

UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE

2. LÉKAŘSKÁ FAKULTA

Zuzana Horčíčková

**Úloha radiologického asistenta při
radionuklidovém vyšetření mozku**

Bakalářská práce

Praha 2009

Autor práce: **Zuzana Horčíčková**

Vedoucí práce: **MUDr. Ingrid Špalková**

Datum obhajoby: 2009

Anotace

Bakalářská práce „Úloha radiologického asistenta při radionuklidovém vyšetření mozku“ se zabývá zobrazovacími metodami nukleární medicíny při vyšetření mozku a úlohou radiologického asistenta při radioizotopovém vyšetření mozku.

Práce je rozdělena do devíti částí. V první a druhé části je popsána anatomie a fyziologie nervové soustavy.

Třetí část je věnována regionálnímu průtoku krve mozkem – vyšetření perfuze mozku a zhodnocení cerebrovaskulární rezervy, kde je popsána příprava a postup při vyšetření, používaná radiofarmaka, hodnocení SPECT vyšetření a kontraindikace. U vyšetření cerebrovaskulární rezervy jsou popsány možnosti zátěže. Dále se v této kapitole zmiňují o diferenciální diagnostice demencí, detekci epileptického ložiska, diagnostice mozkové smrti a o traumatech mozku.

Čtvrtá část je zaměřena na receptorovou diagnostiku. Kdy vzhledem ke komerčně dodávaným diagnostickým ligandům je nejčastěji vyšetřován dopaminergní systém.

Pátá část se zabývá ^{18}F -FDG – PET vyšetření mozku. Jedná se o vyšetření, kterým zobrazíme rozložení a intenzitu metabolismu glukózy v mozku.

Šestá část se zabývá diagnostikou mozkových nádorů. V této kapitole je popsáno vyšetření pomocí SPECT a PET metod.

Radionuklidová cisternografie je sedmou částí. Jsou zde popsány likvorové prostory, indikace a postup vyšetření.

Předposlední část je zaměřena na radiační ochranu. Jsou popsány účinky záření, principy zdůvodnění, optimalizace a limity, radiační ochrana pracovníků a pacientů.

Poslední část je věnována vlastní práci. Jedná se o stanovení četnosti impulzů při radionuklidovém vyšetření mozku a možnosti predikce optimální délky akvizice k získání kvalitního scintigramu perfuze mozku.

Annotation

Bachelor's thesis "The Role of the radiotherapist in radionuclide brain examinations" is engaged Nuclear medicine imaging methods in the examination of the brain and the role of the radiotherapist at radioisotope nuclear examination in the brain.

The work is divided into nine parts. In the first and second part describes anatomy and physiology of the nervous system.

The third part is devoted to regional brain blood perfusion – an examination of brain perfusion and assessment of cerebrovascular reserve capacity, which is described preparation and advance in examination, used radiofarmaceutical, evaluation of SPECT examination and contraindication. For testing cerebrovascular reserve capacity are described options burdens. Furthermore, in this chapter refers to the differential diagnostics of dementia, the detection of epileptic focus, the diagnosis of brain death and diagnostics of brain trauma.

The fourth part is direct on receptor diagnostics. With respect to commercially supplied by diagnostic ligand is the most common examination dopamine system.

The fifth part deals with ^{18}F -FDG – PET examination of the brain. Distribution and intensity of glucose metabolism in the brain can be visualized.

The sixth part deals with the diagnosis of brain tumors. In this chapter described the examination using of SPECT and PET methods.

Cerebrospinal fluid imaging is the seventh part. Are described coeliolymph spaces, indications and methods.

At the last part is focused on radiation protection. They described the effects radiation principles reasons, optimization and limits, radiation protection for workers and patients.

The last part is devoted to their work. It is the determination of the frequency of impulses in the brain and radionuclide examinations of the possibility of prediction of the optimum length of the acquisition to obtain high-quality image perfusion brain.

Klíčová slova

Vyšetření, mozek, perfuze, radiofarmakum, zobrazení, scintigrafie, indikace, hodnocení, aplikace, dávka.

Keywords

Examination, brain, perfusion, radiopharmaceuticals, imaging, scintigraphy, indications, evaluation, application, dose.

Prohlášení

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci zpracovala samostatně a použila jen uvedené prameny a literaturu. Současně dávám svolení k tomu, aby tato bakalářská práce byla umístěna v Ústřední knihovně UK a používána ke studijním účelům.

V Praze dne 30.3. 2009

Horčíčková Zuzana

Poděkování

Na tomto místě bych ráda poděkovala MUDr. Ingrid Špalkové za pomoc a poskytnutí cenných informací a studijních materiálů při tvorbě bakalářské práce.

Obsah

OBSAH	- 7 -
ÚVOD	- 9 -
1. ANATOMIE	- 10 -
1.1. CENTRÁLNÍ NERVOVÝ SYSTÉM.....	- 10 -
1.1.1. Cévní zásobení mozku.....	- 14 -
1.2. PERIFERNÍ NERVOVÝ SYSTÉM.....	- 15 -
2. FYZIOLOGIE	- 16 -
3. METODY NUKLEÁRNÍ MEDICÍNY V NEUROLOGICKÉ DIAGNOSTICE	- 17 -
3.1. VYŠETŘENÍ REGIONÁLNÍHO PRŮTOKU KRVE MOZKEM.....	- 17 -
3.1.1. Radiofarmaka	- 17 -
3.1.2. Příprava pacienta a aplikace radiofarmaka.....	- 18 -
3.1.3. Provedení	- 19 -
3.1.4. Hodnocení SPECT.....	- 20 -
3.1.5. Kontraindikace	- 20 -
3.1.6. Indikace	- 21 -
3.2. CEREBROVASKULÁRNÍ ONEMOCNĚNÍ.....	- 21 -
3.2.1. VYŠETŘENÍ CEREBROVASKULÁRNÍ REZERVY	- 22 -
3.2.2. Indikace	- 23 -
3.2.3. Možnosti zátěže.....	- 23 -
3.2.4. Acetazolamid	- 23 -
3.2.5. Příprava pacienta k vyšetření.....	- 24 -
3.2.6. Aplikace radiofarmaka	- 24 -
3.2.7. Akvizice.....	- 24 -
3.2.8. Kontraindikace	- 25 -
3.2.9. Inhalace CO ₂	- 25 -
3.3. DIFERENCIÁLNÍ DIAGNOSTIKA DEMENCÍ	- 25 -
3.4. DETEKCE EPILEPTICKÉHO LOŽISKA	- 26 -
3.5. TRAUMA MOZKU	- 26 -
3.6. DIAGNOSTIKA MOZKOVÉ SMRTI POMOCÍ SPECT	- 26 -
4. RECEPTOROVÁ DIAGNOSTIKA	- 27 -
5. ¹⁸F-FDG – PET VYŠETŘENÍ MOZKU	- 29 -
5.1. Indikace	- 29 -
5.2. Aplikace radiofarmaka	- 29 -
6. DIAGNOSTIKA MOZKOVÝCH NÁDORŮ	- 30 -
7. RADIONUKLIDOVÁ CISTERNOGRAFIE	- 31 -
7.1. Indikace	- 32 -
7.2. Radiofarmaka	- 33 -
7.3. Akvizice.....	- 33 -
8. RADIAČNÍ OCHRANA	- 34 -
8.1. Účinky záření.....	- 34 -
8.2. Principy zdůvodnění, optimalizace a limity.....	- 35 -
8.3. Radiační ochrana pracovníků	- 36 -
8.4. Radiační ochrana pacientů.....	- 37 -
9. VLASTNÍ PRÁCE	- 38 -

ZÁVĚR	- 41 -
POUŽITÁ LITERATURA.....	- 42 -
SEZNAM PŘÍLOH.....	- 44 -
PŘÍLOHY	- 45 -

Úvod

Téma mé bakalářské práce je „Úloha radiologického asistenta při radionuklidovém vyšetření mozku“. Toto téma jsem si vybrala, protože vyšetření radionuklidovými metodami je velice specifické a zajímavé a má velký diagnostický přínos.

V práci se zaměřím na vyšetření regionálního průtoku krve mozkem pomocí SPECTu, jeho využití v neurologické diagnostice u vaskulárních lézí CNS a možnostmi zhodnocení cerebrovaskulární rezervy u prokázané stenózy hlavních větví arteriálního mozkového řečiště. Dále se budu zabývat využitím perfuzního SPECTu mozku v diferenciální diagnostice demencí, k průkazu mozkové smrti a u traumatického poškození mozku. Zaměřím se i na další metody v nukleární neurologii včetně radionuklidové cisternografie, receptorové diagnostiky a pozitronové emisní tomografie. Zmíním se o anatomii a fyziologii mozku, radiační ochraně pracovníků a pacientů v nukleární medicíně.

1. Anatomie

Nervová soustava zprostředkovává vztahy mezi vnějším prostředím a organismem a mezi všemi částmi uvnitř organismu. Z vnějšího prostředí a ze všech částí organismu přijímá informace, které zpracovává a na něž zajišťuje odpověď. Tím současně zajišťuje funkční celistvost dějů v organismu. [1]

Základní funkční, morfológickou a trofickou jednotkou nervové tkáně je nervová buňka – neuron (neurocyt). Skládá se z těla nervové buňky a z výběžků. Tělo nervové buňky obsahuje buněčné jádro (perikaryon), ve kterém se nachází Nisslova substance (tigrid), což je granulární endoplasmatické retikulum, volné ribosomy a polyribosomy. Jádro je ohraničeno plazmatickou membránou, která podmiňuje vznik a šíření vzruchu. Výběžky nervové buňky se dělí na dendrity a axon. Dendrity jsou výběžky, které přijímají podněty a vedou vzruchy do těla buňky. Axon vede vzruch směrem z buňky k další struktuře, jež je tímto vzruchem ovlivňována. [1]

Nervový systém se rozděluje na centrální nervový systém (CNS) a periferní nervový systém (PNS).

1.1. Centrální nervový systém

Centrální nervový systém má dvě hlavní části – encephalon (mozek) uložený v lebeční dutině a medulla spinalis (hřbetní mícha) obsažená v páteřním kanálu (obr.1).

Medulla spinalis – hřbetní mícha

Hřbetní mícha je válcovitý, místy příčně oválný provazec nervové tkáně, 40-50 cm dlouhý, široký 10-13 mm, uložený v páteřním kanálu, kde je obklopen míšními obaly. Mícha začíná pod foramen magnum výstupem prvního krčního nervu míšního. Začátek míchy kraniálně plynule pokračuje v prodlouženou míchu, medulla oblongata, která je již součástí mozkového kmene.

Na povrchu je mícha pokryta vnitřní měkkou plenou, pia mater spinalis, která vniká do všech záhybů a rýh míchy. Arachnoidea spinalis je zevní měkká plena míšní, která

míchu volně obaluje. Mezi arachnoideou a pia mater je prostor, *cavitas subarachnoidea*, ve kterém se nachází mozkomíšní mok, *liquor cerebrospinalis*. Zevně od obou měkkých plen je tvrdá plena míšň, *dura mater spinalis*, vytvořená tuhým vazivem.[1]

Truncus encephali – mozkový kmen

Mozkový kmen navazuje na hřbetní míchu. Obsahuje prodlouženou míchu (*medulla oblongata*), *pons Varoli* a střední mozek (*mesencefalon*).

Medulla oblongata – prodloužená mícha

Prodloužená mícha plynule pokračuje ze hřbetní míchy. Pokračuje v ní i *canalis centralis*, který v míše přechází v rozšířenou spodinu IV. komory mozkové. Přední strana *oblonganty* je tvořena dvěma symetrickými podélnými valy, *pyramides medullae oblongatae*, které obsahují bílou hmotu neboli vlákna motorických tzv. pyramidových drah. Mezi nimi pokračuje *fissura mediana anterior*, jež je na hranici míchy a *oblonganty* přerušena nápadným křížením pyramidových drah. Na přední straně končí *oblonganta* u vyvýšeného valu *Varolova mostu* rýhou, *sulcus bulbopontinus*. Po stranách je uložena oliva. Ventrálně od olivy vystupují vlákna n. *hypoglossus*, dorsálně vlákna n. *accessorius*, n. *vagus* a n. *glossopharyngeus*. Dorsální strana *oblonganty* má dva párové hrbolky, *tuberculum gracile* a *tuberculum cuneatum*, které obsahují *nucleus gracilis* a *nucleus cuneatus* u jejichž neuronů končí vzestupné dráhy zadních provazců míšňích. Dorsální strana míchy plynule pokračuje spodinou IV. mozkové komory ve *Varolův most*.

Na povrchu *oblonganty* je bílá hmota, uvnitř šedá, která obsahuje jádra hlavových nervů. Střední úseky *oblonganty* jsou vyplněny sítí složitě propojených neuronů. Centrálně uložená hmota se člení do mnoha jader, *formatio reticularis*, retikulární formace. Tato formace je sídlem řady životně důležitých funkcí a zajišťuje četná propojení uvnitř CNS. [1]

Pons Varoli – Varolův most

Varolův most tvoří nápadný příčný val, viditelný na bazální straně mozkového kmene. Na kaudální straně hraničí s *medulla oblongata* a kraniálně na něj navazuje

mesencephalon. Středem ventrální plochy pontu jde sulcus basilaris, kde probíhá stejnojmenná tepna. Laterálně z pontu odstupují do mozečku pedunculi cerebellares medii, na nichž je připojen mozeček, a kudy jdou nervové dráhy z pontu. [1]

Mesencephalon – střední mozek

Střední mozek tvoří ventrálně uložená crura cerebri, nad nimi se rozkládá tegmentum. Nad tegmentem leží tectum, na jehož dorsálním povrchu se zdvihají colliculi superiores (zapojeny do zrakové dráhy) et inferiores (zapojeny do sluchové dráhy). Skrze střední mozek probíhá aquaeductus mesencephali, mokovod středního mozku a kanálek spojující III. a IV. komoru mozkovou. [2]

Cerebellum – mozeček

Mozeček je uložen v zadní jámě lebeční, dorsálně od prodloužené míchy a pontu, jako zaoblený, dorsálně vyklenutý útvar. Od ostatního mozku je oddělen tvrdou plenou, tentorium cerebelli. Na mozečku rozeznáváme vermis cerebelli neboli mozečkový červ a dvě postranní symetricky postavené mozečkové hemisféry, hemisphaera cerebelli. Povrch souvisle pokrývá šedá hmota, cortex cerebelli, která je uspořádána do folia cerebellia. Uvnitř mozečku je bílá hmota, corpus medullare, v níž jsou uložena jádra mozečku – nucleii dentatus, emboliformis, globolus, fastigii. Dále se mozeček dělí transversálními rýhami na tři laloky, lobus anterior, lobus posterior a lobus flocculonodularis.

Mozeček je důležitou složkou v řízení a v kontrole pohybové aktivity.[1]

Diencephalon – mezimozek

Mezimozek se dělí na epithalamus, thalamus a metathalamus, subthalamus a hypothalamus. Epithalamus je tvořen šišinkou, corpus pineale a nucleii habenulares, jádra šedé hmoty. Z jader vybíhá svazek do nucleus interpeduncularis mesencephala a do retikulární formace, a tím je epithalamus zapojen do limbického systému.

Thalamus mediálně ohraničuje III. komoru mozkovou a laterálně srůstá s telencephalon, ventrálně se subthalamem a hypothalamem. [2]

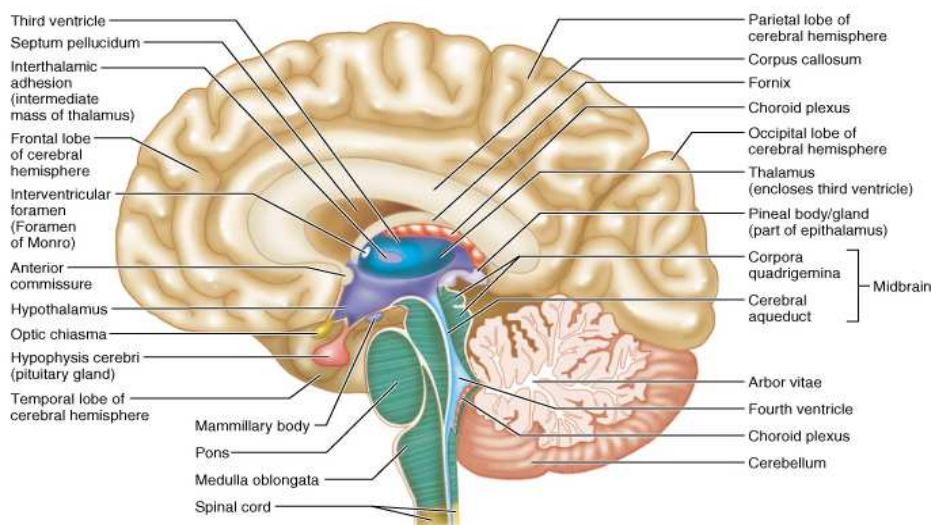
Metathalamus je úsek thalamu uložený vzadu pod pulvinarem a zapojený do specifického smyslového čítí, zrakového a sluchového. [1]

Subthalamus je uložen pod thalamem, k jeho jádrům patří ncl.subthalamicus (zapojen do okruhů bazálních ganglií) a zona incerta jejíž funkce je nejasná.

Hypothalamus tvoří stěnu a dno III. komory mozkové, od thalamu jej odděluje sulcus hypothalamicus. [2]

Telencephalon – koncový mozek

Koncový mozek se skládá ze dvou hemisfér, které jsou od sebe odděleny sagitálně orientovanou rýhou, fissura longitudinalis cerebri. Hemisféry jsou propojené svazkem vláken, spojujícím stejná místa na hemisféře, corpus callosum. Na hemisférách rozeznáváme mozkovou kůru, bílou hmotu a bazální ganglia. V každé hemisféře se nachází postranní mozková komora, ventriculus lateralis. [2]



Obr. 1 Řez mozkem

Meninges – mozkomíšní pleny

Centrální nervový systém je chráněn kromě kostěné opory (lebka, páteř) i vazivovými obaly (pleny mozkové). Mozkomíšní mok v prostoru mezi obaly mozek dále nadlehčuje a izoluje proti otřesům. [2]

Makroskopicky rozlišujeme tři vrstvy: dura mater (tvrdá plena), arachnoidea (pavučnice) a pia mater (měkká plena).

Dura mater je tuhá blána, tvořena z hustého kolagenního vaziva, mezi kterými jsou v malém množství elastická vlákna. Arachnoidea je tenká, bezcévná blána obalující mozek, zevně naléhající na tvrdou plenu. Pia mater je tenká vazivová blána pokrývající CNS, mozek, míchu a vniká do všech záhybů a zářezů CNS. Prostor, spatium subarachnoideum, mezi arachnoideou a pia mater obsahuje mozkomíšni mok. Ten se do prostoru dostává otvory ve stropu IV. komory mozkové.

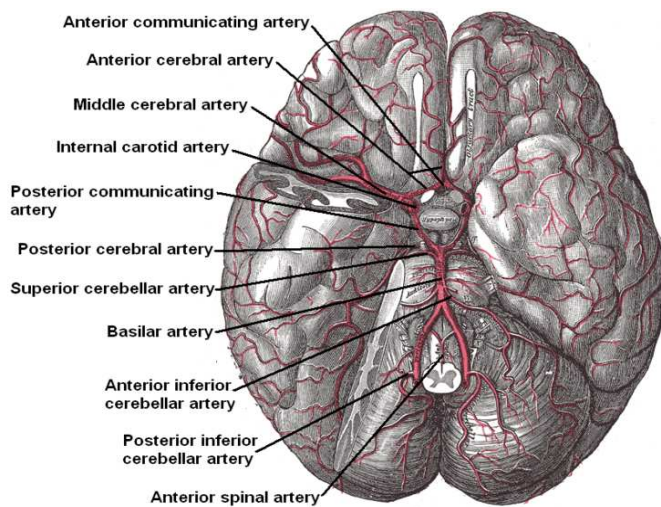
1.1.1. Cévní zásobení mozku

Hlavním zdrojem cév pro mozek jsou pravá a levá a. vertebralis a levá a pravá a. carotis interna, jež spolu s dalšími cévami vytvářejí circulus arteriosus cerebri (Willisi). [1]

Aa. vertebrales se po vstupu do lebky skrze foramen magnum occipitale spojují a vytváří a. basilaris. Ta je uložena na ventrální straně mozkového kmene v sulcus basilaris. V této části odstupují větve pro mozeček a a. basilaris se dělí na dvě aa. cerebri posteriores dextra et sinistra.

Aa. cerebri internae se v pars cerebralis dělí v několik tepen, z nichž k mozku přicházejí a. cerebri anterior dextra et sinistra, které přecházejí na přední a horní stranu corpus callosum a na mediální plochu čelního a temenního laloku koncového mozku. A. communicans anterior což je nepárová spojka mezi aa. cerebri anteriores. Dále a. cerebri media dextra et sinistra, ze které jde po obou stranách dorsomediálně tepenná spojka a. communicans posterior dextra et sinistra (obr.2).

Krev z mozku je odváděna žílymi, které lze rozdělit na odtokové žíly mozkového kmene a odtokové žíly mozkových hemisfér. Žíly středního mozku se sbírají do v. basalis, jež vzniká na spodní ploše čelního laloku a vstupuje do v. magna cerebri společně s v. cerebelli superiores (žíly mozečku). Žíly hemisfér se dělí na povrchové žíly (v. cerebri superiores et inferiores, v. cerebri media superficialis a v. cerebri media profunda) a na hluboké žíly, uložené při horní ploše thalamu (vena cerebri interna, v. magna cerebri).



Obr. 2. Cévní zásobení mozku

1.2. Periferní nervový systém

Periferní nervový systém je tvořen svazky nervových vláken. Rozdělují se na senzitivní a motorická vlákna periferního nervu. Senzitivní nervy vstupují do míchy a do mozkového kmene, do kterého přinášejí senzitivní a sensorické signály. Motorická vlákna vystupují z míchy a mozkového kmene, do periferie organismu vedou impulsy na motorické ploténky svalů.

Periferní nerv

Funkční jednotkou periferního nervu je periferní nervové vlákno. Ve spinálním nervu jsou to eferentní neurity buněk předních rohů míšních a aferentní dendrity pseudounipolárních buněk spinálních ganglií. Periferní nervová vlákna se skládají z axonu a pochvy. Podle druhu pochvy je rozdělujeme na vlákna myelinizovaná (bílá) a nemyelinizovaná (šedá vlákna Remakova). Přibližně 10000 axonů obalených endoneurinem se spojuje do svazečků (fascikul) obalených perineurinem. Jeden až sto fascikulů obaluje epineurium a tvoří tak periferní nerv. [3]

2. Fyziologie

Nervový systém je hlavním řídicím a integrujícím systémem organismu. Jeho základní funkcí je rychlý a přesný přenos informací z receptorů, jejich centrální zpracování a vysílání nových signálů na efektory. Přenášené informace, nebo-li vzruchy, jsou kódem nervové soustavy. Jelikož je činnost nervového systému velmi mnohotvárná, má vznik vzruchu, jeho vedení nervem a přenos mezi jednotlivými neurony své zákonitosti a projevy. [3]

Činnost nervové soustavy je podmíněna stavbou a funkcí jednotlivých nervových buněk a jejich vzájemnými vztahy. V centrálním nervovém systému (CNS) vytvářejí nervové buňky komplikovanou a vzájemně mnohočetně propojenou prostorovou síť, která je v kontaktu s gliovými elementy. Mezi jednotlivými buňkami jsou úzké mezibuněčné prostory, které slouží k přísunu živin a odvádění katabolitů. Tento proces je v nervovém systému ovlivněn tzv. hematoencefalickou bariérou, která napomáhá v kontrole a udržování stálého vnitřního prostředí v CNS. [3]

Celkový průtok krve mozkem je 50-60 ml za minutu na 100g tkáně. Šedou hmotou proteče 65-85ml za minutu a bílou hmotou 27-33 ml za minutu na 100g tkáně.

V okolí neuronů CNS i PNS jsou buňky, které kromě podpůrné funkce zajišťují výživu nervových buněk, chrání je a fagocytují poškozené neurony. Nazývají se neuroglie.

V CNS rozlišujeme čtyři typy gliových buněk.

- a) ependymové buňky, které tvoří výstelku dutin CNS a podílejí se na transcelulárním transportu;
- b) astrocyty, kromě podpůrné mají důležitou výživnou funkci, podílí se na funkci hematoencefalické bariéry;
- c) oligodendroglie, podílí se na zajištění metabolismu neuronů;
- d) mikroglie se v CNS účastní obranných a úklidových reakcí především při patologických stavech.

V PNS rozlišujeme dva typy buněk. Schwannovy buňky a satelitní buňky (amficyty), které mají roli v metabolických procesech gangliových buněk. [3]

3. Metody nukleární medicíny v neurologické diagnostice

Metody nukleární medicíny nám přinášejí informace o funkčním zobrazení průtoku krve mozkem, o regionálním metabolismu mozku a o distribuci a hustotě receptorů v CNS.

Radionuklidové zobrazovací techniky obecně rozdělujeme na planární techniku a tomografické zobrazení, v nukleární medicíně označované jako emisní tomografie. V emisní tomografii jsou 2 odlišné metody: jednofotonová emisní tomografie (single photon emission computed tomography) SPECT a pozitronová emisní tomografie (positron emission tomography) PET. Liší se používanými radionuklidy, přístrojovým vybavením, zpracováním výsledků i klinickými aplikacemi. [4]

3.1. Vyšetření regionálního průtoku krve mozkem

Perfuze mozku je závislá na stavu cévního řečiště, který by měl umožnit dostatečný přítok krve. Dalším faktorem ovlivňující prokrvení mozkové tkáně je její funkční aktivita. [5]

3.1.1. Radiofarmaka

Při scintigrafickém vyšetření regionální mozkové perfuze se používají radiofarmaka, která pronikají intaktní hematoencefalickou bariérou. Tyto látky musí splňovat určité požadavky. Musí vykazovat vysokou míru extrakce látky již při prvním průtoku mozkem, jejich distribuce v mozku musí být úměrná regionálnímu průtoku krve mozkovou tkání. A dále retence v mozkové tkáni musí být dlouhodobá a nesmí vykazovat redistribuci.

Tyto požadavky splňují lipofilní indikátory schopné proniknout přes hematoencefalickou bariéru do mozkových buněk, které následně v intracelulárním prostředí neuronů nabývají hydrofilní charakter a od této doby již nejsou schopny

zpětně pronikat hematoencefalickou bariérou. Tímto dojde k zafixování obrazu perfuze mozku z okamžiku těsně navazujícího na intravenózní podání radiofarmaka. [5]

Intenzita kumulace lipofilních indikátorů v korových či podkorových strukturách je závislá na nabídce radiofarmaka (průtoku) a metabolickém stavu jednotlivých neuronů. Indikátory jsou dodávány ve formě neaktivních substancí a v radiofarmaceutické laboratoři jsou označeny ^{99m}Tc . [4]

$^{99m}\text{Tc-HMPAO}$ (hexametylpropylenaminoxim) – je dodáván jako neaktivní kit exametazimu CERETEC. Během prvního průtoku je vycytáno 80% radiofarmaka, v mozkové tkáni je deponováno 3,5-7% podané aktivity, do dvou minut se vyplaví pouhých 15% a pak již aktivita zůstává prakticky neměnná. Po vstupu do buněk přechází lipofilní komplex v hydrofilní, který je deponován v buňkách.

$^{99m}\text{Tc-ECD}$ (ethylcysteinat dimer = bicisát) – je dodáván jako neaktivní substance pod názvem NEUROLITE. Akumulace v mozku je vyšší než u HMPAO. Během prvního průtoku je vycytáno 60-70% radiofarmaka, v mozkové tkáni je deponováno 5-6% podané aktivity. Výhodou je velmi rychlá krevní clearance, což umožňuje dosáhnout vysokého kontrastu mezi mozkovou tkání a tělovým pozadím a tím i vysokou kvalitu scintigrafického obrazu.

Množství podané aktivity u dospělých je 555 – 800 MBq, u dětí 7,4 – 11,1 MBq/kg hmotnosti, minimální aplikovaná aktivita radiofarmaka je 110 MBq.

3.1.2. Příprava pacienta a aplikace radiofarmaka

Před příchodem k vyšetření by pacient neměl pít alkohol, kofeinové a energetické nápoje, neměl by kouřit a užívat léky ovlivňující mozkové prokrvení. Otázku vysazení léků je vhodné před vyšetřením konzultovat s ošetřujícím lékařem. [5]

Pacient by měl být dobře hydratovaný před i po vyšetření. Dále je nutné blokovat akumulaci volného ^{99m}Tc v chorioideálních plexech perorálním podáním chloristanu draselného (Chlorigen).

Před aplikací radiofarmaka je nutné se ujistit, že je pacient schopen spolupráce, tedy že vydrží ležet bez pohybu hlavy zhruba 30 – 40 minut. Musí být informován o délce vyšetření a o nutnosti nepohybovat hlavou během vyšetření.

K dosažení stabilního prostředí v době aplikace radiofarmaka a doby jeho akumulace v mozku je nutné dodržovat určitá pravidla. Pacienta umístit na lůžko v tiché a polozatemnělé místnosti. To vede k eliminaci rušivých zevních podnětů - akustických a optických. Tím dojde k minimalizaci vlivu variability funkční aktivity mozkové tkáně na mozkovou perfuzi a metabolismus. Pacientovi zavést nitrožilní kanylu 10 – 15 minut před aplikací radiofarmaka, tím dojde k zabránění pocitu bolesti z venepunkce při aplikaci indikátoru. Uložíme ho do pohodlné polohy, poučíme, že má nechat otevřené oči, neucpávat uši, neměl by mluvit, číst a pohybovat se 5 minut před a 5 minut po aplikaci radiofarmaka. Zaznamenat jakoukoli událost, která by mohla ovlivnit regionální mozkovou perfuzi během aplikace radiofarmaka (např. pohyb, mluvení).

Pokud je třeba podat pacientovi sedativa, je vhodné je podat až po aplikaci radiofarmaka při dodržení minimálního časového odstupu 5 minut.

K posouzení perfuzní rezervy cévního mozkového řečiště je nutno indukovat vasodilataci cévního řečiště mozku. Účinným podnětem způsobujícím dilataci řečiště je intravenózní podání acetazolamidu nebo přímá inhalace CO₂ (hyperkapnie).[5]

3.1.3. Provedení

Pacient je uložen na stůl gama kamery. Hlavu pacienta je nutné fixovat, aby nedošlo ke zkreslení obrazu v důsledku pohybu. Vyšetření se zahajuje 50 minut po aplikaci ^{99m}Tc-HMPO, v případě aplikace ^{99m}Tc-ECD začíná 45 minut po intravenózním podání.

Snímá se pomocí SPECT kamery, která je opatřena paralelními kolimátory pro nízké energie s vysokým rozlišením nebo kolimátory typu fan-beam. Volíme záznamovou matici nejčastěji o velikosti 128x128. Detektory kamery rotují po kruhové orbitě nepřetržitě nebo po krocích („step and shoot“) v co nejmenší vzdálenosti od hlavy. Celkový úhel rotace je 360⁰, celkový počet projekcí je 120 (128) a doba snímání jedné projekce trvá 25 – 40 sekund.

K rekonstrukci SPECT obrazů se používá filtrovaná zpětná projekce nebo iterativní rekonstrukce a obrazy jsou korigovány na atenuaci záření. Při vyšetření se vytvářejí tomografické řezy v transverzálních, koronálních a sagitálních rovinách. [5]

3.1.4. Hodnocení SPECT

Pro identifikaci jednotlivých zobrazených struktur se používají vhodné atlasy řezů nebo současné hodnocení SPECT/CT, do budoucna i SPECT/MRI. [4]

Prvním krokem při hodnocení nálezu je vyloučení přítomnosti artefaktů způsobených pohybem hlavy pacienta. Výsledkem vyšetření jsou série tomografických řezů mozku ve 3 základních rovinách. Vlastní hodnocení se provádí na monitoru počítače při použití optimálního nastavení kontrastu, odečtu pozadí a nastavení příslušné barevné škály zobrazení. Hodnocení je třeba provádět při znalosti příslušné strukturální informace (CT, MRI). [5]

Tomografické řezy mozku se hodnotí několika způsoby. **Vizuální hodnocení** (kvalitativní), je hodnocení, kdy se hledají zřetelné ložiskové změny v depozici radiofarmaka. Dále se posuzuje symetrie v zobrazení mozkových hemisfér či srovnání s referenční aktivitou mozečku nebo jiných oblastí. **Semikvantitativní hodnocení**, je hodnocení, které se provádí pomocí statistických metod a výrazně zvyšuje informační potenciál funkčních zobrazovacích metod. Jedná se o stranové srovnání počtu impulzů v oblasti zájmu (ROI) a zhodnocení četnosti impulzů v jednotlivých oblastech s referenční oblastí. **Statistické parametrické mapování – SPM** (statistical parametric mapping), metoda, kdy se zhodnocují četnosti impulzů v identických skupinách pixelů (voxlů) dvou souborů obrazu mozku. Počet impulzů v pixelu či voxlu ukazuje na měřitelný fyziologický nebo patologický proces.

Při hodnocení mohou být dvě rozdílné situace - oblast snížené akumulace radiofarmaka nebo hyperfixace perfuzního radiofarmaka. Oblast snížené akumulace může být důsledkem redukce průtoku či snížením počtu neuronů nebo snížením aktivity a metabolismu v neuronech. Příčiny hyperfixace radiofarmaka dosud nejsou jednoznačně objasněny.

3.1.5. Kontraindikace

Relativní kontraindikací při perfuzní scintigrafii mozku je těhotenství. U těhotných žen se provádí pouze z vitální indikace při minimalizaci aplikované aktivity

radiofarmaka. U kojících žen je nutno přerušit kojení na 12 hodin. Mléko, které se v prsu vytvoří je nutné odsát a znehodnotit. S kojením žena může opět začít, je-li úroveň radiační dávky pro dítě nižší než 1mSv. Další kontraindikací je kompletní nespolupráce pacienta. [6]

3.1.6. Indikace

Perfuzní scintigrafie mozku je indikována především při akutních i chronických cerebrovaskulárních onemocněních mozku, diferenciální diagnostice demencí, předoperační lokalizaci epileptického ložiska, při diagnostice traumat mozku a při ověření mozkové smrti. Dalšími možnými indikacemi jsou komplikované migrény, diferenciální diagnóza organického psychosyndromu, diferenciální diagnóza bezvědomí, určení rozsahu funkčních poruch u ložiskových procesů v mozku.[5]

3.2. Cerebrovaskulární onemocnění

Cévní mozkové příhody (CMP) představují časté a závažné onemocnění. CMP můžeme rozdělit na ischemické a hemoragické (intracerebrální a subarachnoideální krvácení).

Ischemické CMP vznikají jako důsledek poruchy prokrvení určité oblasti mozku nebo celého mozku s následnou hypoxií. [7]

Příčiny se dělí na lokální, zodpovědné za ložiskovou symptomatologii a na celkové, které vedou k difuznímu hypoxickému poškození mozku.

Dle průběhu je rozdělujeme na:

Tranzitorní ischemická ataka CMP-TIA (transient ischemic attac) - jedná se o epizodu fokální mozkové dysfunkce, která kompletně odeznívá do 24 hodin.

Reversibilní CMP – RIND (reversible ischemic neurologic deficit) – trvá déle než 24 hodin a odeznívá do 14 dnů, někdy může být s drobným trvalým funkčním deficitem.

Progredující CMP – SE (stroke in evolution) – jde o postupně narůstající fokální mozkovou hypoxii s progresí klinických příznaků.

Ireversibilní CMP – CS (completed stroke) – dokončená příhoda, představuje ložiskovou hypoxii mozku s trvalým funkčním deficitem. [7]

Mozkové hemoragie netraumatického původu, jsou většinou způsobeny chronickou arteriální hypertenzí. V menší míře způsobuje krvácení alkohol, AV malformace, arteriální aneuryzmata.

Ischemické i hemorrhagické ložisko se v mozkové tkáni zobrazí jako oblast bez akumulace radiofarmaka, protože radiofarmakum neproniká do postižené oblasti.

Při vyšetření pomocí ^{99m}Tc -HMPAO se zobrazuje vlastní ložisko jako oblast bez akumulace radiofarmaka, na periferii se však zobrazuje tkáň, která je poškozena (narušená hematoencefalická bariéra), ale v níž je zachováno prokrvení. V oblasti s porušenou hematoencefalickou bariérou dochází k většímu průniku radiofarmaka do tkáně. Tato zvýšená akumulace se nazývá luxusní perfuze (luxury perfusion), jde o oblast, ve které při adekvátní terapii může být zachována životaschopnost mozkové tkáně.

Chabější perfuze kontralaterální mozečkové hemisféry ke straně CMP je zkřížená mozečková diaschýza“ (zobrazuje se při vyšetření po podání HMPAO i ECD), je zapříčiněna funkčně v důsledku narušení integrity kortikopontocerebelárních drah.

3.2.1. Vyšetření cerebrovaskulární rezervy

Zátěžový SPECT mozku je diagnostické vyšetření, které slouží k posouzení cerebrovaskulární rezervy po podání vasodilatačního podnětu v dvoudenním protokolu. [6]

Je indikováno neurology a neurochirurgy při uzávěru některé z hlavních větví a. carotis interna před zvažovaným revaskularizačním výkonem. Pokud se při zátěži prokáže cerebrovaskulární rezerva, operace se neprovádí.

3.2.2. Indikace

Zátěžový SPECT mozku je indikován při posouzení cerebrovaskulární rezervy před plánovaným revaskularizačním výkonem. Dále při diferenciální diagnostice vaskulárních demencí a monitorací efektu po chirurgickém zákroku na a. carotis. [8]

3.2.3. Možnosti zátěže

Zátěžový SPECT mozku provádíme několika způsoby. Mezi ně patří podání acetazolamidu (Diamox), inhalace CO₂ a infuze dypiridamolu.

Cílem zátěže je zvýšit průtok nepostiženým periferním arteriálním řečištěm mozku, zatímco cévy změněné aterosklerotickým procesem nejsou schopné reagovat dilatací. V důsledku zátěže se prohloubí rozdíl mezi úrovní akumulace radiofarmaka ve zdravé tkáni a ve tkáni zásobené takto postiženými cévami.

3.2.4. Acetazolamid

K farmakologické zátěži se používá Diamox (acetazolamid). Pacientovi se zavede i.v. kanyla a poté je uložen na lůžko v aplikační místnosti. U dospělých se aplikuje 1000 mg pomalu i.v., u dětí 14 mg/kg. Lékař aplikuje 10 ml Diamoxu do i.v. kanyly rychlostí 2 ml/min. Během aplikace se provádí monitorování tlaku krve bazálně a to ve 3. minutě během podávání Diamoxu, za 10 minut po aplikaci a nakonec před odchodem z oddělení. Nastane-li u pacienta hypotenze, podává se 250 ml fyziologického roztoku s další monitorací tlaku krve.

Podání acetazolamidu (Diamoxu) jako inhibitoru karboanhydrázy před opakovaným vyšetřením (1g i.v. 20 minut před aplikací 99mTc-HMPAO či ECD) zvýší průtok nepostiženým arteriálním řečištěm mozku. Aterosklerotickým procesem změněné cévy nejsou schopny reagovat dilatací. V důsledku steelu se prohloubí rozdíl mezi úrovní akumulace radiofarmaka v mozkové tkáni zásobované intaktními cévami a ve tkáni zásobované takto postiženými cévami. [4]

3.2.5. Příprava pacienta k vyšetření

Pacient musí před příchodem na vyšetření vynechat na 24 hodin alkohol, nápoje s obsahem kofeinu a jiné energetické nápoje. Před i po vyšetření musí být dostatečně hydratován.

3.2.6. Aplikace radiofarmaka

Radiofarmakum ^{99m}Tc -ECD NEUROLITE se aplikuje u Diamoxu za 20 minut po ukončení zátěže, u inhalace CO_2 se provádí na vrcholu zátěže. V době injekce a fixace radiofarmaka se musí vytvořit stabilní podmínky bez akustických a vizuálních podnětů. U neklidného pacienta je nutný stálý dohled. Za 5 minut po aplikaci může pacient odejít do čekárny. Nastavení pacienta lze zahájit za 30 minut po aplikaci, akvizice začíná 45-60 minut po aplikaci radiofarmaka.

Acetazolamid má diuretický efekt, proto by se měl pacient před vyšetřením vymočit. [8]

3.2.7. Akvizice

Při registraci pacienta se vybírá study – brain scan. Následuje SPECT akvizice, při které se kontrolují a doplňují informace. Jedná se o a) Series information, kdy se kontroluje aplikovaná aktivita a radiofarmakum. b) Camera parameters – matice 128x128, zoom 2, orientace head in a fotopíky A1 140 keV a B2 dolní scatter. c) Stop conditions – 1 projekce á 40 sec, konfigurace hlav 180 stupňů, směr rotace CW (podle směru hodinových ručiček), rotace jednoho detektoru 180 stupňů, počet kroků 64 á 1 detektor (128 kroků/360 stupňů), cirkulární orbita a step and shoot. Po kontrole a doplnění informací následuje SPECT rekonstrukce, která navazuje automaticky.

3.2.8. Kontraindikace

Při zátěžovém SPECT vyšetření mozku Diamoxem je mimo jiné i kontraindikací alergie na sulfáty, která může vyvolat kožní vyrážku, anafylaktickou reakci nebo bronchospasmus. Dále u pacientů s anamnézou migrény může vyvolat její ataku. Relativní kontraindikací je renální nebo jaterní insuficience. [8]

3.2.9. Inhalace CO₂

K inhalaci se používá plyn s obsahem 5% CO₂ a 95% O₂. Cílem inhalace je vzestup parciálního tlaku CO₂ ve vydechovaném vzduchu o 1-2 kPa od basální hodnoty.

Při zátěži monitorujeme vydechovaný etCO₂, EKG křivku a tepovou frekvenci, tlak krve každou minutu, dechovou frekvenci a objem výdechu v ml/min. a časový údaj délky zátěže.

Doba inhalace je individuální, nejčastěji se pohybuje okolo 6 minut. Při dosažení vzestupu parciálního tlaku CO₂ ve vydechovaném vzduchu o 1,3 kPa, se aplikuje radiofarmakum a inhalace probíhá ještě 60 sekund po aplikaci. Průkazem vzestupu tlaku krve a hyperventilace je účinná hyperkapnie.

Inhalace CO₂ je limitována nespoluprací pacienta, přidruženými onemocněními dýchacího systému, netěsností dýchacího okruhu a dýchací masky.

3.3. Diferenciální diagnostika demencí

Demence rozdělujeme podle charakteru a lokalizaci postižení na posteriorní, vaskulární a frontotemporální (alkoholická demence, schizofrenie). Posteriorní demence zahrnuje Parkinsonovu chorobu a Alzheimerovu demenci, při které dochází k difúznímu snížení perfuze a metabolismu v kůře temporálních až parietálních laloků. U vaskulární demence jsou typické fokální perfuzní defekty. V oblasti jsou přítomny multiinfarktové oboustranné asymetrie snížené perfuze a sníženého metabolismu.

3.4. Detekce epileptického ložiska

Při nezvládnutelných medikamentózních parciálních (fokálních) epilepsií je někdy nutné chirurgicky odstranit ložisko spouštějící epileptické záchvaty. [5]

Iniciálně je nutné pokusit se lokalizovat záchvat v metabolickém nebo perfuzním stavu. Ohniska záchvatu se projeví hyperperfuzí a zvýšeným metabolismem během záchvatu (iktální studie), snížením metabolismu a hypoperfuzí mezi záchvaty (intariktální studie). [9]

K iktálnímu zobrazení pomocí SPECT techniky se používají indikátory ^{99m}Tc -HMPAO a ^{99m}Tc -ECD. Radiofarmakum se aplikuje na počátku záchvatu, pacient je sledován kamerou a monitoruje se EEG. Epileptogenní fokus se projeví zvýšenou perfuzí. Interiktální scintigrafie se provádí mezi záchvaty, krevní průtok do epileptického ložiska je normální nebo snížený.

Zobrazení pomocí ^{18}F -FDG je metodou volby pro hodnocení metabolismu. [9]

3.5. Trauma mozku

Vyšetření pomocí SPECTu je přínosné u lehčích traumat, kde není klinická symptomatologie vyjádřena, k průkazu organického poškození mozku či jeho cévního řečiště. Senzitivita metody může převyšovat i výpovědní hodnotu CT i MRI.

3.6. Diagnostika mozkové smrti pomocí SPECT

Perfuzní scintigrafie mozku je neinvazivní alternativou angiografické diagnostiky mozkové smrti. Od roku 2002 dle zákona č. 285/2002 Sb. je možný průkaz mozkové smrti i scintigrafickou metodou. Mechanismem, který vede k mozkové smrti, je edém mozku a s ním spojená blokáda průtoku krve mozkem. Nálezem je absolutní nepřítomnost akumulace perfuzního radiofarmaka v mozku. Vyšetření se skládá z dynamické scintigrafie sledující průtok radiofarmaka oblastí hlavy a z následného SPECT vyšetření mozku a planární scintigrafie ze čtyř projekcí. [5]

Radiační zátěž při perfuzní scintigrafii mozku

Odhad efektivní dávky a dávky v orgánu s nejvyšší absorbovanou dávkou lze u vyšetřovaného pacienta stanovit vynásobením v tabulce uvedených hodnot aplikovanou aktivitu radiofarmaka (MBq). [5]

SPECT vyšetření mozkové perfuze 99mTc-HMPAO		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	ledviny: 0,034	0,0093
Děti do 5 let	ledviny: 0,081	0,027

SPECT vyšetření mozkové perfuze 99mTc-ECD		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	močový měchýř: 0,049	0,0074
Děti do 5 let	močový měchýř: 0,072	0,019

4. Receptorová diagnostika

Nejčastěji jde o zobrazování součástí dopaminových synapsí v bazálních gangliích. V těchto synapsích jsou pre- i postsynapticky lokalizované dopaminové receptory a na presynaptické membráně jsou navíc i dopaminové transportéry, které slouží ke zpětnému vychytávání dopaminu uvolněného do synaptické štěrbině, aby jej bylo možno znovu využít pro jeho opětné uvolnění do synaptické štěrbině při příchodu dalšího signálu (obr.3). [5]

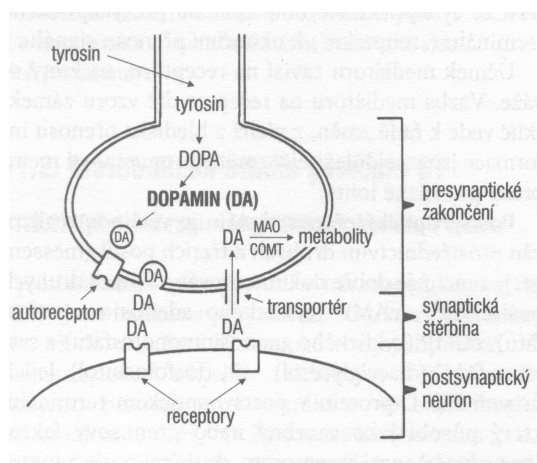
Presynaptickou distribuci dopaminových transportérů v bazálních gangliích lze zobrazit pomocí analogů kokainu. Jsou to ^{123}I FP-CIT (ioflupan) DaTSCAN, ^{123}I - β CIT nebo ^{123}I -TRODAT1. Rozložení a množství postsynaptických dopaminových D2 receptorů lze zobrazit pomocí ^{123}I -IBZM (jodbenzamid) nebo ^{123}I -epidepridu. [5]

K zobrazování se nejčastěji používají ^{123}I -IBZM (jodbenzamid) a ^{123}I -ioflupan (DaTSCAN). Radiofarmaka se aplikují intravenózně o aktivitě 185 MBq. Snímání se provádí za 1,5 hodiny po podání ^{123}I -IBZM a 3 hodiny po aplikaci ^{123}I FP-CIT DaTSCAN pomocí SPECT.

Při posuzování stupně deficitu dopaminových transportérů se používá vizuální hodnocení se 3 stupni závažnosti postižení. K hodnocení lze využít i semikvantitativní hodnocení s výpočtem indexu specifické aktivity ve striatu a jeho dvou částech. [5]

Pomocí DaTSCANu prokážeme presynapticky uložené dopaminové transportéry. Tím lze prokázat idiopatickou Parkinsonovu chorobu a Parkinson plus syndromy. Deficit postsynapticky lokalizovaných D2 receptorů prokazuje postsynaptické postižení.

Zobrazení dopaminového metabolismu tedy napomáhá při diferenciální diagnostice parkinsonských poruch hybnosti. Příčinou Parkinsonovy choroby je degenerace nigrostriatálních drah, kdy je postižena aferentní dráha vedoucí do bazálních ganglií. Při Parkinson plus syndromu je postiženo přímo striatum. Esenciální tremor a parkinsonský syndrom, které vznikly jako nežádoucí efekt při jiné medikamentózní léčbě, nemají postiženou žádnou část dopaminové synapse.



Obr.3 Struktura dopaminergní synapse jako modelu chemické synapse [4]

Radiační zátěž [5]

SPECT zobrazení dopaminových transportérů ve striatu pomocí ligandů značených 123I		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	stěna močového měchýře: 0,054 tlusté střevo: 0,042	0,14
Děti do 5 let	údaje nejsou k dispozici vyšetření se neprovádí	údaje nejsou k dispozici vyšetření se neprovádí

5. ^{18}F -FDG – PET vyšetření mozku

Pozitronová emisní tomografie (PET) je jednou ze dvou metod emisní tomografie (SPECT a PET) založená na tzv. koincidenční (současné) detekci dvou anihilačních fotonů gama, vzniklých při anihilaci pozitronu emitovaného zdrojem záření s elektronem v zobrazovaném orgánu. [4]

Jedná se o vyšetření, pomocí kterého zobrazíme rozložení a intenzitu metabolismu glukózy v mozku. K zobrazení se používá značený analog glukózy ^{18}F -FDG. [10]

Je to makroskopická zobrazovací metoda, která v praxi nemůže zachytit mikroskopickou lézi. Nádory lze zobrazit od průměru 5mm. [10]

Intenzita akumulace radiofarmaka v mozkové tkáni závisí na její funkční aktivitě a jejím prokrvení. Výrazná akumulace je v šedé hmotě mozkové, v bílé hmotě je akumulace slabá.

PET vyšetření je optimální provádět na hybridních PET/CT přístrojích umožňujících korelaci PET nálezu s anatomickým substrátem. Vytváří se tomografické řezy v transverzálních, koronálních a sagitálních rovinách. [5]

5.1. Indikace

V onkologii se používá k lokalizaci primárních nádorů a metastáz se zvýšenou metabolickou aktivitou. V neurologii a neurochirurgii slouží k lokalizaci epileptických ložisek a mozkových nádorů, k vyšetření regionální utilizace glukózy v mozku u pacientů s neurologickou poruchou a k diagnostice degenerativních postižení mozku. [11]

5.2. Aplikace radiofarmaka

Před aplikací radiofarmaka je nutné, aby pacient 6 hodin před vyšetřením lačnil. [11] Musí být dobře hydratovaný. 10 minut před aplikací se pacientovi zavede intravenózně kanyla, do které je následně aplikuje ^{18}F -FDG. Pro neurologické či neurochirurgické stanovení se aplikuje 150 – 300 MBq a pro onkologické vyšetření 300 – 500 MBq. FDG

se z krevního oběhu velmi rychle dostává do extracelulární tekutiny, odkud je transportována do buněk. Zhruba 4% z podané aktivity jsou vychytány v mozku. Pacientovi je nutné fixovat hlavu, aby nedošlo k pohybovému zkreslení obrazu.

Radiační zátěž [5]

PET 18F-FDG		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	močový měchýř: 0,16	0,019
Děti do 5 let	močový měchýř: 0,32	0,050

6. Diagnostika mozkových nádorů

Nádory mozku obecně dělíme na primární a sekundární nádory (metastázy). Primární nádory nejčastěji vznikají z podpůrné mozkové tkáně (neuroglie). Jsou to tzv. gliomy, podle malignity je rozdělujeme na gliomy s nízkým stupněm malignity (low-grade), které rostou pomalu. A gliomy s vysokým stupněm malignity (high-grade) jejichž růst je velmi rychlý a agresivní. Gliomy tvoří 50% všech mozkových nádorů. Primární nádory mohou vznikat i z okolní mozkové tkáně, jsou to především meningeomy, které vycházejí z buněk mozkových obalů. Řadí se mezi benigní nádory, avšak svojí polohou mohou být fatální.

Indikací k vyšetření bývá posouzení malignity nádorů, diferenciální diagnostika recidivy a radionekrózy, sledování efektu léčby nádorů a používá se k navádění biopsie.

K diagnostice mozkových nádorů se používá technika SPECT i PET.

Při detekci nádorové tkáně v mozku je výhodnější využívat látky, které nejsou přirozeně akumulovány v šedé hmotě mozkové. Takového zobrazení mozkových tumorů lze dosáhnout při použití značených analogů aminokyselin, nukleotidů, peptidů a dalších látek včetně ^{99m}Tc -MIBI a ^{201}Tl -chloridu. [5]

Při vyšetření pomocí SPECT se používají indikátory ^{201}Tl -chlorid, ^{99m}Tc -MIBI, ^{99m}Tc -tetrofosmin a indikátor metabolismu aminokyselin v mozku ^{123}I -MIT. ^{201}Tl -

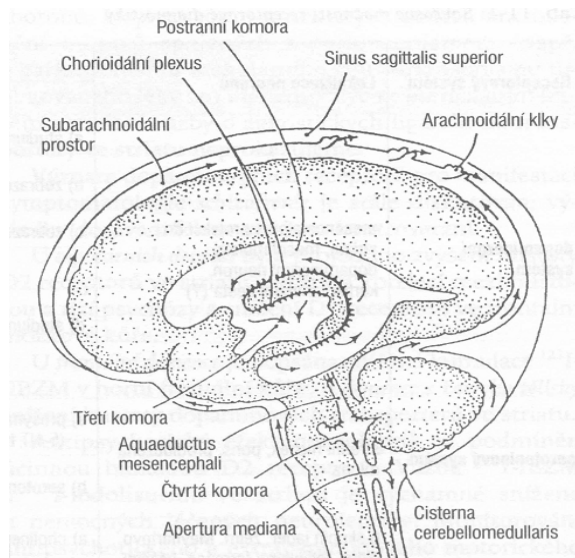
chlorid, ^{99m}Tc -MIBI se vychytávají v high-grade gliomech mozku což umožňuje v předoperačním období odlišit oblast tumoru a peritumorálních změn.

K PET vyšetření nádorů se indikují ^{11}C -metionin (^{11}C -MET) a ^{18}F -fluoroetylytyrosin (^{18}F -FET).

Z primárních nádorů bývá FDG zvýšeně akumulována především v gliomech III. a IV. stupně. Nízkostupňové gliomy a meningeomy obvykle akumulují FDG méně než okolní šedá hmota. FDG PET lze využít po léčbě, kdy CT či MR mnohdy nejsou schopné odlišit poléčebné změny od recidivy neoplazie. Je-li po léčbě v ložisku přítomna zřetelně zvýšená akumulace FDG oproti okolí, je recidiva vysokostupňového gliomu nebo tzv. upgrading nízkostupňového gliomu vysoce pravděpodobná. [10]

7. Radionuklidová cisternografie

Likvorové prostory jsou tvořeny mozkovými komorami (postranní, III. a IV.), centrálním míšním kanálem a subarachnoideálními prostory mozku a míchy. Mozkomíšní mok se vytváří v chorioidálních plexech postranních komor, poté odtéká z postranních komor do III. a následně do IV. komory, z níž dále pokračuje v toku do cisterna magna, bazálních cisteren a kaudálně podél míchy. Kanálky IV. komory vytvářejí komunikaci se subarachnoideálním prostorem. Část moku odtéká podél mozkového kmene a stoupá po povrchu hemisfér vzhůru. Mok se vstřebává do žil na povrchu CNS (arachnoidální granulace) a v kapilárách periventrikulární bílé hmoty (obr.4).



Obr.4 Cirkulace mozkomíšního moku (dle Tichého) [4]

7.1. Indikace

Vyšetření slouží k diagnostice likvorey, diagnostice normotenzního komunikujícího hydrocefalu (hlavně při diferenciální diagnostice komunikujícího a nekomunikujícího hydrocefalu), případně k ověření průchodnosti shuntu odvádějícího cerebrospinální mok, který byl zaveden k terapii obstrukčního hydrocefalu. [5]

Diferenciální diagnostika jednotlivých forem hydrocefalu

Hydrocefalus charakterizuje patologické zvýšení objemu intrakraniálního moku mozkomíšního se známkami útlaku mozkové tkáně nebo bez nich. Nitrolební tlak může být zvýšen, jsou však i formy bez nitrolební hypertenze. Hydrocefalus vzniká nadprodukcí nebo sníženou resorpcí moku, častěji však blokádou jeho cirkulace nebo v důsledku mozkové atrofie. [4]

Dělí se na obstrukční a neobstrukční. **Obstrukční hydrocefalus** se dále rozděluje na nekomunikující (h. internus), který je způsoben neprůchodností spojení jednotlivých oddílů komorového systému s rozšířením komor před překážkou v důsledku nádorů, stenóz či atrezií. Komunikující (h. externus) vznikající při extrakomorové blokádě cirkulace v důsledku obliterace cisteren. **Neobstrukční hydrocefalus** vzniká v důsledku

atrofie mozku s generalizovaným rozšířením likvorových prostorů nebo je lokalizovaný při porencefalické nebo subarachnoideální cystě. [4]

7.2. Radiofarmaka

K vyšetření cirkulace likvoru se nejčastěji používá ^{111}In -DTPA. DTPA je chelát, který se vstřebává společně s mozkomíšním mokem pouze v arachnoidálních granulacích, především v oblasti sinus sagittalis superior. [5]

Metoda

Při radionuklidové cisternografii se ^{111}In -DTPA podává v dávce 20-40 MBq v 2-3 ml 10% glukózy lumbální punkcí do subarachnoidálního prostoru. Radiofarmakum následně difunduje subarachnoidálním prostorem míchy a za normálních podmínek dosáhne za 1 hodinu od aplikace úrovně bazálních cisteren, za 2-6 hodin frontálních laloků a Sylviovy rýhy, za 12 hodin mozkových konvexit a za 24 hodin sagitálních sinů. Za normálních okolností nemůže dojít k průniku radiofarmaka do postranních komor.

7.3. Akvizice

Snímání planární kamerou se provádí v přední, zadní a bočné projekci za 2, 4-6 a 24 hodin po aplikaci. Při zpomalené cirkulaci likvoru je nutné doplnit i vyšetření za 48-72 hodin po podání radiofarmaka.

Radiační zátěž [5]

Scintigrafie likvorových prostorů ^{111}In-DTPA		
	Orgán s nejvyšší absorbovanou dávkou [mGy/MBq]	Efektivní dávka [mSv/MBq]
Dospělí	mícha: 0,95	0,14
Děti do 5 let	nestanoveno	nestanoveno

8. Radiační ochrana

Medicínská diagnostika a terapie patří k nejdůležitějším aplikacím ionizujícího záření.

Práce na odděleních nukleární medicíny v oblasti radiační ochrany se řídí předpisy.

Jedná se o:

Zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření a o změně a doplnění některých zákonů, v platném znění.

Vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. [12]

Cílem radiační ochrany je zcela vyloučit deterministické účinky ionizujícího záření a omezit pravděpodobnost vzniku stochastických účinků na míru přijatelnou pro jednotlivce a společnost. [4] Toho se dosahuje pomocí principů optimalizace, zdůvodnění a limitů.

8.1. Účinky záření

Účinky záření rozdělujeme na deterministické a stochastické.

Deterministické účinky mají dávkový práh, který je pro každou tkáň jiný. S rostoucí dávkou záření stoupá závažnost poškození organismu. Jejich účinek vzniká krátce po ozáření či v průběhu několika dnů až týdnů. Poškození se může vyhojit během krátké doby, pokud je dávka záření vysoká, může být poškození velmi progresivní. Pokud tento práh není překročen, nevznikají deterministické účinky.

Mezi deterministické účinky patří akutní nemoc z ozáření, která vzniká po jednorázovém ozáření celého těla velkou dávkou ionizujícího záření. Podle dávky ozáření rozlišujeme hematologickou dřeňovou formu, střevní, kardiovaskulární a neurologickou formu. Dalším projevem deterministických účinků může být radiační dermatitis, zákal oční čočky, genetická predispozice a může dojít k poškození embrya či plodu.

Stochastické (pravděpodobnostní) účinky záření nemají dávkový práh. Vznikají již při jediné ionizaci a mohou poškodit DNA. Jejich frekvence se zvyšuje s dávkou, ale

jejich závažnost nikoli, to znamená, že stupeň malignity nádoru vyvolaný ionizujícím zářením nezávisí na dávce. Stochastické účinky způsobují zhoubné nádory a genetické (dědičné) účinky.

U stochastických účinků se definují pojmy ekvivalentní a efektivní dávka. Ekvivalentní dávka H_T je součin střední absorbované dávky v orgánu nebo tkáni D_{TR} a radiačního váhového faktoru w_R . Jednotkou je 1 Sievert – Sv ($J.kg^{-1}$). Pro beta a gama záření je číselně roven údaji v Gy. Efektivní dávka E zohledňuje skutečnost, že člověk je při styku se zdroji ionizujícího záření ozařován nerovnoměrně. Je vypočítána jako součet součinů ekvivalentních dávek H_T a tkáňových váhových faktorů w_T , které vyjadřují rozdílnou radiosenzitivitu orgánů a tkání z hlediska vzniku stochastických účinků. Jednotkou dávky je Sievert – Sv ($J.kg^{-1}$). [4]

8.2. Principy zdůvodnění, optimalizace a limity

Princip zdůvodnění. Základní požadavek radiační ochrany pacientů vychází ze základního etického požadavku, aby riziko radiačního poškození při diagnostických nebo terapeutických výkonech bylo vyváжено očekávaným zdravotním přínosem pro pacienta.

Princip optimalizace. Cílem optimalizace je zajistit, aby velikost individuálních dávek, počet ozářených osob a pravděpodobnost ozáření byly tak nízké, jak lze rozumně dosáhnout při respektování hospodářských a sociálních podmínek.

Radiační limity. Limitem pro omezování ozáření se v radiační ochraně rozumí kvantitativní ukazatel, jehož překročení není ve stanovených případech přípustné. Limity se dělí do čtyř skupin: na limity obecné, limity pro radiační pracovníky, limity pro učně a studenty a limity pro omezování ozáření ve zvláštních případech. Limity se vztahují na dávky způsobené jak zevním ozářením ze zdrojů mimo tělo, tak i vnitřním ozářením z radionuklidů vniklých do těla při vnitřní kontaminaci. [4]

Obecné limity jsou platné pro obyvatele, efektivní dávka je 1 mSv za rok, ekvivalentní dávka v oční čočce 15 mSv za rok a průměrná ekvivalentní dávka v 1 cm^2 kůže 50 mSv za rok.

Limity pro radiační pracovníky – efektivní dávka nesmí překročit 20 mSv za rok, ekvivalentní dávka v oční čočce 150 mSv za rok a průměrná ekvivalentní dávka na končetiny a kůži 500 mSv za rok.

Limity pro studenty – efektivní dávka nesmí překročit 6 mSv za rok, ekvivalentní dávka v oční čočce 50 mSv za rok, průměrná ekvivalentní dávka na končetiny a kůži 150 mSv za rok. [12]

Limity pro ozáření ve zvláštních případech jsou platné pro osoby, které pečují o pacienty s aplikovanými radionuklidy doma (rodinné příslušníky) nebo ty, které s nimi přicházejí do styku – u dětí je to 1 mSv za rok, u dospělých 5 mSv za rok. [4]

8.3. Radiační ochrana pracovníků

Pracovníci na oddělení nukleární medicíny jsou v důsledku manipulace s otevřenými zářiči vystaveni jak externímu ozáření tak i ozáření z vnitřních zdrojů, jež pochází z vnitřní kontaminace, tj. přítomnosti radionuklidů v jejich těle. Externí záření je emitováno jak radionuklidovými zdroji (radiofarmaka), tak i pacienty, v jejichž těle jsou přítomna radiofarmaka aplikovaná pro diagnostiku a terapeutické účely. [13]

V radiační ochraně pracovníků se využívají tři fyzikální metody – ochrana časem, vzdáleností a stíněním.

Ochrana časem – dávka pracovníka je tím vyšší, čím déle pobývá v blízkosti zdroje záření nebo pacienta, v jehož těle se nachází radiofarmakum.

Ochrana vzdáleností – dávka resp. dávkový příkon záření gama klesá s druhou mocninou vzdálenosti od zdroje. Proto je nutné, aby se pracovníci snažili být co nejdále od zdroje. K tomu se také používají pomůcky (pinzety, peány, manipulátor na uchopení lahvičky s radiofarmakem).

Ochrana stíněním – mezi zdroj záření a pracovníka se vkládá stínící vrstva, vyrobená z vhodného materiálu o vysoké hustotě. Pro odstínění záření gama se používá olovo (wolfram), pro odstínění beta záření lehké materiály (plexisklo, hliník).

Nad pracovníky s ionizujícím zářením v kategorii A se vykonává lékařský dohled, který zahrnuje lékařské prohlídky. Ty se rozdělují na vstupní, periodické, mimořádné a

výstupní. Sleduje se zdravotní způsobilost a vývoj zdravotního stavu z hlediska možných vlivů ionizujícího záření.

8.4. Radiační ochrana pacientů

V běžné klinické praxi se radiační zátěž pro každého vyšetřovaného pacienta jmenovitě nestanovuje vzhledem ke značné variabilitě anatomických poměrů a kinetiky radiofarmak. Používají se tabelované hodnoty dávek v orgánech a efektivních dávek z radiofarmak vztažené na jednotkovou aplikovanou aktivitu zpravidla vyjadřované v mGy.MBq^{-1} . Radiační zátěž pacienta se stanovuje tak, že se uvedené tabelované hodnoty násobí aktivitou radiofarmaka aplikovanou pacientovi. [4]

Možnosti usměrňování radiační zátěže pacientů v nukleární medicíně:

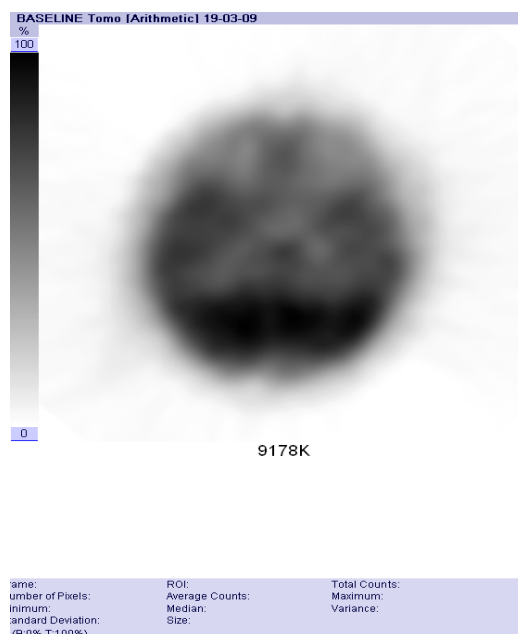
- volba alternativních vyšetřovacích metod bez ionizujícího záření (sonografie, magnetická resonance)
- kontrola aktivity a kvality radiofarmaka před aplikací
- respektování diagnostických referenčních úrovní a volba optimalizované aktivity radiofarmak
- ovlivňování kinetiky radiofarmak
- kontrola kvality vyšetřovacích přístrojů [4]

9. Vlastní práce

Možnost úpravy doby akvizice perfuzního SPECTu mozku na základě count rate při nastavení pacienta v bočné projekci s cílem získání optimálních diagnostických informací.

Pacienta uložíme a nastavíme potřebné parametry. Detektory jsou od hlavy pacienta vzdáleny 13,7 cm. Údaj o četnosti impulzů (kcts/s) je zjištěn na perzistentním monitoru v bočné projekci před zahájením akvizice. Počet impulzů v přední projekci získáme z gama kamery pomocí hrubých dat (raw data) po skončení akvizice, kdy počet impulzů odčteme z prvního tomografického řezu. Nasnímání jednoho snímku trvá 40 s. Celkový počet impulzů je získán z obrazu zrekonstruovaného pomocí filtrované zpětné projekce (FBP) za použití filtru PARZEN 0,70.

Postup při získání celkového počtu impulzů: V nabídce vybereme jméno pacienta, klikneme na ikonu „Ictal baseline inesub“. Otevře se nové okno a v nabídce vybereme „Data selector“, poté provedeme spojení nasnímaných zrekonstruovaných obrázků – „Baseline Tomo“ a FBP (filtrovaná zpětná projekce). Potom vybereme ikonu „Flexible data“ a odečteme celkový počet impulzů získaných při scintigrafii mozku. (obr. 5)



Obr. 5. Celkový počet impulzů získaných z obrazu zrekonstruovaného pomocí FBP.

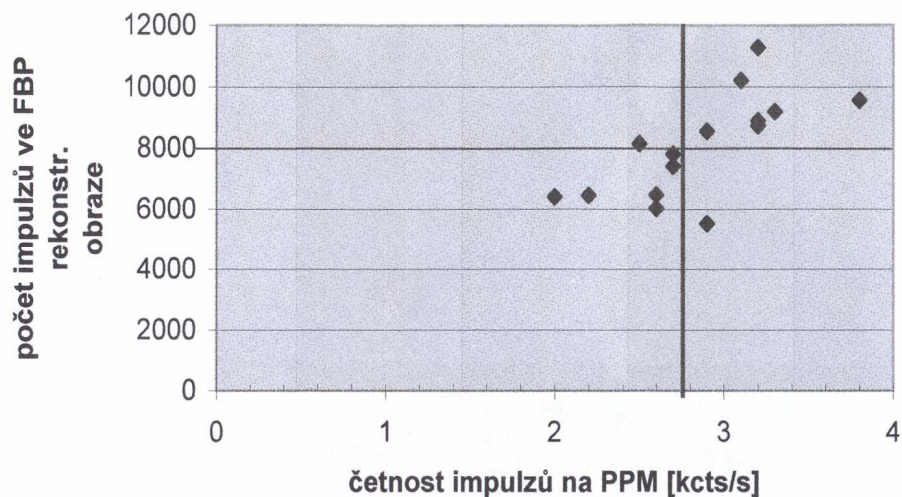
Počet impulzů v bočné projekci závisí na aktivitě radiofarmaka a na vzdálenosti pacienta od detektorů. Celkový počet impulzů závisí na aktivitě radiofarmaka, na čase, který uplyne od aplikace a také na schopnosti těla pacienta akumulovat radiofarmakum.

V tabulce jsou zpracovány údaje získané od 15 pacientů (tab.č.1). Je uvedena aplikovaná aktivita radiofarmaka v MBq. Počet impulzů v bočné a přední projekci a celkový počet impulzů získaných rekonstrukcí pomocí filtrované zpětné projekce.

Tabulka č.1

	Aplikovaná aktivita (MBq)	Bočná projekce (kct/s)	Přední projekce (kct)	Celkový počet impulzů získaných rekonstrukcí FBP (kct)
1	679	3,2	73	8883
2	650	3,3	74	9178
3	800	2,6	46	6028
4	800	2,0	53	6397
5	800	3,8	78	9560
6	679	2,5	65	8144
7	700	3,2	65	8722
8	500	2,9	67	8542
9	650	3,2	86	11282
10	700	2,9	60	5527
11	800	2,7	66	7806
12	810	2,2	52	6441
13	800	2,6	53	6467
14	800	3,1	83	10202
15	650	2,7	58	7407

Graf závislosti četnosti impulzů [kcts/s] na počtu impulzů ve FBP (filtrované zpětné projekci) rekonstruovaném obrazu.



kcts/s	total cts FBP
3,8	9560
3,3	9178
3,2	8883
3,2	8722
3,2	11282
3,1	10202
2,9	8542
2,9	5527
<hr/>	
2,7	7806
2,7	7407
2,6	6028
2,6	6467
2,5	8144
2,2	6441
2,0	6397

Z grafu vyplývá, že stanovenou hranici celkového počtu impulzů 8000Kcount lze dosáhnout při četnosti impulzů (v bočné projekci) nad 2,9 kcts/s.

Ve vybraných případech, kdy pacient není schopen absolvovat standartní délku vyšetření – pacient je neklidný, má bolesti, je možné na základě četnosti impulzů nad 2,9 kct/s upravit dobu akvizice.

Závěr

Radionuklidové metody jsou neinvazivní a velmi přínosné v diagnostice neurologických onemocnění. Jsou kompetitivní k ostatním zobrazovacím metodám. Velký význam mají v neurologii, v neurochirurgii a psychiatrii. Při vyšetření je třeba dbát na radiační ochranu jak pracovníků tak i pacientů. Přínos vyšetření musí být vždy větší než riziko.

Radiologický asistent se uplatňuje při SPECT vyšetření mozku v celém rozsahu od přípravy pacienta, účasti na zátěžovém testu, aplikaci radiofarmaka, nahrávání dat, kontroly kvality a zpracování studie.

Cílem praktické části práce bylo predikovat dobu akvizice k získání kvalitního zobrazení s dostatečným počtem nasnímaných impulzů stanovených z četnosti impulzů při nastavení pacienta před akvizicí.

Použitá literatura

- [1] ČIHÁK, Radomír. *ANATOMIE 3*. Ak.mal. Ivan Helekal. 1. Dotisk vyd. Praha : Grada Publishing, 2002. 672 s. ISBN 80-7169-140-2.
- [2] ELIŠKOVÁ, Miloslava, NAŇKA, Ondřej. *PŘEHLED ANATOMIE*. 1. vyd. Praha : Karolinum, 2006. 310 s. ISBN 80-246-1216-X.
- [3] TROJAN, Stanislav, LANGMEIER, Miloš. *LÉKAŘSKÁ FYZIOLOGIE*. 4. dopl. přeprac. vyd. Praha : Grada Publishing, 2003. 772 s. ISBN 80-247-0512-5.
- [4] KUPKA, Karel, et al. *Nukleární medicína*. 1. vyd. Příbram : P3K, 2007. 186 s. ISBN 978-80-903584-9-2.
- [5] KORANDA, Pavel, et al. *Atlas of Brain Scintigraphy : Atlas scintigrafie mozku*. 1. vyd. Praha : LACOMED, 2008. 82 s. ISBN 978-80-239-9778-1.
- [6] *Www.csnm.cz : Věstník MZ ČR* [online]. Návrh ke dni 15.12.2005 [cit. 2009-02-08].
Dostupný z WWW: <http://www.csnm.cz/24/Vestnik-Ministerstva-zdravotnictvi-CR_28.aspx>.
- [7] VÍTOVEC, Jiří, SOUČEK, Miroslav. Hypertenze a cévní mozkové příhody. *Neurologie pro praxi* [online]. 2003, č. 1 [cit. 2009-02-09].
- [8] JUNI, Jack E., et al. *Interactive.snm.org : Society of Nuclear Medicine Procedure Guideline for Brain Perfusion Single Photon Emission Computed Tomography (SPECT) Using Tc-99m Radiopharmaceuticals* [online]. version 2.0. February 7, 1999 [cit. 2009-02-08]. Dostupný z WWW: <http://interactive.snm.org/docs/pg_ch21_0403.pdf>.
- [9] METTLER, Fred A., MILTON, J. Guiberteau. *Essentials of Nuclear Medicine Imaging* : . 5th edition. Philadelphia : Elsevier, 2006. 350 s. ISBN 978-0-7216-0201-1.
- [10] BĚLOHLÁVEK, Otakar, et al. *Atlas of Positron Emission Tomography : Atlas pozitronové emisní tomografie*. 1. vyd. Praha : LACOMED, 2003. 72 s. ISBN 80-902873-8-7.

[11] DELBEKE , Dominique, et al. *Interactive.snm.org : Procedure Guideline for Tumor Imaging with 18F-FDG PET/CT* [online]. 1.0. Mar. 10, 2006 [cit. 2009-02-08].

Dostupný z WWW: <http://interactive.snm.org/docs/jnm30551_online.pdf>.

[12] *Www.sujb.cz* [online]. 1993 [cit. 2009-02-08].

Dostupný z WWW:<http://www.sujb.cz/?c_id=87>.

[13] *Www.upol.cz* [online]. [2006] [cit. 2009-02-09]. Dostupný z WWW:

<<http://www.upol.cz/index.php?id=4925>>.

[14] Archiv kliniky nukleární medicíny a endokrinologie, UK 2.lékařské fakulty a FN v Motole.

Seznam příloh

Příloha č. 1: Zobrazení distribuce dopaminových transportérů v bazálních gangliích

Příloha č. 2: Posouzení cerebrovaskulární rezervy, rozdíl mezi bazální studií a po zátěži

Příloha č. 3: Subtrakce nativní studie/zátěž Diamoxem

Příloha č. 4: Průkaz smrti mozku ^{99m}Tc -ECD scintigrafií mozku

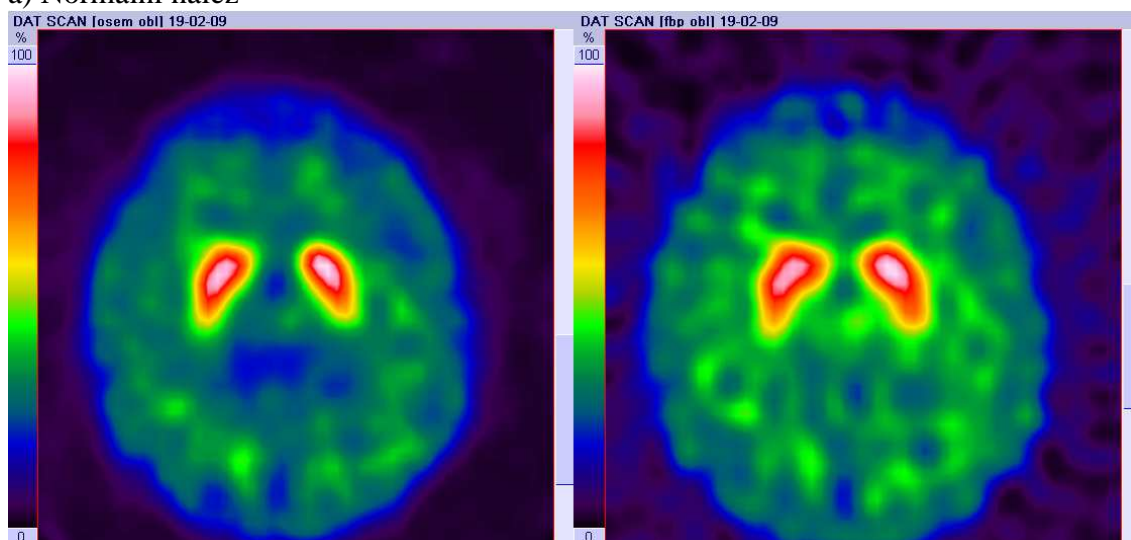
Příloha č. 5: ^{111}In -DTPA cisternografie

Příloha č. 6: Hybridní kamera SPECT/CT Symbia T

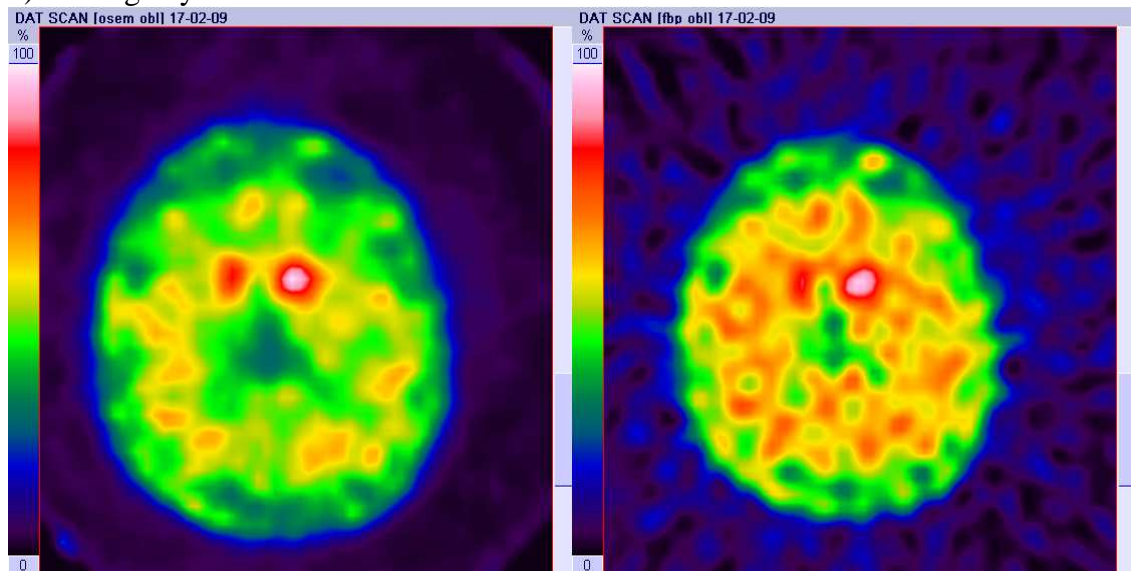
Přílohy

Příloha č. 1: Zobrazení distribuce dopaminových transportérů v bazálních Gangliích [14]

a) Normální nález

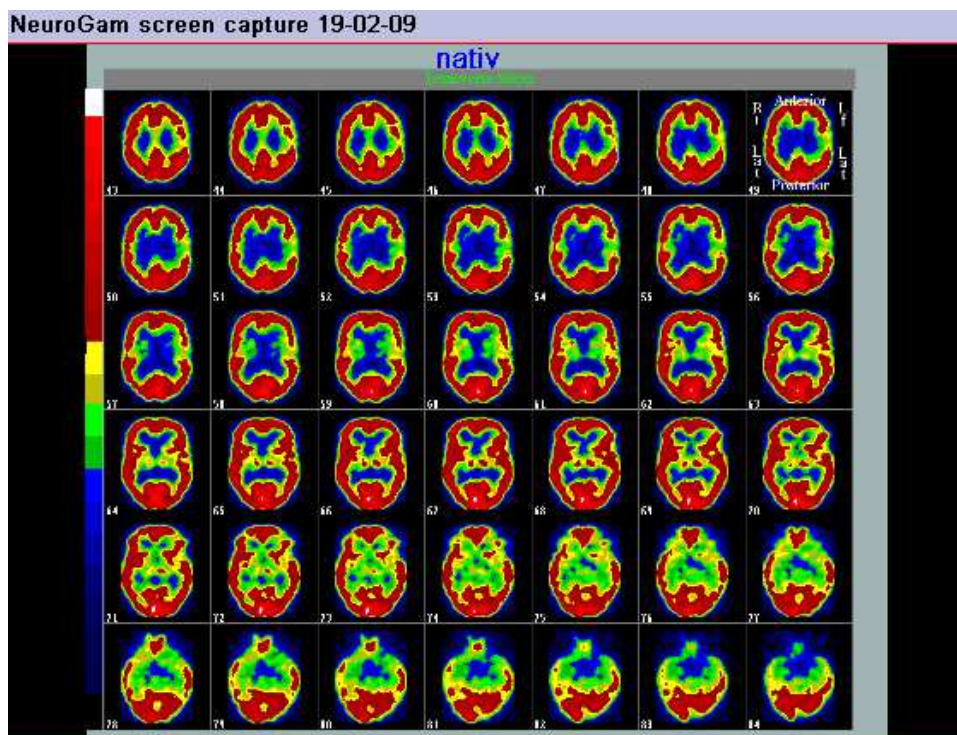
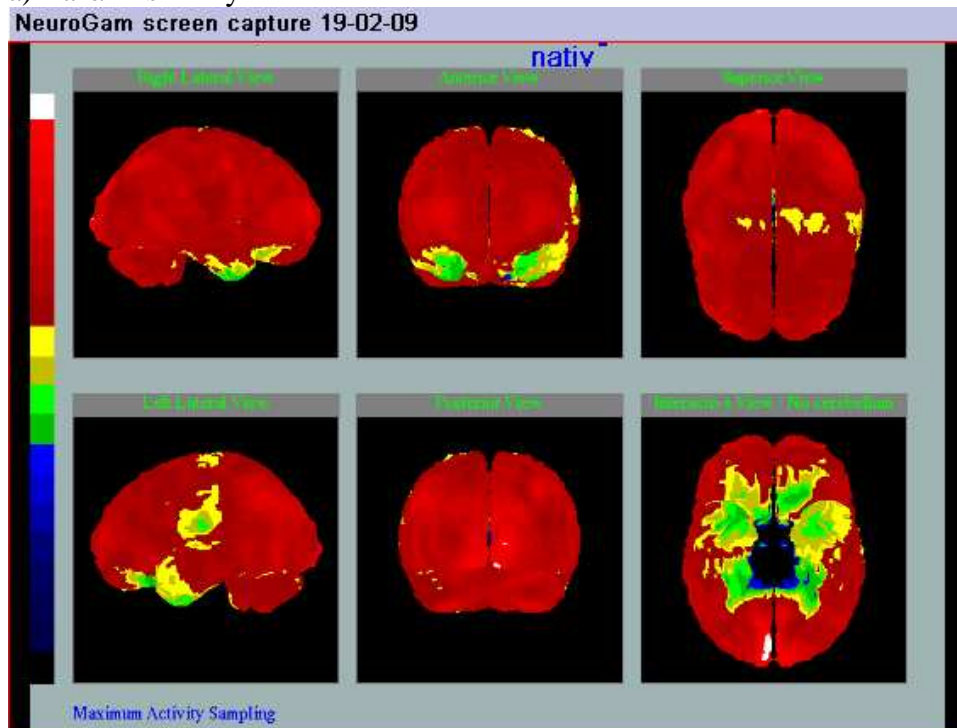


b) Patologický nález

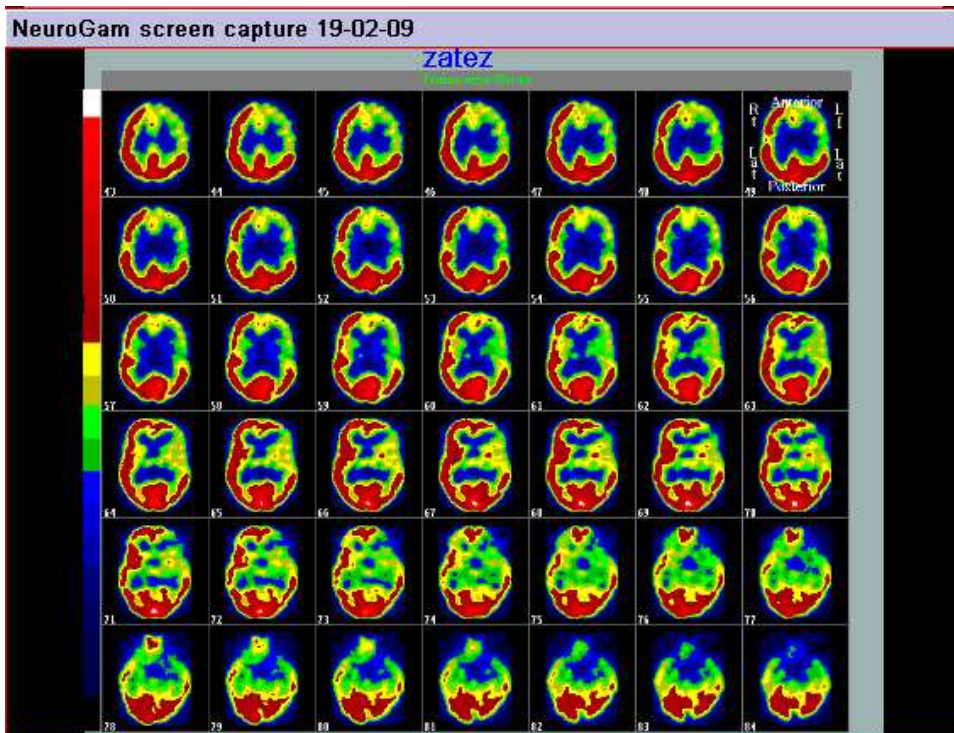
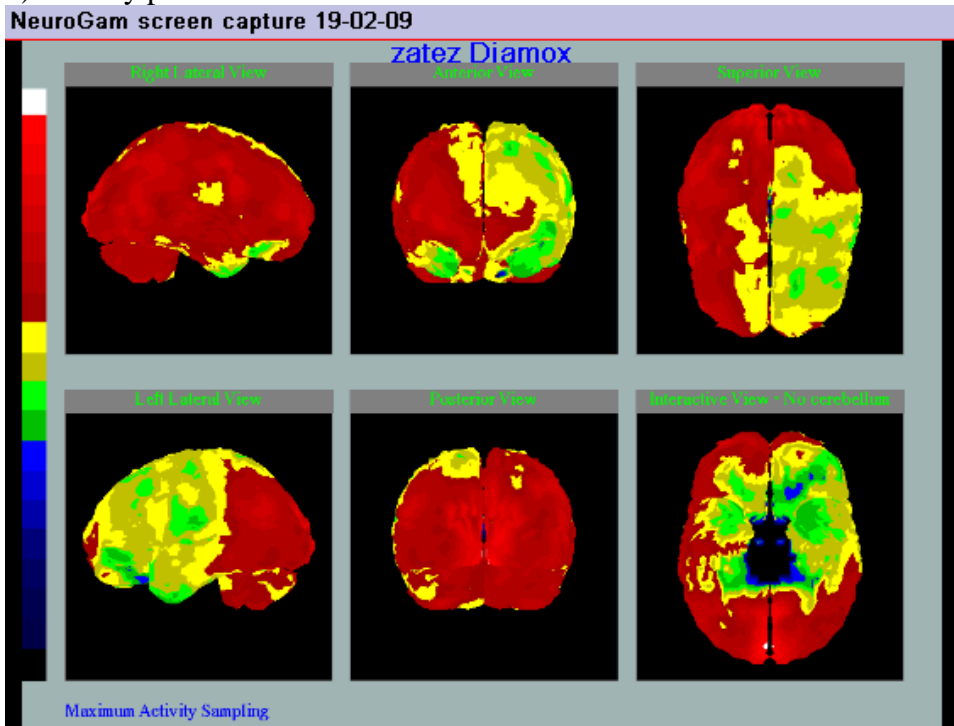


Příloha č. 2: Posouzení cerebrovaskulární rezervy [14]
Bazální snímky a snímky po zátěži

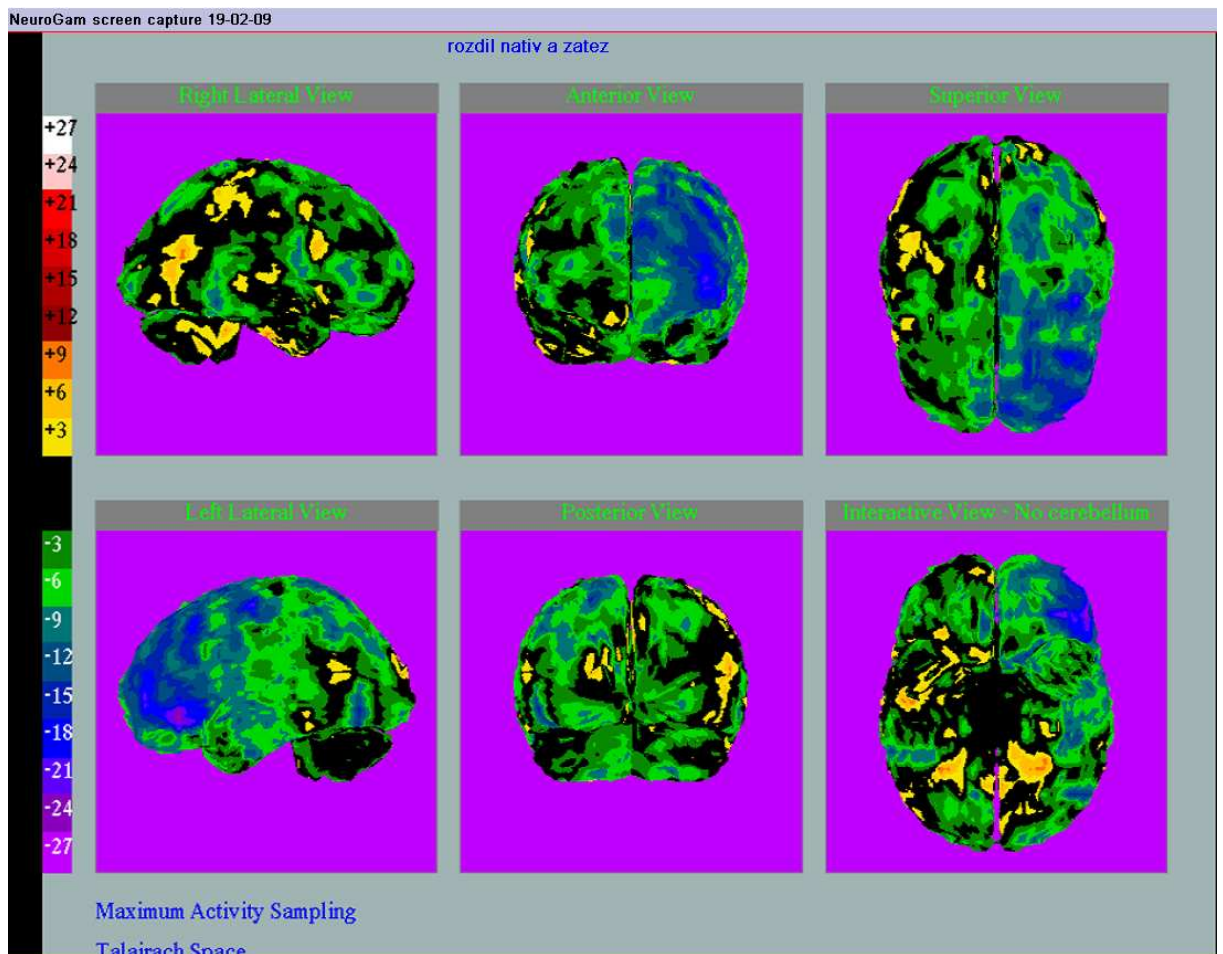
a) Bazální snímky



b) Snímky po zátěži

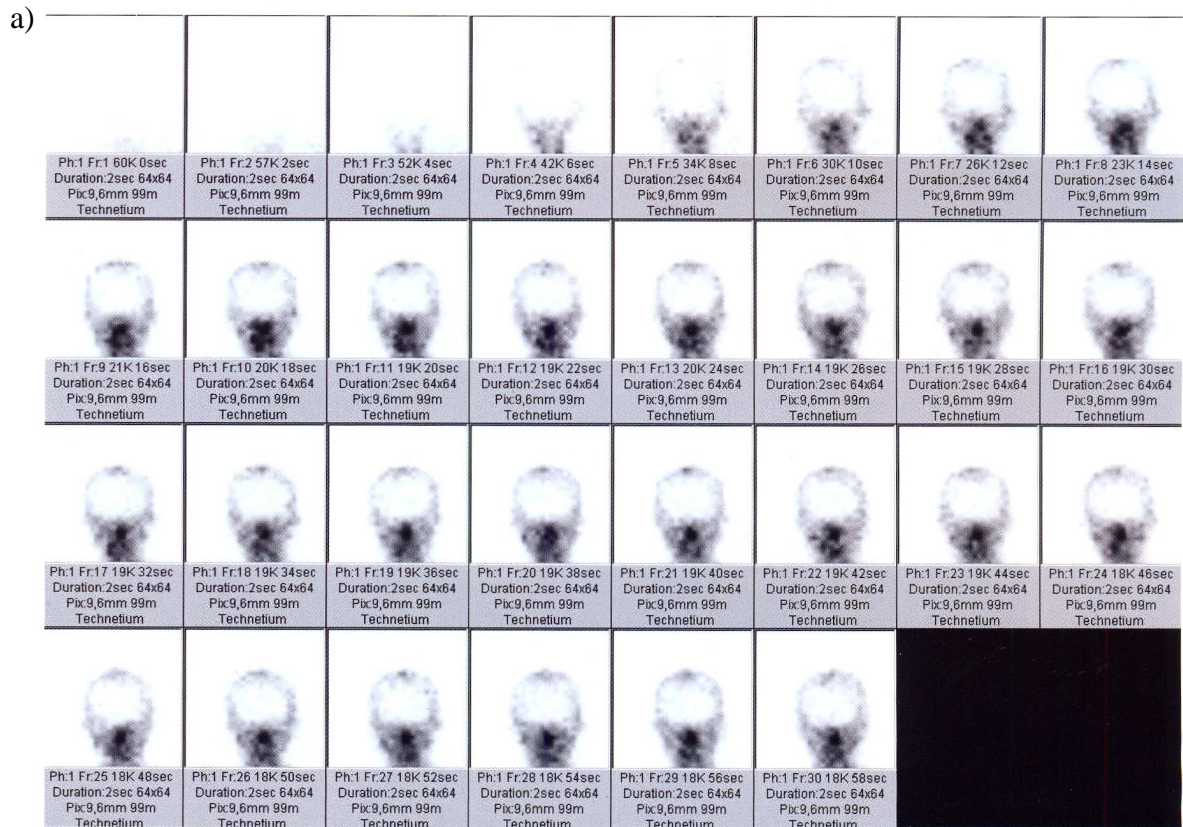


Příloha č. 3: Subtrakce nativní studie/zátěž Diamoxem [14]

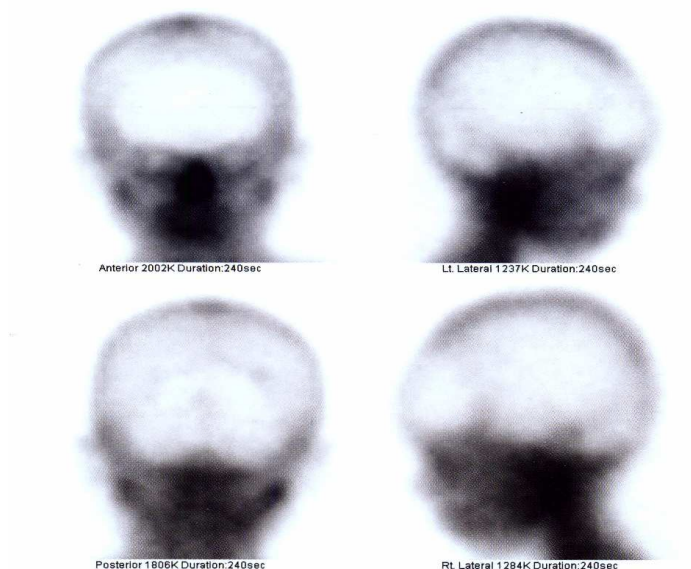


Příloha č. 4: Průkaz smrti mozku ^{99m}Tc-ECD scintigrafií mozku

Mozková smrt u 3-letého dítěte. V perfuzní fázi (a) bez známek průtoku krve intrakraniálním cévním řečištěm. Na statických scintigramech (b) bez akumulace radiofarmaka v mozkové fázi. [5]



b)

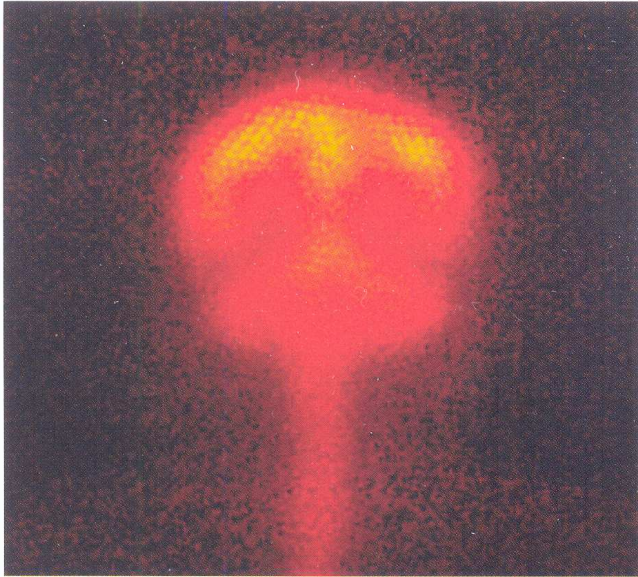


Příloha č. 5: ^{111}In -DTPA cisternografie [5]

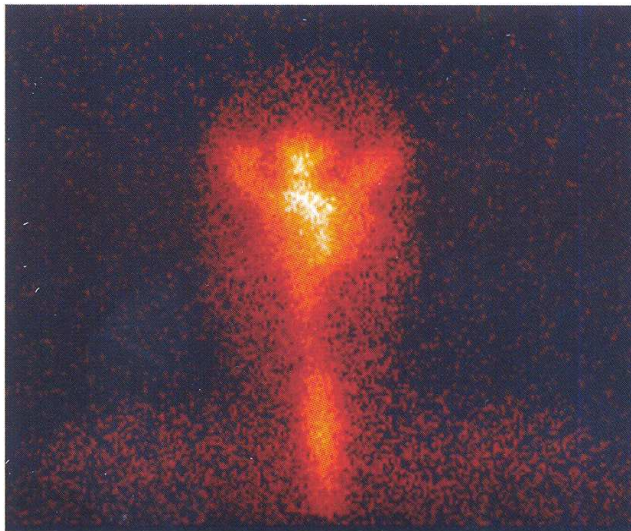
a) normální scintigram

b) komunikující normotenzní hydrocefalus – přední projekce

a)



b)



Příloha č. 6: Hybridní kamera SPECT/CT Symbia T

