cílené radioterapie (Collet et al., 2021; Kim et al., 2024).

Kromě diagnostiky gliomů se ^{18}F -FLT ukazuje jako perspektivní nástroj také u meningiomů. U těchto nádorů může metoda sloužit jako časný neinvazivní biomarker pro predikci rizika jejich progresu, a to i u asymptomatických pacientů nebo u reziduálních ložisek po předchozích neurochirurgických zákrocích. Informace o proliferační aktivitě zjištěná pomocí ^{18}F -FLT tak může být významně nápomocná při rozhodování o následné léčebné strategii. Pomůže tedy rozhodnout buď o konzervativním sledování, nebo o včasné terapeutické intervenci (Bashir et al., 2020). Diagnostika meningiomů se však na pracovišti FNOL neřadí mezi oficiální indikace k tomuto vyšetření (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025).

Kromě onkologických indikací může toto vyšetření sloužit k předoperačnímu vyšetření u epileptochirurgického zákroku. Nejedná se ovšem o přesnou diagnostiku epileptického ložiska, ale pouze o lokalizaci pozměněné tkáně mozku (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025).

Kontraindikací k tomuto vyšetření může být absolutní motorický neklid pacienta, případně jiný druh nespolupráce. Tak jako u předešlých vyšetření se mezi relativní kontraindikace řadí laktace a gravidita. Navíc se nedoporučuje vyšetření provádět v návaznosti na onkologickou léčbu. Časový odstup od léčby chemoterapeutiky by měl činit alespoň dva týdny. U radioterapie je doporučeno vyčkat minimálně dva měsíce (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025).

^{18}F -FLT

Jedná se o specifický PET indikátor, který je určený k zobrazení buněčné proliferace. Tento analog tymidinu, značený radioaktivním fluorem-18 se dnes používá v oblasti neuroonkologie k topografické diagnostice mozkových nádorů a stanovení stupně jejich buněčné proliferace (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016). Mechanismus jeho akumulace ve tkáních je založen na fosforylaci enzymem thymidinkinázou, jež vykazuje nejvyšší aktivitu během G1 a S fáze buněčného cyklu. Původně se předpokládalo, že se FLT ukládá přímo do řetězců DNA. Dříve měl tento analog najít využití pro léčbu HIV mechanismem terminace DNA. Studie však odhalily, že do samotné DNA se ukládá méně než 1 % podané látky. I přes tuto skutečnost však zobrazení pomocí FLT vykazuje vysokou korelaci s expresí proliferačního markeru Ki-67 v resekovaných vzorcích nádorové tkáně (Drake et al., 2020). Velkou předností ^{18}F -FLT oproti například ^{18}F -FDG je jeho nižší fyziologické vychytávání ve zdravé mozkové tkáni. Ve srovnání s magnetickou rezonancí se při

monitorování léčby maligních gliomů ukázalo, že ^{18}F -FLT PET je dobrým prediktorem celkového přežití pacientů. I přes tyto výhody je širší klinické využití ^{18}F -FLT limitováno značnými nevýhodami. Jedna z nich spočívá v tom, že u některých jedinců dochází k nespecifické vazbě radiofarmaka. Další možná nevýhoda je omezený průchod radiofarmaka přes hematoencefalickou bariéru, což limituje jeho využití hlavně pro zobrazení gliomů (Drake et al., 2020). Při hodnocení recidiv disponuje ^{18}F -FLT PET zobrazení vysokou senzitivitou 82 % a specificitou 76 %, což jsou hodnoty srovnatelné s vyšetřením pomocí ^{18}F -FDG (Treglia et al., 2019).

Za zmínku v oblasti diagnostiky nádorů CNS stojí i radiofarmakum ^{18}F -FET, které se oproti ^{18}F -FLT lépe vychytává v nádorových ložiskách. Je tomu tak kvůli jeho aminokyselinové podstatě. Využití tohoto radiofarmaka je limitováno hlavně na glioblastomy (Kamínek, 2024). Ve Fakultní nemocnici Olomouc není zatím uvedeno v Místních radiologických standardech běžného provozu (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025).

Příprava a průběh vyšetření

Základem přípravy je důkladné poučení pacienta o celém průběhu vyšetření. Nemocný se musí k vyšetření dostavit nalačno. Předpokládaný čas lačnění je minimálně čtyři až šest hodin. Během této doby nesmí vyšetřovaný konzumovat stravu ani žádné nápoje obsahující živiny. Hydratace čistou vodou nesmí být opomíjena a je silně doporučována. V případě, že je plánováno PET/CT vyšetření s intravenózním podáním jodové kontrastní látky, přípravu pacienta předem zajišťuje odesílající klinické pracoviště. Specifikem vyšetření mozku pomocí ^{18}F -FLT je nutnost dodržení přísného klidového režimu. Periferní žilní kanylu je nutné zavést minimálně deset minut před aplikací radiofarmaka. Následně je pacient před aplikací, v jejím průběhu i v čase čekání na samotnou PET akvizici umístěn v tiché a zatemněné místnosti. I.v. aplikace RF je uskutečněna 40 až 90 minut před akvizicí. V tomto období vyšetřovaný nesmí mluvit, číst ani vyvíjet žádnou jinou fyzickou či mentální aktivitu. Těsně před přesunem na vyšetřovnu k akvizici skenů je pacient vyzván, aby vyprázdnil močový měchýř (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025).

Akvizice dat začíná na přístroji zhotovením topogramu, pomocí kterého se přesně vymezí vyšetřovaná oblast. Následuje CT vyšetření, přičemž o aplikaci a přesném množství intravenózní jodové kontrastní látky rozhoduje vyšetřující lékař. Pokud je to z indikace lékaře

vhodné a je k dispozici vyšetření mozku pomocí magnetické rezonance (MR), lze provést pouze lokalizační nízkodávkové CT. Na fázi s CT bezprostředně navazuje snímání PET skenů. Rozsah vyšetřované oblasti je nastaven tak, aby byl v zorném poli přístroje zachycen celý mozek. Během snímání, kdy doba akvizice jedné vyšetřovací pozice trvá 10 až 15 minut, musí mít pacient pevně zafixovanou hlavu. Tímto opatřením se minimalizuje riziko vzniku nežádoucích pohybových artefaktů (Fakultní nemocnice Olomouc, 2025). Aktivita i.v. podaného radiofarmaka se pohybuje v rozmezí 100-300 MBq (Ministerstvo zdravotnictví České republiky, 2016).

Hodnocení vyšetření

Vizuální hodnocení vychází ze zákonitosti, že high-grade gliomy vykazují vysoké vychytávání ^{18}F -FLT. Naopak u low-grade gliomů bývá akumulace tohoto traceru pouze minimální, tudíž zde přínos vizuálního hodnocení upadá (Kim et al., 2024). Uvnitř nádoru lze také často pozorovat výraznou intratumorální heterogenitu akumulace RF (Collet et al., 2021). Pro semikvantitativní hodnocení slouží výpočet parametrů SUV a jejich maximální a průměrné hodnoty (Bashir et al., 2020; Treglia et al., 2019). Při posuzování nálezů je nutné brát v potaz i tzv. efekt částečného objemu, který může zkreslit zobrazení ložiska zejména u malých nádorů. Může tedy dojít k podhodnocení skutečné koncentrace RF, kdy se aktivita z ložiska zdánlivě rozptýlí do okolí, tzv. „spill-out“, nebo naopak k jejímu nadhodnocení vlivem přesahu z okolních tkání, tzv. „spill-in“. Typicky k tomuto jevu dochází například vlivem fyziologického vychytávání RF v kostní dřeni na spodině lebeční (Bashir et al., 2020). K přesnému určení celkového proliferativního objemu nádoru lze využít i pokročilé matematické segmentační nástroje, jako je algoritmus FLAB (fuzzy lokálně adaptivní bayesovský algoritmus). Tento algoritmus dokáže zpracovat rozdílné intenzity signálu mnohem lépe než lidský vizuální odhad (Collet et al., 2021). Semikvantitativní hodnocení lze dále provést např. pomocí „tumor-to-blood ratio“. Jedná se o poměr, který nevyžaduje invazivní odběry krve. Počítá se tak, že se maximální nebo průměrná koncentrace radioaktivity v nádoru vydělí průměrnou hodnotou radioaktivity v krvi, odečtenou typicky z transverzálního sinu na opačné straně mozku. Tento poměr pomáhá předvídat další progresi onemocnění (Bashir et al., 2020). Fakultní nemocnice Olomouc (2025) ve svých standardech pro hodnocení výsledků uvádí hlavně semikvantitativní způsob hodnocení pomocí výpočtu jednotek SUV a srovnání aktivity ložiska s referenční oblastí.

3 Aktuální trendy v radionuklidové diagnostice CNS

3.1 Zobrazení Tau proteinu metodou PET

Obečně je vývoj radiofarmak specifických pro navázání na tau protein značně komplikovaný. Nejčastějším problémem je tzv. off-target binding, kdy se tracer nežádoucím způsobem váže i na jiné struktury v mozku, než na které je primárně cílen. I přesto první a zatím jediné radiofarmakum pro toto využití získalo schválení v roce 2020 pod komerčním názvem Tauvid (Muhleman et al., 2025; Zhang et al., 2025). Z klinického hlediska umožňuje PET vyšetření s využitím tohoto radiofarmaka přesnou lokalizaci tau proteinu v mozkové tkáni, přičemž se metoda vyznačuje vysokým zachytem v neokortikálních oblastech u pokročilé Alzheimerovy nemoci. To v praxi usnadňuje spolehlivé odlišení jejího specifického patologického vzorce od ostatních tauopatií (Brink et al., 2025). U pacientů s Alzheimerovou chorobou se patologická ložiska tau proteinu tvoří zpravidla až v návaznosti na výskyt beta-amyloidních plaků, ačkoliv je jejich celkové množství ve srovnání s amyloidem podstatně menší. Tau protein tak představuje vysoce specifický indikátor progresu neurodegenerativních onemocnění (Zhang et al., 2025).

Zobrazování tau proteinu se neomezuje pouze na diagnostiku AD. U DLB i u demence spojené s Parkinsonovou nemocí lze prokázat přítomnost tau proteinu. To může naznačovat, že kognitivní úpadek u této skupiny pacientů má kombinovanou příčinu, na níž se podílejí depozita α -synukleinu, amyloidu beta i samotného tau proteinu (Calabria et al., 2023).

V návaznosti na zmíněné skutečnosti nelze opomenout, že v současnosti probíhá vývoj druhé generace tau PET radiofarmak. Mezi zkoumané látky patří např. ^{18}F -MK-6240 nebo ^{18}F -PI-2620, které v klinických studiích prokazují nejen vyšší specifitu, ale i lepší kontrast výsledného obrazu oproti první generaci (Brink et al., 2025).

3.2 Zobrazení proteinu α -synuklein metodou PET

Alfa-synuklein je protein, jehož patologicky složené formy vytvářejí buněčné inkluze, známé jako Lewyho tělíska. Tato tělíska jsou běžně asociována s PD, MSA nebo DLB. Každý z těchto stavů se vyznačuje specifickým ukládáním těchto inkluzí v určitých částech mozku. Vyvinutí spolehlivé metody pro zobrazení tohoto proteinu by tak mělo obrovský přínos pro léčbu a monitoring synukleinopatií. Samotný vývoj metody pro zobrazování alfa-synukleinu

pomocí PET je stále teprve v počátcích a nelze jej běžně využívat v klinické praxi. Důvodem je nedostatek účinných radiofarmak. Jejich vývoj je mnohem náročnější než například u tau proteinu nebo beta-amyloidu. Existují pro to různé důvody. Alfa-synuklein se v mozku objevuje v nižších koncentracích, kde se ukládá uvnitř buněk, a často se vyskytuje souběžně s jinými patologiemi. Vhodný tracer proto musí disponovat vysokou afinitou (Yang et al., 2025).

Ze zkoumaných radiofarmak lze jmenovat několik zástupců, kteří přinesli slibné výsledky v této oblasti. Příkladem může být sloučenina ^{18}F -C05-05, u níž byla zaznamenána vazba na vlákna alfa-synukleinu. V in vivo testech dokázala lokalizovat patologie u MSA a v některých oblastech mozku se jí podařilo navázat i na patologie způsobené PD a DLB. Zatím tuto látku nelze využít pro klinické účely, jelikož se nežádoucím způsobem váže i na jiné proteiny. Dalším zkoumaným tracerem je ^{18}F -ACI-12589, který se vyznačuje vysokou afinitou a úspěšně zobrazuje ložiska u MSA, ale pro zobrazení patologií u pacientů s PD prokázal příliš nízkou afinitu. Nedávno byl představen také F0502B, u něhož byla prokázána dobrá afinita k depozitům u PD. Pro případné klinické nasazení je každopádně nutné vylepšit jeho průnik do mozku a snížit rychlost jeho metabolizace in vivo (Yang et al., 2025).

Význam a limitace dohledaných poznatků

Hlavním významem této přehledové bakalářské práce je ucelená syntéza aktuálních poznatků z oblasti radionuklidové diagnostiky centrálního nervového systému, která je přímo navázána na klinickou praxi pracoviště nukleární medicíny Fakultní nemocnice Olomouc. Práce mapuje nejen samotné zobrazovací modalitty a specifická radiofarmaka, ale klade velký důraz na roli radiologického asistenta v diagnostickém procesu. Detailní popis jednotlivých vyšetření prováděných ve FNOL obohacený o aktuální poznatky ze světa radionuklidové diagnostiky CNS nabízí možnost využití textu jako vstupní edukační materiál pro studenty radiologické asistence. Zpracovaný text tak může sloužit jako ucelený přehled vybraných metod dostupných na Klinice nukleární medicíny FNOL a lze ho využít jako podklad pro seznámení se s problematikou vyšetřování centrální nervové soustavy v přímé návaznosti na provoz Kliniky, jelikož spolehlivě reflektuje zde zavedené vyšetřovací postupy.

Jednou z hlavních limitací této práce je samotná šířka zvoleného tématu. Vzhledem k tomu, že radionuklidová diagnostika CNS pokrývá rozsáhlé spektrum indikací a vyšetřovacích metod, bylo během rešeršní činnosti dohledáno značné množství odborných zdrojů a publikací. Z kapacitních důvodů bakalářské práce tak bylo nutné provést přísnou selekci a zaměřit se především na metody pro praxi nejvýznamnější a jejich vyšetřovací postupy tak, aby reflektovaly indikace spektra patologií CNS detekovatelných metodami nukleární medicíny. Tento výběr také mohl vést k opomenutí některých vysoce specializovaných či úzce profilovaných diagnostických nuancí.

Další limitace vyplývá ze zaměření práce výhradně na metody dostupné na Klinice nukleární medicíny Fakultní nemocnice Olomouc. Popisované vyšetřovací protokoly a postupy přípravy pacientů vycházejí primárně z lokálních radiologických standardů tohoto pracoviště. Je nutné vzít v potaz, že jiná zdravotnická zařízení mohou využívat mírně odlišné vyšetřovací algoritmy, postupy při přípravě pacienta, akviziční časy či typy kolimátorů.

Závěr

Předložená přehledová bakalářská práce se zabývala radionuklidovou diagnostikou centrální nervové soustavy a jejímu širokém spektru indikací, které tato oblast nabízí. Neopomíjela u toho aktuální poznatky ani významnou roli důkladné přípravy a správného průběhu vyšetření, jež spadají do kompetencí radiologických asistentů. Text účelně propojuje teoretické poznatky se zavedenou klinickou praxí.

Pro splnění dílčího cíle jedna, který byl zpracován v první kapitole, byly popsány základní teoretické principy radionuklidové diagnostiky. Tato část práce se detailně věnovala zobrazovací technice, přičemž představila fungování planární scintigrafie, modality SPECT a PET, včetně jejich moderních hybridních forem SPECT/CT, PET/CT a PET/MR, a to s přihlédnutím k aktuálním poznatkům. Kromě přístrojového vybavení byly rozebrány také principy a rozdělení radiofarmak, způsoby jejich výroby a specifika radionuklidů využívaných pro jednotlivé druhy modalit. Teoretický základ byl tímto shrnut a dílčí cíl jedna lze považovat za splněný.

Pro splnění dílčího cíle dva bylo popsáno pět vybraných vyšetření CNS dostupných ve Fakultní nemocnici Olomouc. Jmenovitě jimi jsou SPECT vyšetření mozkové perfuze, stanovení mozkové smrti, zobrazení dopaminových transportérů pomocí ^{123}I -ioflupan, zobrazení amyloidových plaků pomocí ^{18}F -flutemetamol a diagnostika mozkových nádorů pomocí ^{18}F -FLT. Tato vyšetření pokrývají stanovený rozsah patologií, konkrétně perfuzní defekty mozku, epilepsii, neurodegenerativní onemocnění a nádory mozku. K popisu jednotlivých vyšetření byly uvedeny aktuální poznatky ohledně jejich indikací, významu, využívaných radiofarmak a způsobu hodnocení. Nezpochybnitelnou součástí kapitoly dva byl i detailní popis přípravy pacienta a samotného průběhu vyšetření, což tvoří stěžejní náplň práce radiologického asistenta. Kapitola rovněž poukazuje na případné odlišnosti mezi odbornou literaturou a informacích o praxi ve FNOL, vycházející z Místních radiologických standardů, a u vybraných indikací zmiňuje i možné diagnostické alternativy k popsaným metodám. Tímto lze považovat dílčí cíl za splněný.

Dílčím cílem tři, který byl zprostředkován kapitolou tři, bylo popsat vybrané trendy z oblasti radionuklidové diagnostiky centrální nervové soustavy. Pro tento cíl byla vybrána oblast neurodegenerativních chorob a posun v jejich diagnostice pomocí radiofarmak cílených na

specifické bílkoviny spojené s neurodegeneracemi. Prvním zkoumaným trendem bylo zobrazení Tau proteinu pomocí PET, přičemž byl kladen důraz hlavně na význam detekce této bílkoviny u konkrétních onemocnění a na probíhající vývoj další generace tracerů. U druhého trendu, zobrazování proteinu alfa-synuklein metodou PET, bylo diskutováno jeho postavení u patologií centrální nervové soustavy a problematika vývoje prvního klinicky dostupného radiofarmaka. Dílčí cíl tři byl tímto splněn.

Referenční seznam

- Ardila Jurado, E., Zünd-Hofer, L., Brugger, F., Nicastro, N., Bhatia, K. P., & Kägi, G. (2025). The role of presynaptic dopaminergic imaging in acquired neurological conditions affecting basal ganglia: A systematic review. *Frontiers in Neurology*, *16*, 1660747. <https://doi.org/10.3389/fneur.2025.1660747>
- Balážová, Z., Bernátek, J., & Baláž, M. (2021). Role nukleární medicíny v diagnostice Parkinsonovy nemoci, Alzheimerovy nemoci a demence s Lewyho tělísky. *Neurologie pro praxi*, *22*(5), 386–392. <https://doi.org/10.36290/neu.2021.032>
- Bashir, A., Vestergaard, M. B., Marner, L., Larsen, V. A., Ziebell, M., Fugleholm, K., & Law, I. (2020). PET imaging of meningioma with 18F-FLT: A predictor of tumour progression. *Brain*, *143*(11), 3308–3317. <https://doi.org/10.1093/brain/awaa267>
- Belcari, N., Bisogni, M. G., & Del Guerra, A. (2024). Positron emission tomography: Its 65 years and beyond. *La Rivista Del Nuovo Cimento*. <https://doi.org/10.1007/s40766-024-00050-3>
- Bouchareb, Y., AlSaadi, A., Zabab, J., Jain, A., Al-Jabri, A., Phiri, P., Shi, J. Q., Delanerolle, G., & Sirasanagandla, S. R. (2024). Technological Advances in SPECT and SPECT/CT Imaging. *Diagnostics*, *14*(13), 1431. <https://doi.org/10.3390/diagnostics14131431>
- Brink, A., Paez, D., Estrada Lobato, E., Delgado Bolton, R. C., Knoll, P., Korde, A., Calapaquí Terán, A. K., Haidar, M., & Giammarile, F. (2025). New Targets for Imaging in Nuclear Medicine. *Seminars in Nuclear Medicine*, *55*(5), 869–884. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2025.04.004>

- Bronte, A., Prieto, E., Quincoces, G., Erro, E., & Arbizu, J. (2025). The basics of PET molecular imaging in neurodegenerative disorders with dementia and/or parkinsonism. *European Radiology*, 35(8), 4621–4634. <https://doi.org/10.1007/s00330-025-11388-5>
- Calabria, F., Leporace, M., Cimini, A., Ricci, M., Travascio, L., & Bagnato, A. (2023). Positron Emission Tomography Molecular Imaging of the Major Neurodegenerative Disorders: Overview and Pictorial Essay, from a Nuclear Medicine Center's Perspective. *Journal of Integrative Neuroscience*, 22(6), 172. <https://doi.org/10.31083/j.jin2206172>
- Collet, S., Guillamo, J.-S., Berro, D. H., Chakhoyan, A., Constans, J.-M., Lechapt-Zalcman, E., Derlon, J.-M., Hatt, M., Visvikis, D., Guillouet, S., Perrio, C., Bernaudin, M., & Valable, S. (2021). Simultaneous Mapping of Vasculature, Hypoxia, and Proliferation Using Dynamic Susceptibility Contrast MRI,¹⁸ F-FMISO PET, and¹⁸ F-FLT PET in Relation to Contrast Enhancement in Newly Diagnosed Glioblastoma. *Journal of Nuclear Medicine*, 62(10), 1349–1356. <https://doi.org/10.2967/jnumed.120.249524>
- Doležal, J., & Krčálová, E. (2019). Radionuklidová vyšetření CNS. *Česká radiologie*, 73(3), 177–182. <https://doi.org/10.55095/CesRadiol2019/026>
- Drake, L. R., Hillmer, A. T., & Cai, Z. (2020). Approaches to PET Imaging of Glioblastoma. *Molecules*, 25(3), 568. <https://doi.org/10.3390/molecules25030568>
- Evropská komise. (2019). *Vizamyl, INN-flutemetamol (18F): Příloha I – Souhrn údajů o přípravku*. Retrieved April 23, 2026, from https://ec.europa.eu/health/documents/community-register/2019/20190725145281/anx_145281_cs.pdf

- Fakultní nemocnice Olomouc. (2025). *Katalog místních radiologických standardů – nukleární medicína* (4. vydání).
- Ferda, J., & Ferdová, E. (2024). Pozitronová emisní tomografie s podáním 18F-fluorodeoxyglukózy v diferenciální diagnostice neurodegenerativních chorob s kognitivním deficitem a role amyloid beta specifických radiofarmak k průkazu Alzheimerovy nemoci. *Česká radiologie*, 78(2), 77–89. <https://doi.org/10.55095/CesRadiol2024/011>
- Havel, M., Školoudík, D., Nováková, D., Švec, P., Havránek, P., Havlová, G., Kraft, O., Dedek, V., Bukovanský, K., Drozdková, R., & Širůček, P. (2021). Zhodnocení souboru pacientů vyšetřených perfuzní scintigrafií při stanovení smrti mozku. *Anesteziologie a intenzivní medicína*, 32(4–5), 197–203. <https://doi.org/10.36290/aim.2021.049>
- Chen, K. C., Yang, Y. K., Howes, O. D., Lee, I. H., Yeh, T. L., Chiu, N. T., Chen, P. S., David, A. S., & Bramon, E. (2022). Striatal dopamine D_{2/3} receptors in medication-naïve schizophrenia: An [¹²³I] IBZM SPECT study. *Psychological Medicine*, 52(14), 3251–3259. <https://doi.org/10.1017/S0033291720005413>
- Cheng, Z., Chen, P., & Yan, J. (2025). A review of state-of-the-art resolution improvement techniques in SPECT imaging. *EJNMMI Physics*, 12(1), 9. <https://doi.org/10.1186/s40658-025-00724-9>
- Imokawa, T., Yokoyama, K., Takahashi, K., Oyama, J., Tsuchiya, J., Sanjo, N., & Tateishi, U. (2024). Brain perfusion SPECT in dementia: What radiologists should know. *Japanese Journal of Radiology*, 42(11), 1215–1230. <https://doi.org/10.1007/s11604-024-01612-5>

- Kalheim, L. F., Fladby, T., Coello, C., Bjørnerud, A., & Selnes, P. (2018). [18F]-Flutemetamol Uptake in Cortex and White Matter: Comparison with Cerebrospinal Fluid Biomarkers and [18F]-Fludeoxyglucose. *Journal of Alzheimer's Disease*, 62(4), 1595–1607. <https://doi.org/10.3233/JAD-170582>
- Kamínek, M. (2024). *Nukleární medicína* (2., přepracované vydání). Univerzita Palackého v Olomouci.
- Kim, D., Lee, S.-H., Hwang, H. S., Kim, S. J., & Yun, M. (2024). Recent Update on PET/CT Radiotracers for Imaging Cerebral Glioma. *Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 58(4), 237–245. <https://doi.org/10.1007/s13139-024-00847-4>
- Kolanko, M. A., Win, Z., Loreto, F., Patel, N., Carswell, C., Gontsarova, A., Perry, R. J., & Malhotra, P. A. (2020). Amyloid PET imaging in clinical practice. *Practical Neurology*, 20(6), 451–462. <https://doi.org/10.1136/practneurol-2019-002468>
- Kubinyi, J., Sabol, J., & Vondrák, A. (2018). *Principy radiační ochrany v nukleární medicíně a dalších oblastech práce s otevřenými radioaktivními látkami* (1. vydání). Grada Publishing.
- Kupka, K., Kubinyi, J., & Šámal, M. (2015). *Nukleární medicína* (6. vydání (2. vydání v Nakladatelství P3K)). P3K.
- Mada, M., Wimana, Z., Corrigan, L. L., Gilmore, D., Tempesta, D., Do Carmo, S., Alves, F., Gano, L., Terwinghe, C., M Deroose, C., Khan, N., Testanera, G., Solanki, K., Rbah-Vidal, L., & Frago Costa, P. (2019). *Radiopharmacy: An update* (M.-C. Attard, Ed.; 15. vyd.). European Association of Nuclear Medicine. <https://doi.org/10.52717/GXUO4736>

- Mercer, M. K., Revels, J. W., Blacklock, L. C., Banks, K. P., Johnson, L. S., Lewis, D. H., Kuo, P. H., Wilson, S., & Elojeimy, S. (2024). Practical Overview of ^{123}I -Ioflupane Imaging in Parkinsonian Syndromes. *RadioGraphics*, 44(2), e230133. <https://doi.org/10.1148/rg.230133>
- Ministerstvo zdravotnictví České republiky. (2016). *Věstník Ministerstva zdravotnictví České republiky: Národní radiologické standardy – Nukleární medicína*. Retrieved November 5, 2025, from <https://mzd.gov.cz/vestnik/vestnik-c-2-2016/>
- Muhleman, M., Brown, R. K. J., Wong, K. K., Al-Dulaimi, R., & Bohnen, N. I. (2025). Central Nervous System Nuclear Imaging. *Seminars in Roentgenology*, 60(3), 238–264. <https://doi.org/10.1053/j.ro.2025.04.006>
- Palermo, G., & Ceravolo, R. (2019). Molecular Imaging of the Dopamine Transporter. *Cells*, 8(8), 872. <https://doi.org/10.3390/cells8080872>
- Rogea, A., Boer, A. J., Guedj, E., Sala, A., Sommer, I. E., Veronese, M., Van Der Weijden-Germann, M., EANM Neuroimaging Committee, Van Weehaeghe, D., Cecchin, D., Verger, A., Albert, N. L., Brendel, M., Yakushev, I., Traub-Weidinger, T., Barthel, H., Tolboom, N., & Fraioli, F. (2025). EANM perspective on clinical PET and SPECT imaging in schizophrenia-spectrum disorders: A systematic review of longitudinal studies. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 52(3), 876–899. <https://doi.org/10.1007/s00259-024-06987-1>
- Traub-Weidinger, T., Arbizu, J., Barthel, H., Boellaard, R., Borgwardt, L., Brendel, M., Cecchin, D., Chassoux, F., Fraioli, F., Garibotto, V., Guedj, E., Hammers, A., Law, I., Morbelli, S., Tolboom, N., Van Weehaeghe, D., Verger, A., Van Paesschen, W., Von

Oertzen, T. J., ... Semah, F. (2024). EANM practice guidelines for an appropriate use of PET and SPECT for patients with epilepsy. *European Journal of Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 51(7), 1891–1908. <https://doi.org/10.1007/s00259-024-06656-3>

Treglia, G., Muoio, B., Trevisi, G., Mattoli, M. V., Albano, D., Bertagna, F., & Giovanella, L. (2019). Diagnostic Performance and Prognostic Value of PET/CT with Different Tracers for Brain Tumors: A Systematic Review of Published Meta-Analyses. *International Journal of Molecular Sciences*, 20(19), 4669. <https://doi.org/10.3390/ijms20194669>

Wong, T. H., Shagera, Q. A., Ryoo, H. G., Ha, S., & Lee, D. S. (2020). Basal and Acetazolamide Brain Perfusion SPECT in Internal Carotid Artery Stenosis. *Nuclear Medicine and Molecular Imaging*, 54(1), 9–27. <https://doi.org/10.1007/s13139-019-00633-7>

Xie, L., Zhao, J., Li, Y., & Bai, J. (2024). PET brain imaging in neurological disorders. *Physics of Life Reviews*, 49, 100–111. <https://doi.org/10.1016/j.plrev.2024.03.007>

Yang, Y.-J., Zhao, Y.-X., Li, X.-Y., & Zuo, C. (2025). New Targets for Positron Emission Tomography Imaging in Parkinson's Disease. *Seminars in Nuclear Medicine*, 55(5), 795–803. <https://doi.org/10.1053/j.semnuclmed.2025.05.004>

Yassin, A., El-Salem, K., Al-Mistarehi, A.-H., Momani, A., Zein Alaabdin, A. M., Shah, P., Mountz, J. M., & Bagić, A. I. (2021). Use of Innovative SPECT Techniques in the Presurgical Evaluation of Patients with Nonlesional Extratemporal Drug-Resistant Epilepsy. *Molecular Imaging*, 2021, 6614356. <https://doi.org/10.1155/2021/6614356>

Yoshikawa, M. H., Rabelo, N. N., Welling, L. C., Telles, J. P. M., & Figueiredo, E. G. (2021).

Brain death and management of the potential donor. *Neurological Sciences*, 42(9), 3541–3552. <https://doi.org/10.1007/s10072-021-05360-6>

Zhang, S., Wang, X., Gao, X., Chen, X., Li, L., Li, G., Liu, C., Miao, Y., Wang, R., & Hu, K.

(2025). Radiopharmaceuticals and their applications in medicine. *Signal Transduction and Targeted Therapy*, 10(1), 1. <https://doi.org/10.1038/s41392-024-02041-6>

Seznam zkratek

AD - Alzheimerova choroba

CBD - Kortikobazální degenerace

CNS - Centrální nervová soustava

CT - Výpočetní tomografie

CZT - Kadmium-zinek-telurid

DAT - Dopaminový transportér

DLB - Demence s Lewyho tělísky

DNA - Deoxyribonukleová kyselina

ECD - Ethylendicystein-diethylester (Bicisát)

EEG - Elektroencefalografie

FDG - Fluorodeoxyglukóza

FET - Fluoroethyltyrosin

FLAB - Fuzzy lokálně adaptivní bayesovský algoritmus (Fuzzy locally adaptive bayesian algorithm)

FLT - Fluorothymidin

FNOL - Fakultní nemocnice Olomouc

HIV - Lidský virus imunitní nedostatečnosti (Human Immunodeficiency Virus)

HMPAO - Exametazim

IBZM - Jodobenzamid

i.v. - Intravenózně

keV - Kiloelektronvolt

LEHR - Low Energy High Resolution (kolimátor)

MBq - Megabecquerel

mmHg - Milimetr rtuťového sloupce

MR - Magnetická rezonance

MSA - Multisystémová atrofie

mSv - Milisievert

ncl. - Nucleus

PD - Parkinsonova nemoc

PET - Pozitronová emisní tomografie

PiB - Pittsburská sloučenina B

PSP - Progresivní supranukleární paralýza

RF - Radiofarmakum

SiPM - Křemíkový fotonásobič

SISCOM - Subtrakční iktální SPECT koregistrovaný s MR

SPECT - Jednofotonová emisní výpočetní tomografie

SPM - Statistické parametrické mapování

STATISCOM - Statistický iktální SPECT koregistrovaný s MR

SUV - Standardized Uptake Value (Standardizovaná hodnota vychytávání)