

# RADIONUKLIDOVÉ VYŠETŘOVACÍ METODY

## V UROLOGII

MUDr. Otto Lang, Ph.D.

Klinika nukleární medicíny, 3. lékařská fakulta Univerzity Karlovy v Praze a  
Fakultní nemocnice Královské Vinohrady

### 1 Úvod

Scintigrafie je jedinečnou metodou pro neinvazivní hodnocení patofyziologie ledvin a vývodných cest močových, kvantitativně patří k nejvíce používaným diagnostickým metodám v nukleární medicíně. Principiálně se jedná o intravenózní podání radioaktivní látky (radiofarmaka) a následně sledování její kinetiky (distribuce a vylučování) pomocí zobrazování nebo měření.

### 2 Indikace

Mezi základní indikace renální scintigrafie patří **alergie na kontrastní látky, hodnocení průtoku krve ledvinami, hodnocení separované (relativní) funkce ledvin včetně transplantované ledviny, podezření na zánět ledvin při infekci močových cest a podezření na renovaskulární typ hypertenze**. Z onemocnění vývodných cest močových je to **obstrukční uropatie včetně vezikoureterálního refluxu**, z chorob pohlavních orgánů je to **podezření na zánět nebo torsí varlete**. S výhodou je při vyšetření možno použít farmakologickou intervenci.

### 3 Vyšetřovací metody

Dynamická scintigrafie ledvin včetně farmakologických intervencí

Statická scintigrafie ledvin

Radionuklidová mikční cystografie přímá a nepřímá

Scintigrafie skróta

## 4 Radiofarmaka

Podle rychlosti vylučování do moče dělíme používaná radiofarmaka na dvě skupiny – **radiofarmaka s rychlým a s pomalým vylučováním**. Radiofarmaka s rychlým vylučováním se používají pro dynamickou scintigrafii ledvin a metody na ní navazující (vyšetření vývodných cest močových), radiofarmaka s pomalým vylučováním do moče se používají pro statickou scintigrafii ledvin (zobrazení funkčního parenchymu ledvin). Nejčastěji používaným zástupcem v první skupině je  $^{99m}\text{Tc}$  **značený merkaptoacetyltriglycin (MAG3)**, z druhé skupiny je to  $^{99m}\text{Tc}$  **značená dimerkaptojantarová kyselina (DMSA)**.

$^{99m}\text{Tc}$  MAG3 je po intravenózním podání vázán na bílkoviny plazmy, vylučuje se převážně tubulární sekrecí (95%) a jen velmi málo glomerulární filtrací (5%). Za 3 hodiny po aplikaci je u zdravého člověka vyloučeno z těla více než 95% radiofarmaka. Jeho kinetiku může ovlivnit předchozí podání kontrastní látky (vliv na funkci tubulů).

$^{99m}\text{Tc}$  DMSA se akumuluje v buňkách proximálních tubulů (především z peritubulárních kapilár), zobrazuje tedy kůru ledviny. Vzhledem k minimální glomerulární filtraci nedochází při zobrazení k interferenci s pánvičkou při obstrukci. Normálně se v kůře akumuluje asi 40% podané radioaktivity, za 24 hodin se z těla vyloučí také asi 40% podané radioaktivity.

## 5 Dynamická scintigrafie ledvin (nefrografie)

**Příprava pacienta** spočívá především v dostatečné hydrataci. Před vyšetřením se doporučuje vypít alespoň půl litru tekutiny. Těsně před vyšetřením se pacient vymočí. Po vlastním vyšetření se dále doporučuje více pít a zejména často močit (redukce radiační zátěže močového měchýře). Pacient by neměl být vyšetřován zhruba 3 dny po kontrastním radiologickém vyšetření (vliv na funkci tubulů).

Pacient **se vyšetřuje** vleže na zádech, má pokrčená a podložená kolena. Detektor gamakamery je pod vyšetřovacím stolem tak, že 12. žebro je v jeho kраниokaudální polovině. Vyšetření trvá 20 – 30 minut.

**Aplikuje se**  $^{99m}\text{Tc}$  **MAG3** o radioaktivitě 1,5 MBq/kg váhy, u dětí je nutná redukce radioaktivity podle doporučení EANM, minimální aplikovaná radioaktivita je 15 MBq. Aplikuje se pomalu intravenózně a současně s aplikací se spouští záznam dat na gamakameře.

**Hodnocení** se provádí jednak kvalitativně vizuálně pozorováním obrazů distribuce radioaktivity v ledvinách a vývodných cestách močových, jednak kvantitativně pomocí příslušného softwaru. Pomocí kurzoru vymezíme oblast zájmu (ROI) ledvin a počítač

vygeneruje křivku časových změn množství radioaktivity pro každou ledvinu – nefrografická křivka, nefrogram. Normální nefrogram má **tři fáze** – první je prudce stoupající (přítok krve s radiofarmakem do ledviny), druhá je pomaleji stoupající (akumulace radiofarmaka z krve do ledviny) a třetí je klesající (odtok radiofarmaka s močí do močového měchýře) (Obr. 1). Kvantitativní hodnocení nefrogramu obvykle používá řadu parametrů, většinou se hodnotí alespoň čas dosažení vrcholu křivky (do 5 minut) a rychlost poklesu třetí fáze (poločas do 15 minut). Z měření aktivity v ledvinách mezi první a třetí minutou po aplikaci (Obr. 2) je také možno porovnat symetrii funkce ledvin (separovaná, relativní funkce).

## 5.1 Kaptoprilový test (kaptoprilová nefrografie)

Z **ACE inhibitorů** užívaných při dynamické scintigrafii ledvin je také nejvíce klinických zkušeností s captopilem, proto se dynamická scintigrafie ledvin s ACE inhibitory nazývá kaptoprilová nefrografie, bez ohledu na použitý ACE inhibitor. Captopril se používá nejčastěji v dávce 25 - 50 mg perorálně, jinou variantou je intravenózní podání enalaprilátu pomalou infuzí v dávce 0,04 mg/kg váhy.

Nutná je správná **příprava pacienta**. Pacienti musí být před kaptoprilovou nefrografií dobře hydratováni, vhodné je podat 0,5 – 1 hodinu před vyšetřením 5 – 10 ml tekutin na 1 kg váhy. Chronické užívání ACE inhibitorů a AT1 receptorů snižuje senzitivitu testu, proto je nezbytné přerušit jejich užívání na 3 – 7 dní podle poločasu jejich eliminace. Chronická léčba diuretiky v důsledku volumové deplece může zvyšovat podíl falešně pozitivních nálezů a tím snížit specifitu testu. Důležité je také vyprázdnění močového měchýře bezprostředně před vyšetřením.

Nejprve podáme 25 mg Captoprilu p.o. a měříme krevní tlak před a 1 hod. po podání, při klinických známkách hypotenze ihned. Radiofarmakum aplikujeme 1 hodinu po podání Captoprilu. Test je také možno provést po pomalém intravenózním podání Enalaprilu naředěném 10 ml fyziologického roztoku; v tomto případě aplikujeme radiofarmakum 15 minut po podání Enalaprilu a poté následuje dynamická scintigrafie ledvin popsaná výše.

**Diagnostická kritéria** kaptoprilové scintigrafie ledvin nejsou plně standardizovaná, test je třeba hodnotit komplexně. Informativní jsou jak scintigrafické obrazy (scintigramy), tak nefrografické křivky. Nefrogramy je možno hodnotit pomocí kvantitativních a kvalitativních (semikvantitativních) parametrů. Pro interpretaci nálezů kaptoprilové scintigrafie ledvin bylo doporučeno rozdělit závěry vyšetření do tří skupin podle výše pravděpodobnosti renovaskulární hypertenze na vysokou (>90%), střední (10-90%) a nízkou

(<10%). Nejvíce specifickým diagnostickým kriteriem pro renovaskulární hypertenzi je změna nefrogramu způsobená ACE inhibitorem ve srovnání s basální studií (Obr. 3). Efektivita kaptoprilové nefrografie závisí na prevalenci renovaskulární hypertenze ve vyšetřované populaci, celková senzitivita a specifická testu pro diagnostiku renovaskulární hypertenze se pohybuje kolem 90%.

## 5.2 Furosemidový test

Furosemidový test používáme u pacientů s **obstrukční uropatií** a pokud nedojde při dynamické scintigrafii ledvin k vyprázdnění pánviček do konce vyšetření. Furosemid se aplikuje v dávce 0,5 mg/kg i.v., maximálně 40 mg (u kojenců 1 mg/kg, maximálně 80 mg); je nezbytné upozornit pacienta na diuretický účinek.

Aplikace Furosemidu je možná trojím způsobem. Obvykle se aplikuje cca 20 minut po aplikaci radiofarmaka (**F+20**), pokud vidíme známky městnání radioaktivity v pánvičce ledvin na monitoru záznamového zařízení. U kojenců a batolat je možno podat Furosemid současně s aplikací radiofarmaka (**F 0**). U pacientů se známou obstrukční uropatií nebo u pacientů po operacích pro obstrukční uropatii se Furosemid podává 15 minut před aplikací radiofarmaka (**F-15**). U prvního a druhého způsobu se prodlužuje záznam dat na 30 minut (alespoň 10 minut po podání Furosemidu).

Pro správnou interpretaci furosemidového testu je třeba zvážit několik okolností. Především je nezbytná dostatečná **hydratace** pacienta, u malých dětí se doporučuje intravenózní cestou. Dále je nezbytné uvážit čas aplikace furosemidu. Nejběžněji se užívá varianta F+20, při které však dochází největšímu počtu hraničních nálezů. K jejich redukci je lépe použít variantu F-15, která redukuje hraniční nálezy z 15% na 3%. Většinou se však používá jen u vybraných pacientů. Nakonec je nezbytné zvážit roli naplně močového měchýře. Plný močový měchýř svým tlakem v pánvi může být příčinou falešně pozitivního nálezu, proto je vždy nezbytné pořídit kontrolní snímek po vymočení pacienta.

K posouzení obstrukce je nezbytné **hodnocení scintigramů i nefrogramů**. Pokud je na nefrogramu po podání furosemidu přítomna normální třetí fáze, můžeme obstrukci vyloučit. Pokud nedochází k poklesu křivky, jedná se o obstrukci (ale musíme vyloučit dehydrataci pacienta, příliš velkou pánvičku, vliv naplněného močového měchýře a špatnou funkci ledviny). Pokud dojde po podání furosemidu k rychlému poklesu nefrogramu, svědčí to o retenci při dilataci pánvičky a obstrukci můžeme vyloučit. Někteří lékaři používají k hodnocení rychlosti poklesu nefrogramu po podání furosemidu kvantitativní vyjádření

pomocí poločasu jeho poklesu (Obr. 4). Obvykle se hodnotí poločas do 10 minut jako nepřítomnost obstrukce, nad 20 minut jako přítomnost obstrukce a hodnoty mezi 10 a 20 minutami jako neurčitý nález.

## 6 Statická scintigrafie ledvin

Statická scintigrafie ledvin byla původně užívána k **hodnocení morfologie ledvin**. Se zavedením ultrazvuku a CT se však její role přesunula do hodnocení funkční renální masy (pyelonefritida, jizvy zejména u vezikoureterálního refluxu a relativní funkce ledvin).

Příprava pacienta na vyšetření není žádná, před snímkováním je vhodné se vymočit.

Pacient se **vyšetřuje buď vstoje nebo vleže**, při podezření na bludnou ledvinu je nutný záznam jak vstoje, tak vleže.

**Aplikuje se  $^{99m}\text{Tc}$  DMSA** o radioaktivitě 3 MBq/kg váhy, u dětí je třeba podanou radioaktivitu redukovat podle tabulek EANM, minimální aplikovaná radioaktivita je 15 MBq. Aplikuje se zásadně intravenózně, snímkuje se 2 hodiny po aplikaci.

Standardně se zaznamenají 4 planární obrazy (přední, zadní a oba zadní šikmé 45 stupňů) (Obr. 5), může se provést tomografický záznam SPECT a u malých dětí by se vždy mělo snímkovat pomocí kolimátoru pin-hole (Obr. 6).

**Hodnocení** se provádí jednak kvalitativně vizuálně pozorováním obrazů distribuce radioaktivity v ledvinách (homogenní vs. defekty), jednak kvantitativně pomocí příslušného softwaru. Pomocí kurzoru vymezíme oblast zájmu (ROI) ledvin a pozadí, počítač pak vypočte relativní funkci v procentech.

Hlavní indikací statické scintigrafie ledvin je **podezření na pyelonefritidu**, zejména u dětí, přičemž zásadní je, zda je obraz normální či nikoli.

Normální scintigram znamená zcela homogenní distribuci radioaktivity v oblasti kůry ledviny s mírnou redukcí centrálně v oblasti kalichů. Pro **akutní pyelonefritidu** jsou typické tři obrazy. Je to defekt akumulace bez ztráty kontury ledviny, vícečetné defekty v celé ledvině a snížená akumulace se zvětšením ledviny při otoku. Pro **chronickou pyelonefritidu** s jizvením je pak typický nález defektu se ztrátou kontury ledviny, atrofie jedné nebo obou ledvin se nachází jen asi u 10% - 20% pacientů.

V klinické praxi by se měla statická scintigrafie ledvin provést vždy při podezření na infekci močových cest u dětí mladších 5 let bez ohledu na výsledek ultrazvuku. Pokud je přítomen kortikální defekt, vyšetření by se mělo zopakovat za půl roku, abychom mohli posoudit další vývoj (v akutním stadiu může být defekt způsoben otokem, nemusí se nutně

jednat o jizvu). Pokud je defekt přítomen ještě za 2 roky, jedná se již o jizvu parenchymu. Samozřejmě by zde mělo být vyšetření na přítomnost **vezikoureterálního refluxu**.

## 7 Radionuklidová mikční cystografie

Radionuklidová cystografie je indikovaná především při **sledování dětí s vezikoureterálním refluxem**.

**Přímá cystografie** je metoda s nejnižší radiační zátěží. Radiofarmakum o aktivitě 37 MBq podáváme do močového měchýře cévkou a dále měchýř pomalu plníme fyziologickým roztokem až do pocitu nucení na močení. Přibližný instilovaný objem můžeme vypočítat podle vzorce  $(\text{věk v letech} + 2) \times 30 \text{ ml}$ . V průběhu plnění a vyprazdňování močového měchýře zaznamenáváme dynamickou studii oblasti močového měchýře a ledvin pro detekci a kvantifikaci případného refluxu (Obr. 7).

Dítě leží na zádech, za sterilních podmínek zavedeme katétr do močového měchýře, vypustíme všechnu moč a katétr napojíme na infúzní set s fyziologickým roztokem. Láhev umístíme do výše 0,5 – 1 metru nad pacienta. Detektor gamakamery je pod pacientem. Současně s aplikací radiofarmaka spustíme záznam dynamické studie. Po naplnění zaznamenáme statický obraz měchýře a zapíšeme instilovaný objem. Pak vyjmeme katétr, dítě posadíme a vyzveme k močení – současně spustíme dynamickou studii se stejnými parametry jako při plnění. Po vymočení zaznamenáme statický obraz močového měchýře a ledvin a zapíšeme objem vymočené tekutiny.

**Studii hodnotíme** jednak kvalitativně vizuálně na přítomnost refluxu, jednak kvantitativně pomocí softwaru. Vymezíme ROI močového měchýře a počítač vygeneruje křivku mikce. Z této křivky pak počítá různé kvantitativní parametry (rychlost mikce průměrnou a maximální, objem močového rezidua).

**Nepřímá cystografie** navazuje na dynamickou scintigrafii ledvin. U nepřímé cystografie odpadá cévkování, měchýř se plní přirozenou cestou. Zbytková radioaktivita v ledvinách však zhoršuje interpretaci přítomného refluxu.

## 8 Scintigrafie skróta

Hlavní indikací je **otok a/nebo bolest v oblasti varlat, které pomohou odlišit akutní torsí varlete od akutního zánětu (epididymoorchitida)**. Principem vyšetření je zobrazení krevního průtoku a následné tkáňové perfuze skróta.

Jako radiofarmakum používáme  $^{99m}\text{Tc}$  **technecistan sodný** o radioaktivitě 500 MBq aplikovaný intravenózně bolusovou technikou. U dětí aplikujeme 11 MBq/kg váhy, minimální aplikovaná radioaktivita je 100 MBq.

**Pacient leží na zádech**, skrótum má podložené buničinou, penis přilepený na stěnu břišní. Detektor gamakamery je nad pánví, záznam dat se spouští současně s aplikací radiofarmaka formou dynamické studie. Za 5 minut po aplikaci zaznamenáme statický obraz (skrótum podložíme olověnou destičkou).

**Hodnocení** provádíme jednak vizuálně kvalitativně, jednak kvantitativně pomocí softwaru (porovnání symetrie průtoku a vaskularizace).

Typickým nálezem u akutní **torse** je defekt perfuze na postižené straně, v pozdní fázi nacházíme i zvýšenou akumulaci kolem centrálního defektu. Typickým nálezem u **epididymitidy** je zvýšená akumulace radiofarmaka na postižené straně. Je však třeba mít na paměti, že s časem se mohou nálezy měnit a interpretace může být obtížná.