

Fakulta zdravotníctva, PU Prešov

RÁDIOLÓGIA

RNDr. Andrej Sýkora

OBSAH

1. Röntgenologické diagnostické metódy.....	3
2. Počítačová tomografia	17
3. Iné zobrazovacie diagnostické metódy.....	22
4. Nukleárna medicína.....	35
5. Bezpečnosť a ochrana zdravia na röntgenologických pracoviskách	43
6. Literatúra.....	46

1. Röntgenologické diagnostické metódy

Röntgenové žiarenie

Nemecký fyzik **Wilhelm Conrad Röntgen** /1845 –1923 / opísal 8. novembra 1895 vo Wurzburgu neznáme lúče X, ktoré sú neviditeľné, šíria sa priamočiario, nevychýľujú sa v elektrickom ani magnetickom poli, vyvolávajú fluorescenciu a spôsobujú sčernanie fotografickej dosky. Tento objav otvoril nové možnosti vo vede, no predovšetkým v medicíne.

Dnes vieme, že **X- lúče** elektromagnetické žiarenie s vlnovou dĺžkou $10^{-9} - 10^{-12}\text{m}$, ktoré sa nazýva röntgenové žiarenie. V spektre röntgenového žiarenia sa nachádza spojité spektrum, tzv. brzdné žiarenie, a čiarové spektrum, tzv. charakteristické žiarenie. Brzdné žiarenie vzniká pri zabrzdení rýchlo letiaceho elektrónu v silovom poli atómového jadra. Charakteristické žiarenie je výsledkom prechodu elektrónu z vyššej energetickej hladiny na nižšiu.

Zdrojom röntgenového žiarenia je **röntgenová lampa**. V podstate ide o vysokoevakuovanú elektrónku s dvoma elektródami, anódou a katódou. Katóda je pripojená na zdroj žhaviaceho napätia, ktorým možno regulovať intenzitu röntgenového žiarenia. Výsledkom rozžhavenia katódy je emisia elektrónov z nej. Anóda je nepojená na zdroj vysokého napätia, ktorý sa dá vhodne nastaviť a urýchľuje elektróny emitované z katódy.

Elektróny dopadajúce na časť anódy, ktorá sa nazýva ohnisko, sa zabrzdia v silovom poli atómového jadra a ich kinetická energia sa premení na vyžiarenú energiu röntgenového žiarenia. Ohnisko je najčastejšie z volfrámu, molybdénu alebo iného kovu s vysokým bodom topenia. Viac ako **99 %** kinetickej energie urýchlených elektrónov dopadajúcich na anódu sa premení na teplo a len necelé **1 %** na užitočné röntgenové žiarenie. Vzniknuté žiarenie predstavuje zmes rôznych vlnových dĺžok od najkratšej až po ultrafialovú oblasť. Najkratšia vlnová dĺžka závisí od najväčšej kinetickej energie elektrónov, teda anódového napätia.

Urýchlený elektrón získa kinetickú energiu podľa vzťahu:

$$E_k = e \cdot V_a = \frac{1}{2} \cdot m \cdot v^2$$

Ktorá sa premení na röntgenové žiarenie s vlnovou dĺžkou podľa vzťahu:

$$e \cdot V_a = h \cdot f$$

$$e \cdot V_a = h \cdot c / \lambda$$

$$\lambda = h \cdot c / e \cdot V_a$$

pričom e je náboj elektrónu, h je Planckova konštanta, c je rýchlosť svetla vo vákuu, V_a je anódové napätie.

Dosadením príslušných hodnôt získame vzťah pre najkratšiu vlnovú dĺžku spojitého spektra röntgenového žiarenia:

$$\lambda_{\min} = 1,234 / V_a$$

V (kV)

λ (nm)

Nastavením anódového napätia možno voliť žiarenie potrebnej vlnovej dĺžky. Čím je vlnová dĺžka žiarenia kratšia, tým je röntgenové žiarenie prenikavejšie, teda tvrdšie.

Charakteristické žiarenie je monochromatické žiarenie. Toto žiarenie sa tvorí tak, že elektrón letiaci z katódy vyrazí na anóde sféry elektrón. Na uvoľnené miesto preskočí elektrón y vyššej energetickej hladiny, čím sa vyžiarí prebytok energie vo forme fotónového kvanta podľa Bohrovho postulátu:

$$h \cdot f = E_1 - E_2$$

Pretože má energia jednotlivých sfér určitú konštantnú hodnotu, je aj rozdiel energií medzi jednotlivými sférami kvantovaný. Žiarenie, ktoré vzniká pri prechode elektrónov na nižšiu energetickú hladinu, má teda len určitú vlnovú dĺžku. Charakteristickým sa žiarenie nazýva preto, lebo závisí od materiálu, z ktorého je ohnisko anódy röntgenky. Vzniknuté spektrálne čiary sa nazývajú podľa sféry, z ktorej bol elektrón vyrazený / spektrálna čiara K, L, M, atď. /, a index spektrálnej čiary α označuje prechod o jednu hladinu, β o dve hladiny, γ o tri hladiny. Anódové napätie, pri ktorom sa v spojitom spektre zjaví čiara patriaca charakteristickému žiareniu série O, sa nazýva kritický potenciál. Uvedené čiarové

spektra sa využívajú v röntgenovej štruktúrnej analýze pri kvalitatívnej aj kvantitatívnej analýze vzoriek..

Žiarenie, ktoré vzniká v ohnisku na anóde röntgenky, sa nazýva primárne žiarenie. Žiarenie vytvorené mimo ohniska je zasa mimoohniskové /extrafokálne/. Malá časť primárneho žiarenia sa môže pohybovať nevhodným smerom a spolu s extrafokálnym žiarením sa môže pohybovať nevhodným smerom a spolu s extrafokálnym žiarením vytvára rušivé neužitočné žiarenie. Užitočný zväzok je časť primárneho žiarenia, ktorá vystupuje z ohniská, má tvar kužeľa, vychádza výstupným okienkom, prípadne je obmedzená clonou alebo tubusom.

V tele pacienta ožiareného primárnym žiarením vzniká následkom Comptonovho rozptylu sekundárne žiarenie, ktoré je rozptýlené, ohrozuje osoby v bezprostrednom okolí vyšetrovaného a zhoršuje ostrosť a kontrast obrazu. Množstvo vzniknutého sekundárneho žiarenia je väčšie pri vyššom anódovom napätí a pri objemnejšom snímkanom objekte. Na zachytenie tohto neužitočného žiarenia sa používajú sekundárne filtre /napr. Potterova – Buckyho clona, Siemensova clona, Lysholmova clona a iné /.

Röntgenové žiarenie sa v medicíne využíva jednak na diagnostiku, jednak na liečbu. V diagnostike patria medzi najrozšírenejšie metódy skiaskopia, skiagrafia, počítačová tomografia a pod. Fyzikálnym princípom diagnostických metód je absorpcia röntgenového žiarenia jednotlivými tkanivami, rozptyl, fluorescencia a fotochemický účinok. Terapia röntgenovým žiarením je založená na absorpcii žiarenia tkanivom a na jeho fyzikálnych a biologických účinkoch na tkanivo.

Skiagrafia a skiaskopia

Skiagrafia znamená snímkovanie určitej anatomickej časti organizmu na röntgenový film pomocou röntgenových lúčov. Filmy majú štandardné rozmery udávané v cm (napr. 30 x 40, 35 x 45, 24 x 30, 18 x 24 atď.), sú uložené v špeciálnych kazetách obsahujúcich zosilňovacie fólie, ktoré pri dopade lúčov X fluoreskujú, čím zosilňujú účinok žiarenia na fotografický materiál. Exponovaný film sa z kazety vyberie v tmavej komore, kde sa klasicky vyvolá, najčastejšie pri vyvolávacom automate. Moderné vyvolávacie automaty už môžu pracovať pri dennom svetle (**day light system**).

Výhodou skiografie je pre pacienta relatívne nízka radiačná záťaž a existencia snímok ako trvalého dokladu o chorobnom procese. Röntgenové snímky treba podľa zákona archivovať minimálne 5 rokov, na klinických pracoviskách sa archivujú až 10 rokov.

Medzi nevýhody skiografie patrí skutočnosť, že zachytáva len určitú časť patologického procesu, a tak ju nemožno použiť na presné posúdenie narušenej funkcie.

Skiaskopia je presvecovanie organizmu pomocou röntgenových lúčov, ktoré vytvárajú obraz na štíte alebo televíznej obrazovke (zosilňovač obrazu), takže ho možno sledovať v reálnom čase. Indikácie na vyšetrenie sa v poslednom čase zredukovali, pretože vyšetrenie sprevádza relatívne vysoká radiačná záťaž. Využíva sa v pneumologickej, gastroenterologickej, traumatologickej diagnostike, pri intervenčnej rádiológii a rekonštrukčných traumatologických a ortopedických operáciách.

Vyšetrujúci aj pacient musia byť chránení pred škodlivými účinkami ionizujúceho žiarenia olovenými zásterami a inými ochrannými pomôckami, predovšetkým v oblasti genitálií. Lekár, rádiodiagnostik a rádiologický asistent sú povinní nosiť osobné dozimetre, ktoré monitorujú expozíciu žiareniu.

Príprava pacienta na rádiodiagnostické vyšetrenie

Rádiodiagnostické vyšetrenia sa delia na akútne a plánované. Medzi akútne patria všetky indikácie z úrazovej diagnostiky, akútne stavy z internej, chirurgickej a neurologickej providencie. Indikujúci lekár musí vyplniť sprievodný list, v ktorom presne vymedzí oblasť vyšetrenia. Pri komplikovaných stavoch sa vždy poradí s rádiodiagnostikom a spolu určia čo najoptimálnejší algoritmus vyšetrenia na dosiahnutie najpresnejšej diagnózy.

Pri traumách skeletu sa robí skiagrafické vyšetrenie minimálne v dvoch na seba kolmých projekciách, respektíve sa používajú aj špeciálne projekcie. Pacient sa pri snímkaní nesmie hýbať. Problémy vznikajú u psychicky labilných chorých, v stave bezvedomia, alkoholickéj ebriety alebo u malých detí. V takýchto prípadoch sa používajú fixačné zariadenia alebo vo vyšetrovni zostáva aj zdravotnícky pracovník adekvátne chránený pred ionizujúcim žiarením. U malých detí pri vyšetrení asistuje blízky rodinný príslušník.

Príprava pacienta na plánované rádiodiagnostické vyšetrenie závisí od vyšetrovaného orgánu. Vyšetrenie GIT sa robí nalačno. Pri vyšetrení hrubého čreva (irigografii) je základom úspešnej realizácie kompletne vyprázdnený kolón, čo sa dosahuje bezzvyškovou stravou počas troch dní pred vyšetrením a deň pred vyšetrením osobitnou prípravou, a to podaním laxatívnych roztokov alebo vysokou klyzmou s dôkladným polohovaním pacienta.

Pri ultrasonografickom (USG) vyšetrení pankreasu a žlčníka je nevyhnutné, aby pacient 12 hodín pred vyšetrením neprijímal potravu a deň pred vyšetrením nejedol masné ani nadúvajúce jedlá. Diabetických pacientov treba objednať na skoré dopoludňajšie hodiny, aby sa zabránilo rozkolísanie ich metabolického stavu. Pred vyšetrením sa odporúča pohyb, najmä chôdza, pretože dlhotrvajúce ležanie zvyšuje črevný meteorizmus (plynatosť). Na vyšetrenie malej panvy prichádza pacient s plným močovým mechúrom (1 – 2 hodiny pred vyšetrením môže vypiť približne pol litra tekutiny).

CT – vyšetrenie sa robí vždy nalačno, pretože sa podáva kontrastná látka, ktorá vo forme bolusov často vyvoláva vracanie. Osobitná príprava je potrebná aj pri vyšetrení malej panvy, odporúča sa podať jódomú látku približne 12 hodín pred vyšetrením, aby sa črevné štruktúry stali opacitnými. Zvláštnu pozornosť treba venovať pacientom s alergiou v anamnéze, ak sa u nich uvažuje o podaní jódovej kontrastnej látky, musia byť na vyšetrenie adekvátne pripravení, a to aplikáciou antihistaminík a kortikoidov minimálne tri dni pred plánovaným vyšetrením.

Röntgenové vyšetrenie hrudníka

Dnes ide už o suverénnu vyšetrovaciu metódu, ktorú však predchádza anamnéza a fyzikálne vyšetrenie. Týmto spôsobom sa vyšetruje každý pacient s podozrením na pľúcne ochorenie, ochorenie srdca a veľkých ciev. V minulosti sa hromadné snímkovanie celej populácie využívalo na aktívne vyhľadávanie tuberkulózy pľúc, v súčasnosti sa v rámci obmedzovania radiačnej záťaže vyšetrujú len rizikové osoby, ktoré prišli do kontaktu s týmto infekčným ochorením. Snímka hrudníka sa vyžaduje pri celkovom vyšetrení pri vstupe do zamestnania, u každého hospitalizovaného pacienta, pre interné vyšetrenie, pred operačným výkonom a pod.

Snímkovanie hrudníka (skiagrafia) sa vykonáva na rádiodiagnostickom oddelení. Pacient je vyzlečený do pása, prednou stranou hrudníka sa opiera o plochu z plastickej látky, tzv. vertigraf, v ktorom je zasunutá neexponovaná kazeta. Ruky si uloží v bok a ramená tlačí dopredu, aby lopatky neprekrývali pľúcne polia. Potom sa maximálne nadýchne a zadrží dych. V tejto apnoickej pauze sa röntgenový film exponuje. Röntgenová lampa je od vyšetrovaného vzdialená približne 150 cm. Opísaná zadopredná projekcia (posteroanteriórna – PA) sa robí u pacientov schopných stáť pri expozícii. Imobilná osoba sa snímkuje v ležiacej polohe (anteroposteriórna – AP). Jej nevýhodou je zväčšenie srdca následkom rozptylu projekcie.

Pacienti s pneumoftizeologickými a kardiologickými diagnózami sa vyšetrujú aj v iných projekciách, napr. v bočných alebo šikmých. Niekedy sa používa i pozitívna kontrastná látka, najčastejšie suspenzia síranu bária, a to na kontrastné zobrazenie pažeráka (ezofágu) či posúdenie mediastinálnych orgánov.

Dnes sa už prakticky nepoužíva bežné skiaskopické vyšetrenie hrudníkových orgánov pre vysoké radiačné zaťaženie pacienta, vykonáva sa len v osobitných indikáciách, napr. na sledovanie pohyblivosti bránice alebo pri intervenčných rádiologických výkonoch. Pohlavné orgány pacienta vo fertilnom veku sa musia adekvátne chrániť olovenými ochrannými pomôckami.

Vyhodnocovanie röntgenovej snímky hrudníka

Snímku hrudníka hodnotí lekár – rádiodiagnostik, pneumológ alebo kardiológ. Musí mať dostatočné skúsenosti z posudzovania normálnych anatomických variácií, ktoré často zapríčiňujú diagnostické omyly, ako aj dobré topograficko-anatomické vedomosti o vnútrohrudníkových orgánoch. Zisťuje sa ostrosť jednotlivých orgánov, či pacient zachoval prísnu apnoickú pauzu a či sa sternálne konce klavikul v horizontálnej rovine, pretože v opačnom prípade stál pacient šikmo, čo skresľuje veľkosť pľúcnych krídel. Najskôr sa opisujú mäkké časti, kostný skelet hrudníka, parenchým obidvoch pľúc, cievy a mediastinálne orgány, najmä srdce, bránica a bránicové uhly.

Medzi **mäkké tkanivá** sa radia svaly a prsníkové žľazy. Hodnotí sa kývač hlavy (musculus sternocleidomastoideus), ktorý sa upína na kľúčnu kosť a vytvára trojuholníkové zatienenie. Dobre vyvinutý veľký prsný sval (musculus pectoralis major) vytvára tieň v bočných (laterálnych) a horných oblastiach hrudníka. U žien si treba všímať tiene prsníkov (mammariae), ktoré pri svojom zväčšení prekrývajú dolné časti hrudníka. Niekedy spôsobuje diagnostické problémy prsníková bradavka (mamilla), a to aj u mužov, pretože vo forme okrúhleho tieňa sa môže ľahko pokladať za patologické ložisko (metastázu).

Kostný skelet hrudníka tvoria rebrá, krčné a hrudníkové stavce, kľúčne kosti, lopatky, pletenec hornej končatiny a mostík (sternum). Pri opisovaní sa počítajú zadné aj predné časti rebier, hodnotí sa ich obojstranná súmernosť, fyziologická hrúbka, kostná štruktúra a ich celkový počet. Treba si všímať chrupkové časti, ktoré nevidno, no vo vyššom veku sa po skalcifikovaní (t. j. ukladaní kalciových solí do chrupkového tkaniva) stávajú viditeľnými.

Na kostiach možno pozorovať traumatické patologické stavy (zastarané alebo čerstvé zlomeniny), metabolické zmeny (endokrinné choroby) a pri celkových ochoreniach napr. rednutie kostného tkaniva (osteoporóza) v staršom veku. Rozsiahlu problematiku tvoria nádorové ochorenia, ako sú primárne kostné nádory a najmä sekundárne nádory, t. j. metastázy (napr. pri karcinóme prostaty alebo prsníka).

Pľúcne tkanivo. Pľúcne alveoly sú vyplnené vzduchom, preto nimi ľahko prechádzajú röntgenové lúče, čo sa na rtg snímke prejaví ako prejasnenie. Pri patologických stavoch je vzduch v pľúcnych alveolách nahradený infiltrátom, tekutým zápalovým exsudátom alebo nádorovým tkanivom. Preto je dôležité poznať segmentálne a lalokovité rozdelenie obidvoch pľúc.

Pravé pľúca sa skladajú z troch lalokov, a to horného, stredného a dolného, ktoré zahŕňujú 10 úsekov, horný lalok má tri úseky – hrotový, zadný a predný (segmentum apicale, posterium et anterius). Stredný lalok má 2 úseky, a to bočný a prístredný (segmentum laterale et mediale). Dolný lalok sa delí na 5 úsekov: hrotový, prístredný základný, predný základňový, bočný základňový a zadný základňový úsek (segmentum apicale, basale mediale, basale anterius, basale laterale et basale posterius)

Ľavé pľúca majú len dva laloky – horný a dolný, ktoré sa skladajú z 9 úsekov. Horný lalok má 4 úseky: hrotovozadný, predný, horný jazýčkový a dolný jazýčkový úsek (segmentum apicoposterius, anterius, lingulare superius et lingulare inferius). Dolný lalok sa skladá z hrotového, prístredného (srdcového) základňového, predného, bočného a zadného základňového úseku (segmentum apicale, basale mediale – cardiacum, basale anterius, laterale et posterius).

Infiltratívne zmeny pľúcneho parenchýmu. Infiltráty znižujú vzdušnosť pľúcneho

tkaniva. Podľa pôvodu sa delia na tuberkulózne, pneumonické (zápalové) a nádorové. Veľkosť ložísk je rôzna – od niekoľkých milimetrov až po zatienenie celého laloka pľúc. Pri bronchopneumónii sa pozorujú viacpočetné obláčkovité zatienenia v stredných častiach pľúc. Primárne pľúcne nádory sú najčastejšie lokalizované v oblasti pľúcnych hĺbov. Sekundárne nádory (metastázy) tvoria homogénne, dobre ohraničené ložiská v obidvoch pľúcach a prejavujú sa zatieneniami s rôznym priemerom.

Dutinové zmeny sa v pľúcach javia ako vzdušnejšie a pre rtg lúče priístupnejšie ako ostatný pľúcny parenchým. Okolo dutiny sa zvyčajne nachádza rôzne široký zápalový lem. Čerstvé dutiny bývajú menej pravidelné ako chronické. Najmä pri abscesoch, ale aj pri cystách vidno horizontálnu hladinu tekutiny, ktorá sa mení v závislosti od polohy pacienta.

Niektoré dutiny môžu byť kompletne zatienené okolitou zápalovou reakciou pľúcneho parenchýmu a vidno ich len pri klasickom tomografickom vyšetrení.

Zatienenia spôsobené pleurálnym výpotkom. Pleurálna tekutina, t. j. tekutina medzi parietálnou a viscerálnou pleurou, môže byť zmnožená pri zápalovom či nádorovom procese alebo pri srdcovej nedostatočnosti. Pri zápalovej a nádorovej etiológii ide o exsudát a pri srdcovej dekompenzácii o transsudát. Vzájomne sa odlišujú množstvom obsiahnutej bielkoviny. Pri menšom objeme sa výpotky prejavujú ako zatienenia, ktoré vyplňajú vonkajší bránicový uhol, pri väčšom objeme sa zatienenie rozširuje nahor pozdĺž parietálnej steny s konkávnou stranou smerom k pľúcnemu parenchýmu. V neskorších fázach sa výpotok môže opudzriť a tvorí nástenné zatienenie rôzneho tvaru, najčastejšie však konvexné smerom k pľúcnemu parenchýmu. Niekedy sa môže vyskytnúť aj medzi pleurálnymi listami jednotlivých lalokov : vtedy ide o interlobárne výpotky.

Pneumotorax znamená arteficiálne vniknutie vzduchu do pohrudnicovej dutiny, čo má za následok kompletný alebo čiastočný kolaps pľúc. Jeho etiológia je rôzna, najčastejšie ide o traumy, napr. zlomeninu rebier, ktoré spôsobia laceráciu pľúcneho parenchýmu. Fyziologický je tlak v pleurálnej dutine negatívny a pri pneumotoraxe nastáva zníženie jeho negativity, resp. vyrovnanie s atmosférickým tlakom. Nezriedka ide o iatrogénny pneumotorax po rôznych diagnostických alebo terapeutických punkciách. Ak sa tvorí exsudát, hovoríme o hydropneumotoraxe.

Nádory mediastína. Ak nádor dosiahne určitú veľkosť, zasahuje do pľúcneho parenchýmu, čo sa na snímke hrudníka prejaví ako sýte, homogénne zatienenie, čo s ostrými pologuľovitými alebo polycyklickými kontúrami.

Kalcifikácie. Kalcifikované ložiská tvoria sýte zatienenia, zvyčajne majú pravidelný tvar a môžu sa nachádzať v oblasti pľúcnych hĺlov v lymfatických uzlinách alebo v pľúcnom parenchýme, najmä v horných oblastiach pľúc : vtedy ide spravidla o zastaraný špecifický tuberkulózný proces. Často sú lokalizované na pleure, kedy ide o stav o stav po tuberkulóznej pleuritíde, tzv . pleuritis calcificata.

Röntgenové vyšetrenie gastrointestinálneho systému

V súčasnosti sa nahrádza endoskopickým vyšetrením, no stále sa využíva napr. pri infiltratívne rastúcom karcinóme žalúdka, anatomických odchýlkach, niektorých pooperačných stavoch, cudzích telesách v GIT po ich prehltnutí, najmä kovových.

Medzi zobrazovacie metódy GIT patria natívne vyšetrenia bez používania kontrastnej látky a s jej použitím. Natívne vyšetrenia sa využívajú najmä pri ileózných stavoch a perforovaných dutých orgánoch na dôkaz pneumoperitonea, alebo cudzích telies.

Röntgenové vyšetrenie dutých orgánov GIT (t. j. pažerák, žalúdok, dvanástnik, tenké a hrubé črevo) sa robí pomocou kontrastných látok, pretože tieto orgány na obrazovke dostatočne nevynikajú. Používajú sa pozitívne aj negatívne kontrastné látky. Týmto spôsobom sa diagnostikujú sliznicové lézie, poruchy funkcie (alebo aj motility), zisťuje sa anatomická poloha a okolitá topografia orgánov.

Medzi pozitívne kontrastné látky patrí :

síran bárnatý (baryum sulfuricum – $BaSO_4$), čo je vo vode nerozpustná soľ, používa sa vo forme vodnej suspenzie, a to na vyšetrenie hornej časti GIT perorálnym podaním a sledovaním pasáže, alebo retrográdnym plnením hrubého čreva, tzv. irigrografiou, vodné jódové kontrastné látky majú menšie spektrum indikácii, používajú sa napr. pri spontánnej alebo pooperačnej perforácii čreva. Pri podozrení na ezofagobronchiálnu fistulu sa uprednostňuje $BaSO_4$, pretože jódová kontrastná látka môže vyvolať deštrukciu pľúcneho parenchýmu.

Medzi negatívne kontrastné látky patrí vzduch a CO_2 , ktoré v kombinácii s pozitívnymi kontrastnými látkami tvoria základ techniky dvojitého kontrastu. Plynová náplň žalúdka sa dosiahne pomocou efervescentných tabliet, ktoré uvoľňujú CO_2 . Menej sa využíva insuflácia žalúdka nazogastrickou alebo gastroduodenálnou sondou.

Technika vyšetrenia

Gastroduodénium a pasáž GIT. Pacient prichádza na vyšetrenie nalačno bez osobitnej prípravy. Pomocou skiaskopie sa orientačne vyšetří hrudník a horná časť abdomenu. Potom prehltnie dve dávky báriovej suspenzie. Pozoruje sa prehĺtanie a pasáž pažerákom v rôznych projekciách (predozadnej, bočnej, šikmej).

Pažerák. Medzi patologické stavy na ezofágu patria kompresívne obštrukcie s dysfágiou, nádory (malígne a benígne), poruchy motility – achalázia, divertikuly (trakčný, pulzný a Zenkerov) a hiátové hernie.

Žalúdok. Röntgenové vyšetrenie gastroduodéna sa v poslednom čase vykonáva technikou dvojitého kontrastu. Dvojkontrastné vyšetrenie je vhodné na zobrazenie sliznicových záhybov žalúdka. Princípom vyšetrenia je rozpínanie sliznice hypotonického žalúdka plynom a zároveň kontrastné zobrazenie pomocou báryovej kontrastnej látky

s vysokou denzitou. Hypotónia sa dosahuje i. v. podaním spazmolytika, plynová náplň žalúdka aplikáciou šumivého prášku alebo tablety. Nasledujúce podanie kontrastnej látky per os vytvára na sliznicovom reliéfe žalúdka tenký film. Vyšetrenie sa robí najskôr poležiaci, pričom pacient sa polohuje, t. j. otočí sa okolo pozdĺžnej osi, aby sa kompletne zobrazil celý orgán, najlepšie výsledky sa dosahujú pri použití kontrastných látok s vysokou denzitou (high density – HD) a mäkkej snímkovacej techniky (65 – 75 kV) s citlivým filmovým materiálom.

Prakticky sa získava oveľa lepší výsledok v porovnaní s jednodoktrastným vyšetrením, umožňuje zachytiť patologické zmeny vo včasnom štádiu rakoviny, malé žalúdočné vredy, nepatrné polypy a nenápadné zmeny sliznicového reliéfu.

Dvanástnik. Vyšetrenie nadväzuje na röntgenové vyšetrenie žalúdka. Dobré výsledky sa dosahujú dózovanou kompresiou za pomoci distinktora (súčasť skiaskopických röntgenových stien), ale aj dvojkontrastným vyšetrením. V niektorých prípadoch sa vredy na zadnej strane duodéna zobrazujú lepšie metódou dvojitého kontrastu, vredy na prednej strane najlepšie pri použití dózovanej kompresie.

Medzi patologické stavy gastroduodéna patrí peptický vred žalúdka a duodéna, nádory, mezenchymálne tumory a metastázy (melanóm, karcinóm prsníka a ovárií). Priame metastázy sa vyskytujú pri karcinóme ezofágu a pankreasu.

Jejunum a ileum. Najpoužívaným röntgenovým vyšetrením tenkého čreva sa stala enteroklýza, pri ktorej sa sonda zavedie do duodenojejunálneho spojenia. Kontrastný báryový nálev sa aplikuje spolu s roztokom metylcelulózy, čím sa v jednotlivých segmentoch tenkého čreva dosahuje dvojkontrastný obraz. Vyšetrenie sa uprednostňuje pri ochoreniach tenkého čreva s rôznou etiológiou. Pacient dodržiava pred vyšetrením diétny režim a pije veľké množstvo tekutiny. Na vyšetrenie prichádza nalačno a vykonáva sa za skiaskopickej kontroly.

Medzi patologické stavy na tenkom čreve patria zápal (Crohnova choroba), infekcie (salmonela, šigela, escherichia), nedostatočná absorpcia (poruchy resorpcie živín), cievne ochorenia (ischémia), systémové choroby, nádory (malígne a benígne) a vývinové anomálie.

Hrubé črevo (colon). Röntgenové vyšetrenie hrubého čreva sa nazýva irigografia a vykonáva sa výlučne technikou dvojitého kontrastu. Základom úspešného výsledku je dôkladná príprava pacienta. Hrubé črevo musí byť úplne vyprázdnené, čo sa dosahuje viacerými technikami (klyzma, hyperosmotické roztoky). Pacient sa vyšetruje v ležiacej polohe na skiaskopickej sklopnej stene. Po zavedení irigátora sa aplikuje približne 500 ml

báryovej kontrastnej látky a zároveň sa insufluje vzduch. Vizualizácia všetkých úsekov hrubého čreva sa dosahuje polohovaním pacienta.

Patologické stavy kolónu sa delia do dvoch základných skupín, a to na zápalové a nádorové. Medzi zápalové afekcie patria kolitídy, ktoré môžu byť neinfekčné, infekčné a vaskulárne. Analýza základných lézií je založená na posúdení tonusu, motoriky a modifikácií haustrácií. Nádory hrubého čreva sa rozdeľujú na benígne a malígne. Najčastejším benígnym nádorom je polyp (adenóm). Ide o epiteliálny tumor, ktorý postihuje 10 – 20% populácie staršej ako 50 rokov. Táto lézia vo väčšine prípadov degeneruje do kolorektálneho karcinómu, pri ktorom sa rozoznávajú včasné a neskoré formy. Pri včasnej forme ide prevažne o degenerovaný polyp. Niektoré röntgenové príznaky môžu vyvolávať dojem malignity, a to najmä veľkosť. Pri lézii s priemerom menším ako 10 mm nie je karcinóm zvyčajne pravdepodobný. Ďalším z príznakov malignity je nepravidelnosť lézie, parietálne retrakcie alebo obraz „plató“ hornej bázy polypu. Ani jeden z uvedených príznakov však nemožno pokladať za rozhodujúci bez histologického dôkazu.

Za skiaskopickú kontrolu sa črevo vždy snímkuje v rôznych rovinách. Snímky sa potom vyhodnocujú na negatoskope.

Z diferenciálnodiagnostického hľadiska prichádzajú do úvahy stenotické procesy pri divertikulitídach alebo iných zápalových stavoch kolónu. Pri pochybnostiach je namieste kolonoskopia s biopsiou na histologické vyšetrenie.

Röntgenové vyšetrenie urogenitálneho systému

Natívna snímka brucha sa zhotovuje u pacienta ležiaceho na chrbte (AP – projekcia). Oblasť od úrovne bránice po oblasť lonovej symfýzy je obnažená. Pri kolikovitých bolestiach sa odporúča pacienta fixovať. Snímky sa vyhotovujú počas apnoickej pauzy a úplnej nehybnosti. U detí a dospelých v reprodukčnom veku sa gonády prikryjú olovenými tienidlami. Vyhodnocuje sa kostný skelet (lumbálna chrbtica, distálne rebrá, kosti panvy), mäkké časti ako paralumbálne svaly (m. psoas major et minor), veľkosť obličiek a pečene, ako aj ich kontúry, črevný meteorizmus. Pri patologických stavoch sa treba sústrediť na kalcifikácie (cholecystolitiáza, nefrolitiáza).

Intravenózna urografia je funkčným a dynamickým vyšetrením. Pomocou jódovej kontrastnej látky sa obličkový parenchým stáva opacitným a jej nasledujúcim transportom sa vizualizujú odvodné močové cesty až po močový mechúr. Cieľom vyšetrenia je získať

nefrogram (opacita parenchýmu),
pyeloureterogram (opacita panvičiek a močovodov),
cystogram (opacita močového mechúra).

Základom urografie bolo objavené jódových kontrastných látok, ktorými sa dali zobrazit' odvodové močové cesty.

Nefrogram. V tejto fáze vyšetrenia prechádza kontrastná látka obličkovým parenchýmom. Tubulárnym nefrogram sa vytvára po jej prechode do tubulárneho systému obličiek. Získava sa zo sumarizovaním všetkých naplnených tubulov. Intenzita závisí od koncentrácie kontrastnej látky v plazme a stupňa glomerulovej filtrácie. Pri ochoreniach krvného obehu alebo obličkového parenchýmu môže byť nefrogram nedostačujúci i napriek podaniu adekvátneho množstva kontrastnej látky. Pri spomalenom vylučovaní a redukovanej glomerulovej filtrácii je nefrogram predĺžený. Zvýraznený, ale aj predĺžený nefrografický efekt sa pozoruje pri akútnych obštrukciách odvodných močových ciest.

Pyeloureterogram znamená kontrastné zobrazenie dutého systému obličiek. Pri dilatovanom dutom systéme sa musia podať vyššie dávky kontrastnej látky s vyššou koncentráciou jódu na lepšie zobrazenie (napr. ampulárneho typu panvičky). Pri dostatočnom množstve kontrastnej látky a správnej diuréze sa zobrazuje ureter, jeho náplň je však prerušovaná následkom peristaltických vln.

Cystogram. Intravenóznym cystogram predstavuje naplnenie močového mechúra kontrastnou látkou po jej prechode obličkami a močovodmi. Závisí od stupňa zriedenia kontrastnej látky močom, ako aj hrúbky steny močového mechúra. Po vymočení sa pacient (najmä starší) snímkuje na dôkaz reziduálneho moču (zväčšenie prostaty).

Príprava pacienta zahŕňa odstránenie stolice z črevného systému. Osobitný dôraz sa kladie na výber kontrastnej látky a dostatočnú hydratáciu pacienta. Vodná bilancia musí byť vyrovnaná bez zvýšenia diurézy. Pacient by mal prijať poslednú tekutinu 6 – 10 hodín pred vyšetrením.

Dávky kontrastnej látky a spôsob jej podania. Kvalita zobrazenia vylučovacích orgánov závisí od koncentrácie kontrastnej látky v moči, ktorá je priamo úmerná jej hodnotám v krvi a glomerulovej filtrácii obličiek. Pri urografii sa za 10 – 15 minút prefiltruje parenchýmom obličiek 88 % kontrastnej látky.

Rozoznávajú sa dva varianty podania kontrastnej látky:
vo forme bolusu (trvanie 90 s),
infúziou.

Bolusová technika je častejšia, dosahuje sa ňou rýchlejšie potrebná koncentrácia kontrastnej látky v krvi, a teda aj kvalitnejší nefrogram. Infúzna technika sa uprednostňuje pri renálnej insuficiencii a pri obštrukciách odvodných močových ciest.

Postup snímkovania závisí od času vylučovania kontrastnej látky obličkami, plnenia odvodných močových ciest a močového mechúra. Najintenzívnejší nefrografický efekt vzniká pri bolusovej technike počas 60 – 90 sekúnd od skončenia podávania kontrastnej látky. Po 5 a 10 minútach nasleduje snímkovanie obličiek, močovodov a močového mechúra. Posledná je snímka močového mechúra po vyprázdnení. Pri protrahovanej urografii sa pacient môže snímkovať podľa potreby až do 24 hodín od podania kontrastnej látky.

Medzi patologické stavy pri i. v. urografii patria kongenitálne malformácie, konkrementy v obvodných močových cestách, tumorózne malígne aj benígne expanzie a zápalové procesy

Angiografické vyšetrenia

Angiografické vyšetrenie je vyšetrenie cievneho systému pomocou kontrastných látok. Ak je zamerané na artérie, ide o artériografiu, pri venóznom systéme o flebografiu alebo venografiu a pri vyšetrení lymfatických ciev o lymfografiu. Uvedené vyšetrenia patria medzi invazívne rádiologické metódy, ktoré sa musia vykonávať za prísne sterilných podmienok pomocou osobitného inštrumentária a prístrojovej techniky. Pri vyšetrení sa používajú jódomé neiónové kontrastné látky, ktoré sa vylučujú z organizmu obličkami, a preto sa nazývajú nefrotropné. Indikácie na tieto vyšetrenia musia byť presne vymedzené a robia sa u hospitalizovaných pacientov s kompletným interným vyšetrením a všetkými hematologickými výsledkami.

Pacient musí byť pred vyšetrením kompletne pripravený, nalačno a sprevádza ho ošetrojúci pracovník s úplnou zdravotnou dokumentáciou. V chorobopise musí byť zaznačená prípadná alergia najmä na jódomé prípravky. Pacientovi sa vysvetlí postup vyšetrenia a na jeho upokojenie sa pred výkonom odporúča podať sedatíva a protialergické lieky. Vyšetrenie sa robí v lokálnej anestézii. Po priamej punkcii cievy, artérie alebo vény sa zavedie dilatátor, potom kovový vodič s flexibilným koncom a po ňom osobitný katéter, cez ktorý sa aplikuje kontrastná látka. Všetky úkony sa robia za skiaskopickej kontroly. Vyšetrovaný cievny systém sa kontrastne zobrazí na sérii snímok. Treba sa usilovať o zachytenie artériovej, kapilárnej i venóznej časti. Hemostáza sa pri artériografii

zabezpečuje kompresívnym ovínadlom a pieskom, ktoré sa prikladá na punkčné miesto. Po výkone nesmie pacient krvácať a minimálne 12 hod. zostáva ležať v tranze.

V súčasnosti sa diagnostická angiografia nahrádza a kombinuje aj s terapeutickým výkonom, tzv. perkutánnou transluminálnou angioplastikou, ktorá sa robí pomocou špeciálnych balónikových katétrov, tie po nafúknutí dilatujú stenotizované miesto v artériovom systéme, ktoré vzniká spravidla na ateromatóznom podklade. Najčastejšie ide o PTA na koronárnom riečisku v srdci alebo na periférnych artériách dolných končatín. Pri tumoróznych stavoch sa v predoperačnom období používa arteficiálna embolizácia pomocou špeciálnych partikul ktoré zabezpečujú menší rozsah peroperačného krvácania.

2. Počítačová tomografia

Počítačová tomografia (computerized tomography – **CT**) sa definuje ako plošná rekonštrukcia údajov o absorpcii röntgenového žiarenia, ktoré prešlo vyšetrovaným objektom. Úbytok tohto žiarenia sa zisťuje sústavou detektorov, ktoré sú uložené oproti röntgenke. Šírka zväzku röntgenového žiarenia určuje približne hrúbku vyšetrovanej vrstvy. Röntgenové žiarenie dopadá na detektory a pomocou počítača sa zrekonštruje výsledný obraz.

Vzniká matematicky rekonštruovaný obraz zložený z množstva bodov, ktoré v číslcovej forme udávajú hustotu jednotlivých **anatomických elementov**. **Táto hustota (denzita)** sa meria a udáva v **Hounsfieldových jednotkách (HU)**.

CT sa skladá :

zo zdroja röntgenového žiarenia,
systému detektorov,
z vyšetrovacieho tunela (gantry),
počítača,
obslužného a vyhodnocovacieho stola (konzoly),
multiformátovej kamery.

Jednotlivé orgány a tkanivá ľudského organizmu majú typické hodnoty denzity. Celá stupnica Hounsfieldových jednotiek má **2 000 stupňov**. Medzi základné body tejto stupnice patrí hustota vody, vzduchu a kompaktnej kosti. **Voda má hustotu 0 HU**, vzduch **-1 000 HU** a kompaktná kosť **+1 000 HU**.

Na základe rekonštrukcie získaného obrazu a hodnôt denzity jednotlivých orgánov rádiodiagnostik vyhodnotí CT- vyšetrenie. Indikácie na CT- vyšetrenie sa musia prísne sledovať najmä u detí a dospelých v reprodukčnej fáze života, pretože počítačová tomografia predstavuje pre pacienta **výraznú radiačnú záťaž**.

Príprava pacienta na vyšetrenie

Na rozdiel od niektorých klasických röntgenových vyšetrení je príprava pacienta na CT- vyšetrenie **pomerne jednoduchá**. Vyšetrenie hlavy, krku, hrudníka, chrbtice ani končatín nevyžaduje osobitnú prípravu okrem toho, že pacient musí byť nalačno.

Pri vyšetrení brušných orgánov treba dbať, aby pacient nemal v črevách zvyšky kontrastnej látky (báριοvej kaše), ktorá výsledky znehodnocuje výraznými artefaktmi. **12 hodín** pred vyšetrením orgánov malej panvy sa odporúča podať 1 ampulku jódovej kontrastnej látky zriedenej v **500 ml** vody, čo umožní kontrastne hrubé črevo aj konečník. U žien sa odporúča tampónovanie pošvy.

Tesne pred vyšetrením abdomenu sa podáva **1 ampulka** jódovej kontrastnej látky v **500 ml** vody na dosiahnutie opacity gastroduodéna a proximálnej kľučky jejuna. Nepokojných pacientov a malé deti, ktoré nedostatočne spolupracujú, sa odporúča vyšetrovať v celkovej anestézii alebo po aplikácii sedatív. Rušivý vplyv hyperperistaltiky žalúdka a čriev možno obmedziť podaním **parasimpatolytík**.

Indikácie na vyšetrenie počítačovou tomografiou

Na CT-vyšetrenie **nejestvujú** prísne indikácie. Treba si však uvedomiť, že ide o náročné vyšetrenie nielen z ekonomického hľadiska, ale aj pre nezanedbateľnú radiačnú záťaž.

Z vitálnych indikácií sú to predovšetkým stavy z neurologickej a traumatickej oblasti, napr. bezvedomie, vážne poranenia chrbtice, lebky či panvy, pri ktorých sa presná diagnóza môže stanoviť len počítačovou tomografiou. Ostatné indikácie by sa mali uvážiť a plánovať, pričom treba zachovať určitý algoritmus vyšetrovacích metód.

Na **vyšetrenie mozgu** počítačovou tomografiou sú indikované nádory mozgového tkaniva (gliové tumory), mozgových obalov (meningeómy), endokrinné nádory hypofýzy, nádory mozgových nervov (neurinóm n. VIII), traumy – mozgové krvácania a ich lokalizácia (subdurálne, subarachnoidálne, epidurálne, intraparenchymatózne), kontúzie a edém mozgu, cerebrovaskulárne príhody – ischemia, krvácanie pri hypertenzii, epilepsia, atrofie a anomálie, dlhotrvajúce, terapeuticky ťažko zvládnuteľné bolesti hlavy, zápalové stavy, najmä ich komplikácie, ako aj absces, empyém, hydrocefalus, podozrenie na encefalitídu.

Orbita sa vyšetruje na zistenie presnej lokalizácie a topografie intraorbitálnych expanzívnych procesov, pri myozitíde okohybných svalov, zápaloch a nádoroch slzných žliaz, cudzích telesách, ako aj na presnú lokalizáciu kostných fragmentov pri zlomeninách pri chirurgickej liečbe.

Tvárová časť a farynx sú indikované na určenie presnej lokalizácie nádorov s dôkazom alebo vylúčením ich šírenia do intrakraniálnej oblasti pri metastatickom postihnutí lymfatických uzlín, ako aj pri traumách tvárových kostí s určením línie lomu.

Vyšetrenie **chrbtice a miechy** dopĺňa konvenčné röntgenové vyšetrenie o tretiu rovinu a umožňuje spoľahlivo zistiť priestorové usporiadanie jednotlivých štruktúr, napr. v okcipitocervikálnej alebo cervikotorakálnej oblasti, presnú diagnostiku herniácie intervertebrálnych diskov s určením miesta tlaku miechových štruktúr, diagnostiku syringomyélie, osteolytických a osteoplastických ložísk, pri kominutívnych zlomeninách diskoláciu voľných kostných fragmentov do oblasti miechového kanála, anatomické variácie a degeneratívne procesy.

V oblasti **krku** sa vyšetrujú procesy v laryngu, trachei, hypofaryngu a pažeráku, ako aj štítnej žľazy, prištítných telieskach a lymfatických uzlinách. Z patologických stavov ide o primárne aj sekundárne nádory, zápaly a degeneračné zmeny. Pomocou CT sa oveľa jednoduchšie ako konvenčnými röntgenovými metódami dokazuje retrosternálna struma.

Hrudník. Medzi intratorakálne orgány patria pľúca, mediastínium, srdce, veľké cievy a pleura. CT vyšetrenie pomáha určiť operabilnosť nádoru, rozsah postihnutia lymfatických uzlín a metastatické šírenie do okolitých orgánov. Rozsah ochorenia sa uvádza v medzinárodnej **TNM**-klasifikácii, kde T je tumor, N je nodus, t.j. lymfatická uzlina, a M znamená metastázu.

Podľa veľkosti sa nádory delia do štyroch skupín (**T1 – T4**), napr. **T1** predstavuje nádor s priemerom do **3 cm**, **T4** je rozsiahly inoperabilný nádor. **N0** znamená stav bez zväčšených lymfatických uzlín, **N3** zasa nález na lymfatických uzlinách aj na kontralaterálnej strane hrudníka. **M0** vyjadruje nález bez metastáz, **M1** výskyt vzdialených metastáz. Nádor je operabilný len vtedy, keď nie sú postihnuté kontralaterálne lymfatické uzliny a nezisťujú sa ani vzdialené metastázy. Pri chronických ochoreniach pľúcneho parenchýmu určuje CT- vyšetrenie aktivitu procesu, terapeutický efekt a prejavy šírenia.

V oblasti mediastína sa pomocou CT diagnostikujú všetky nádorové expanzie benígneho aj malígneho charakteru, cystické procesy, aneuryzmy a anatomické varianty. Dôležitá je diagnostika masívnej embolizácie do a. pulmonalis pomocou kontrastnej látky podanej vo forme bolusu.

V oblasti srdca sa určuje poloha a veľkosť srdcových dutín, hrúbka steny, patologické kalcifikácie v oblasti ciev a chlopní. Presne sa dajú diagnostikovať perikardiálne výpotky. V úrovni pleury sa pomocou CT zisťujú patologické kalcifikácie, ktoré sú typické pre tbc, ako aj pneumokoniózy (napr. azbestóza) a tumorózne expanzie, napr. mezotelióm.

Pečeň a žlčový systém sú indikované na CT- vyšetrenie na dôkaz ložiskových zmien, ktoré sa dajú presne diferencovať na cystické, solídne, tekuté, polotekuté a tukové útvary alebo kalcifikáty. CT- vyšetrenie vždy nasleduje až po ultrazvukovom (selekcia pacientov).

Hepar a žlčový systém sa vždy vyšetrujú najskôr natívne a potom po i. v. podaní kontrastnej látky. Pri podozrení na hemangióm sa robia aj neskoré skeny po **10** minútach, keď sa celý nádor stane opacitným a je izodenzný s okolitým zdravým tkanivom.

Vyšetrenie **sleziny** je indikované pri všetkých druhoch splenomegálie a hemodynamických poruchách. Vykonáva sa aj pri podozrení na trombózu slezinovej žily a pri portálnej hypertenzii. Indikáciou sú i posttraumatické stavy s podozrením na ruptúru orgánu.

Pankreas sa zobrazuje v celom rozsahu, možno diferencovať jeho tvar, polohu i štruktúru. Rozlišujú sa na ňom akútne aj chronické zápalové stavy a tumorózne postihnutie jeho exokrinnej alebo endokrinnej časti. CT umožňuje adekvátne posúdiť aj terapeutický efekt. Pri zápalových stavoch je dôležité určenie lokalizácie a šírenia tekutých výpotkov.

Indikácie na vyšetrenie **obličiek** nasledujú až po **USG**. CT je indikovaná vždy pri nádoroch obličiek, pretože detailnejšie informuje o stupni postihnutia, prerastania nádoru do okolia, ako aj o prípadných metastázach. Využíva sa i pri zápalových afekciách, renálnych a pararenálnych abscesoch, chronických a špecifických zápaloch. Je metódou voľby na nefrektómii pri Grawitzovom alebo Wilmsovom nádore.

Okrem toho sa CT – vyšetrenie indikuje pri **poúrazových stavoch**, ako sú ruptúry, krvácania do perirenálneho priestoru atď. Pri diferenciálno diagnostických pochybnostiach je indikované aj pri nefrolitiáze.

Nadobličky. Indikáciou na vyšetrenie sú všetky endokrinologické poruchy a podozrenia na tumorózny proces. Posudzuje sa tvar a veľkosť nadobličiek, ako aj ich lokalizácia a denzita či vzťah k okolitým orgánom. CT – vyšetrením sa spoľahlivo rozlíšia všetky zmeny tvaru a veľkosti nadobličiek. Vyšetrenie sa odporúča aj pri nádorových bronchov (bronchogénny karcinóm) na vylúčenie metastatického rozsevu.

Intervenčná rádiológia. CT sa využíva aj pri invazívnych rádiologických postupoch, ako sú rôzne punkcie parenchymatóznych orgánov s odberom materiálu na histologické vyšetrenie alebo liečebné úkony pri drenáži abscesov a zápalových výpotkov. Výkony sa robia v lokálnej anestézii za sterilných podmienok.

Panvové orgány. Pred vyšetrením musí pacient vypiť dostatočné množstvo tekutín, aby naplnený močový mechúr vytlačal črevné kľučky nahor, a musí byť na vyšetrenie adekvátne pripravený.

Indikáciou sú nádorové expanzie močového mechúra a rekta s operačnou prognózou, u muža nádory prostaty a u žien nádory vaječníkov a maternice. Dôležité je posúdiť stav lokoregionálnych lymfatických uzlín. Okrem toho sú na vyšetrenie indikované aj posttraumatické zmeny na skelete panvy s dislokáciou kostných fragmentov alebo totálne endoprotézy bedrového kĺbu. Pomocou CT sa spresňuje nádorový proces v kostiach.

Podávanie jódových kontrastných látok

Aj pri CT – vyšetrení sa podávajú **röntgenové kontrastné látky**, a to perorálne alebo intravenózne. Na perorálnu aplikáciu sa používajú **vodné roztoky jódových látok**, pretože koncentrovaná kontrastná látka by mala za následok vznik artefaktov. Cieľom takéhoto podania je zabezpečiť opacitu žalúdka, tenkého aj hrubého čreva, a teda aj ich odlíšenie od okolitých štruktúr (napr. metastázu, zväčšené lymfatické uzliny).

Osobitnú prípravu vyžadujú pacienti, u ktorých sa už vyskytla alergická reakcia po jódových kontrastných látkach. Po ich vnútrožilovej aplikácii sa môže zjaviť neznášanlivosť aj u osôb, ktoré v anamnéze alergiu neuvádzajú. Nežiaduce reakcie sa môžu vyskytnúť počas aplikácie alebo bezprostredne po nej, oneskorené reakcie sú zriedkavé.

Reakcie možno rozdeliť do štyroch stupňov:

- **mierny stupeň (nepokoj, nevoľnosť, bolesti hlavy, kožné začervenanie),**
- stredný (slabosť, potencie, excitácia, edémy, hypotenzia, tachykardia, dýchavica,**
- hyperventilácia),**
- ťažký (krče, kolaps, bezvedomie, bledosť, studený pot, šok, arytmie,**
- bronchospazmus),**
- štvrtý stupeň (zastavenie obehu a dýchania, bezvedomie, bledosť, cyanóza,**
- nehmatateľný pulz a apnoe).**

3. Iné zobrazovacie diagnostické metódy

Ultrazvuková metóda – sonografia

História

Medzi najväčšie inovácie v zobrazovacích metódach v 70. rokoch 20. storočia patrí nepochybne ultrazvuk, resp. sonografia alebo echografia. Princípom metódy je vyšetrenie ľudského tela pomocou ultrazvukových vln. Pacienta netraumatizuje, ekonomicky je relatívne nenáročný a za svoj rýchly progres vďačí technológiám, z ktorých profituje.

Základom metódy sa stalo objavenie piezoelektrického javu Pierre Curieom v roku 1898, čo neskôr P.Langevin (v roku 1916) využil pri výrobe prvých ultrasonografických (USG) sond určených na zisťovanie ponoriek počas I. svetovej vojny. Do medicínskej praxe prenikol ultrazvuk až v roku 1952, kedy Howery a Wild predložili prvé pokusné výsledky štúdia biologických tkanív metódou echografickej ultrasonografie. Obrazy realizované pomocou echografov prvej generácie sa objavili koncom 60. rokov a boli vyhotovené manuálnymi výkyvmi sondy na koži vyšetrovanej plochy. Tieto tzv. bistabilné obrazy s dvoma úrovňami svetlosti znázorňovali siluetu vyšetrovaných orgánov alebo lézií. Obraz sa získaval až po niekoľkých sekundách a pohybový šum znižoval kvalitu interpretácie.

V 70. rokoch sa objavili prístroje s mechanickými výkyvmi, rýchly pohyb sondy zabezpečoval motor, umožňovali získať viaceré obrázky za sekundu a tkanivá sa dali vyšetrovať v reálnom čase. Echo štruktúra tkanív sa stávala viditeľnou pomocou záznamníkov obrazu v škále odtieňov sivej farby.

V 80. rokoch sa kvalita obrazu ďalej zlepšovala zásluhou ultrazvukových konvexných sond, ktoré umožňovali fokusáciu zväzku do rôznych hĺbok a digitalizáciu obrazu, čo optimalizovalo dynamiku škály sivej farby. Napokon zásluhou technologického pokroku miniaturizovali sondy s vysokou frekvenciou a vznikla endosonografia (endovagiálna, endorektálna, transezofagálna alebo endovaskulárna).

Fyzikálny princíp

Ultrazvukové vlny sú podobne ako pri zvuku mechanické vibrácie, majú však frekvenciu vyššiu ako 20 000 Hz a ľudské ucho ich nepočuje. V medicíne sa využíva frekvencia od 1 MHz do 12 MHz. Ultrazvuk je tlakové vlnenie, ktoré sa propaguje od

vyšetrovanej oblasti a vytvára lokálne tlakové zmeny vychýlené od rovnovážnej polohy. Rýchlosť šírenia vln závisí od mernej hmotnosti prostredia a jeho elasticity (E). Pre rýchlosť šírenia platí vzťah:

$$V = E / \rho$$

Rýchlosť šírenia je pre jednotlivé prostredia charakteristická. Vo všetkých mäkkých častiach sa ultrazvuk šíri približne rovnakou rýchlosťou, napr. vo vode 1 540 m/s, v tukovom tkanive 1 450 m/s, v svaľe 1 600 m/s a v pečeni 1 550 m/s. Naproti tomu dosahuje jeho rýchlosť šírenia vo vzduchu 330 m/s a v kostnom tkanive približne 3 000 m/s.

Vlnová dĺžka je funkciou rýchlosti šírenia a frekvencie podľa vzťahu:

$$\lambda = v/f$$

Napríklad vlnová dĺžka ultrazvuku s frekvenciou 5 MHz vo vode je 0,308 mm.

Echogenita a základné typy ultrazvukových obrazov

Pri ultrazvukovom vyšetrení jednotlivých orgánov sa rozoznáva šesť druhov obrazov:

cystický obraz s anechogénnym vnútrom,

solídny útvar s homogénnym vnútrom,

komplexný obraz,

echogénny obraz s akustickým tieňom,

obraz kométy,

prstencový obraz.

Cysty majú v ultrazvukovom obraze anechogénne vnútro, t. j. sú vyplnené tekutinou a sú na obrazovke typicky čierne, dobre ohraničené, majú okrúhle alebo elipsovité tvar a ich zadná stena sa zobrazuje lepšie. Za väčšími cystami vznikajú tzv. reverberačné echá alebo sa pozorujú aj okrajové akustické tieňe.

Solídne útvary sa v závislosti od štruktúry delia na silno (hyperechogénne), stredne (izechogénne) alebo mierne echogénne (hypoechogénne). Sú dostatočne, dobre alebo menej zreteľne ohraničené. Odrazy za útvarom sú zaoblené. Príkladom je hemangióm pečene, ktorý je hyperechogénny bez akustického tieňa.

Obraz komplexného útvaru poskytuje cysta s nedostatočne ohraničenými nepravidelnými stenami, vo vnútri sa nachádzajú hyperechogénne štruktúry. Príkladom môžu byť abscesy, hematómy alebo nekrotické nádory.

Obraz echogénneho ložiska s akustickým tieňom poskytujú konkrementy, ktoré sú typicky hyperechogénne a za nimi sa zobrazuje akustický tieň. Príkladom sú žlčové alebo obličkové kamene.

Obraz kométy vzniká pri nahromadení plynových bublín v čreve na rozhraní tekutého obsahu. Pri pozorovaní sa vyskytujú aj zmeny vyvolané peristaltikou čriev.

Prstencový obraz možno pozorovať pri priečnom zobrazení tenkého aj hrubého čreva (tzv. obraz kokardy) alebo pri pečňových metastázach. Pre obraz je charakteristické, že hyperechogénne centrálné oblasti obklopuje na periférii hypoechogénny lem.

Ultrazvukové vyšetrenie pečene

Ultrazvukové vyšetrenie pečene je prvou metódou voľby pri podozrení na patologický proces v oblasti tohto orgánu. Môže sa indikovať pri brušných bolestiach, palpácii expanzie, klinickej hematomegálii, patologických biochemických výsledkov pečňových testov a na diagnostiku a sledovanie priebehu liečby malígnych ochorení. Využíva sa aj pri cielených biopsiách tenkou ihlou na histologické vyšetrenie patologických stavov, ako aj pri terapeutických výkonoch, ako je drenáž pečňových abscesov. Pri vyšetrení na Dopplerovom princípe umožňuje zistiť priechodnosť cievnych štruktúr.

Pacient sa vyšetruje poležiaci v polohe na chrbte, resp. na ľavom boku, ultrazvukom s frekvenciou 3,5 MHz, alebo 5 MHz konvexnými sondami pod pravým rebrovým oblúkom, prípadne anterokostálnym prístupom v rôznych rovinách. Mal by byť nalačno a vyšetruje sa počas maximálneho nádychu v apnoickej pauze.

Ultrasonografický obraz pečene. Sleduje sa echogenita parenchýmu, ktorá by mala byť pravidelná, mierne zrnitá a stredne intenzívne sivá. Pozorujú sa kontúry pečene, ktoré sú pravidelné a ostré. Pri dýchaní sa pečeň pohybuje, čo možno sledovať v oblasti Morissonovho priestoru, t. j. medzi pečňou a pravou obličkou. Pri meraní veľkosti pravého a ľavého laloka v kraniokaudálnom smere presahujú patologické hodnoty vpravo o 150 mm a vľavo o 100 mm. Pozoruje sa priebeh vena portae a ductus choledochus, ako aj intrahepatálne vény, ktoré ústia do vena cava inferior.

Patologické stavy pečene sa delia na:

Difúzne, netumorózne hepatopatie

Difúzna steatóza je časté ochorenie, pri ktorom sa veľkosť pečene nemení. Ma rôznu etiológiu (alkohol, diabetes, obezita, hyperlipémia). Pozornosť treba venovať vyššej echogenite pečene.

Cirhóza sa prejavuje väčším alebo menším objemom pečene, najčastejšie je však atrofická (pri etylizme a posthepatickej etiológii). Kontúry sú hrboľaté, v parenchýme vidno mikronoduly. V okolí sa hromadí tekutina (ascites)

Tumorózne hepatopatie

Medzi benígne tumory patria biliárne cysty, angiómy, adenómy a fokálna nodulárna hyperplázia. Cysty majú charakteristický obraz, sú anechogénne, ostro kontúrované, solitárne alebo viacpočetné. Hemangiómy sú na rozdiel od okolitého tkaniva spravidla hyperechogénne, lokalizované subkapsulárne, majú priemer do 3 cm a pravidelnejšie okraje. Adenómy sa vyskytujú najčastejšie u žien, majú okrúhly tvar so zmiešanou echogenitou, čo je výsledkom hemorágie a nekrózy. Fokálna nodulárna hyperplázia je spravidla náhodným nálezom, je asymptomatická. Okraje sú slabo viditeľné, je izoechogénna a svedčí o nej deviácia cievnych štruktúr, centrálne sa nachádza nepravidelná, hyperechogénna jazva.

Malígne nádory môžu byť primárne alebo sekundárne. Medzi primárne patrí hepatocelulárny karcinóm uložený zvyčajne v cirhotickej pečeni. Má nodulárny alebo polyobulárny vzhľad, pri malých rozmeroch je hypoechogénny. Charakteristický je periférny hypoechogénny okraj. Cholangiokarcinóm sa vyvíja z intrahepatálnych žlčových ciest, jeho diferenciálnodiagnostické odlišenie od hepatocelulárneho karcinómu spôsobuje problémy.

K sekundárnym tumorom patria hepatálne metastázy, v 50 % pochádzajú z karcinómu hrubého čreva, z pľúcnych karcinómov a u žien z karcinómu prsníka. Najčastejšie majú nodulárny vzhľad, sú viacpočetné, hyperechogénne s hypoechogénnym okrajom. Ovariálne a prsníkové metastázy majú cystický charakter.

c) Infekčné a parazitárne hepatopatie.

- Absces pečene sa najčastejšie vyskytuje v pravom laloku, v 85% je solitárny. Na začiatku je lézia hyperechogénna, no veľmi rýchlo sa centrálné oblasti stávajú hypoechogénnymi s vnútornými echami. USG- vyšetrenie umožňuje vykonať perkutánnu cielenú punkciu s nasledujúcou drenážou. Echinokoková cysta je typická parazitóza v oblasti Stredozemného mora, človek sa stáva medzihostiteľom parazita pásomnice psej. Podľa zrelosti a vývinového štádia cysty sa v USG- obraze rozoznávajú 5 typov.

Ultrazvukové vyšetrenie žlčníka a žlčových ciest

USG- vyšetrenie sa stáva dominantným pri patologických stavoch žlčníka a žlčových ciest. Pacient prichádza na vyšetrenie nalačno, aby sa dosiahla dostatočná náplň žlčníka.

Vyšetruje sa poležiaci v polohe na chrbte, na ľavom boku, niekedy i v stoji. Pri hlbokom nádychu je žlčník lokalizovaný pod pravým rebrovým oblúkom, v pozdĺžnom smere dosahuje veľkosť priemerne 4 cm, ide vždy o patologický stav. Stena žlčníka by pri plnej náplni nemala presiahnuť 3 mm. Náplň je anechogénna.

Patologické stavy. Cholecystolitiáza patrí často medzi náhodné nálezy, klinicky sa môže manifestovať pod obrazom biliárnej koliky alebo jej komplikáciami. Zisťujú sa hyperechogénne solitárne alebo viacpočetné ložiská s typickým achotieňom. Diagnostické problémy spôsobujú konkrémenty s malým priemerom, t. j. menšie ako 3 mm, tzv. mikrolitiáza.

Litiázy v extrahepatálnych žlčových cestách sa len veľmi ťažko diagnostikuje presne. Priamy dôkaz konkrémentu je často neistý, nepriamym dôkazom je rozšírenie hepatocholedochu nad 7 mm (tzv. príznak zdvojenej pušky vo vzťahu k vena portae).

Medzi komplikácie cholecystolitiázy patrí akútna cholecystitída (zápal steny žlčníka), ktorú sprevádzajú výrazné klinické ťažkosti a typický USG- obraz. Vyšetrenie je limitované pre bolestivosť, typický je Murphyho príznak s palpačnou bolestivosťou žlčníka, zhrubnutie steny žlčníka priemerne o viac ako 4 mm s dvojistou kontúrou. Pri chronickej cholecystitíde pretrváva zhrubnutie steny, bolestivosť je menšia a žlčník je zvraštený a atrofický.

Ultrasonografia pankreasu

USG- vyšetrenie pankreasu, ktorý je uložený retroperitoneálne, je pomerne komplikované. Anatomicky sa pankreas delí na oblasť hlavy, krčka, tela a chvosta.

V transverzálnom reze kolmom na priebeh žľazy dosahuje veľkosť jeho hlavy do 26 mm, v oblasti krčka do 15 mm, v oblasti tela a chvosta od 25 do 30 mm.

Medzi hlavné indikácie patrí akútna a chronická bolestivosť abdomenu, chudnutie, ikterus, traumy, diabetes a ostatné endokrinopatie. USG- obrazy nie sú špecifické, ale umožňujú potvrdiť existenciu organickej lézie alebo komplikácie, napr. kalcifikácie, dilatáciu ductus pancreaticus (Wirsungi). USG- vyšetrenie pomáha pri cielej punkcii patologickej masy alebo nahromadenej tekutiny.

Ultrasonografia obličiek a sleziny

Ďalším orgánom vhodným na ciele USG-vyšetrenie sú obličky, slezina a močový mechúr. Pacient sa vyšetruje poležiaci v polohe na chrbte, pravom alebo ľavom boku, ako aj v stoji. Sledujú sa anatomické pomery, veľkosť, kontúry, parenchým s typickou echoštruktúrou a okolité orgány.

V pozdĺžnom reze má oblička tvar ovoиду veľkosti 11 x 5 x 4 cm, je ostro kontúrovaná a rozoznáva sa na nej centrálny echokomplex, ktorý je tvorený tukovým a väzivovým tkanivom a poskytuje výrazne hyperechogénny obraz. Periférnu časť tvorí kôrová parenchymatózna vrstva s podobnou echoštruktúrou, ako má pečeň. Pomer parenchýmu k centrálnemu echokomplexu je približne 2 : 1. Vekom sa znižuje, pri edéme obličky sa zvyšuje. Vylučovací kalichovopanvičkový systém obličky sa dobre vizualizuje len pri patologických stavoch.

USG-obraz chorobných zmien je jednoznačný pri poruchách odtoku moču s prekážkou v odvodových močových cestách (napr. konkrement) a vzniku hydronefrózy. Ideálne sa zobrazujú cystické procesy, napr. kortikálne cysty. Pri malignómoch sa pozoruje invázia nádoru do perirenálneho priestoru. Pri vyšetrení močového mechúra sa u muža prehliada aj prostata, u ženy i maternica a ovária.

Dôležité je aj ultrazvukové vyšetrenie sleziny pri traumatických stavoch v úrovni dolných ľavých rebier pre možnosť ruptúry, ktorá vyžaduje neodkladnú chirurgickú intervenciu.

Pediatrická ultrasonografia

Prakticky ide o podobné indikácie ako u dospelých okrem USG mozgu, ktorá sa vykonáva cez otvorenú veľkú fontanelu vo frontoparietálnej oblasti v stredovej línii. Týmto spôsobom sa dieťa môže vyšetřovať až do veku 6 mesiacov. Medzi indikácie patř rozšírenie komorového systému pri hydrocefale, mozgové hemorágie, ischemické stavy a rôzne malformácie.

Dopplerovská ultrasonografia

Vyšetřenie sa využíva v angiologickej diagnostike v úsekoch cievneho riečiska, ktoré sú dobre dostupné ultrazvukovým vlnám. Ide napríklad o extrakraniálne cievy

a končatinový cievny systém. Pri vyšetrení sa používa ultrazvuk s frekvenciou 5 – 10 MHz.

Pomocou dopplerovského signálu sa zisťuje priechodnosť ciev, miesto zúženia na artériosklerotickom podklade, resp. obliterované úseky ciev. Dôležité je vyšetrenie hĺbkového venózneho systému na dolných končatinách pri dôkaze hĺbkovej flebotrombózy, ktorá môže mať neskôr za následok až pľúcnu embolizáciu.

Magnetická rezonancia

Zobrazovanie magnetickou rezonanciou (MR) je najmladšou metódou v rádiológii. Prístroje môžu znázorniť akúkoľvek časť tela v rozličnej vyšetrovacej rovine. Vyšetrenie nesprevádza radiačná záťaž a ani vzduch či kosti nepredstavujú prekážky v zobrazovaní.

V porovnaní s USG a CT je metóda finančne výrazne náročnejšia, technicky viac pokročilejšia a teoreticky ťažšie zvládnuteľná. Napriek tomu MR revolučne zmenila pohľad na niektoré oblasti v rádiologickej diagnostike.

Základné princípy zobrazovania pomocou magnetickej rezonancie

Základné zložky MR tvorí veľmi silný magnet, radiovysielač, rádiový prijímač a výkonný počítač. Vnútro magnetu predstavuje tunel, do ktorého je počas vyšetrenia uložený pacient. Magnety majú magnetické pole orientované prevažne rovnobežne s dlhou osou tela pacienta a toto pole sa označuje B_0 . Zobrazuje sa vo forme vektora, ktorý určuje smer magnetického poľa, pričom jeho dĺžka indikuje veľkosť magnetického poľa. Orientácie vo vnútri magnetu sú znázornené pomocou imaginárnej konštrukcie s tromi koordinátami – z, x, y, z označuje vždy smer magnetického poľa B_0 , pričom pole je rovnobežné s dlhou osou pacienta, horizontálna os kolmá na z sa označuje písmenom x a vertikálna je y. Rovina x – y je teda orientovaná kolmo na magnetické pole B_0 . Zariadenia MR na klinické použitie majú silu magnetického poľa v rozpätí 0,2 – 2 tesla (T).

Magnetická rezonancia využíva skutočnosť, že atómové jadrá umiestnené v konštantnom magnetickom poli selektívne absorbujú energiu vysokofrekvenčného elektromagnetického poľa. Možno ju pozorovať len pri atómových jadrách s nenulovým spinom I a nenulovým magnetickým momentom μ , teda pri tých jadrách, ktoré majú nepárne nukleónové číslo ako ^1H , ^{13}C , ^{17}O , ^{23}Na , ^{31}P a pod. Veľký magnetický moment má

jadro vodíka (protón ^1H), ktorý má značné zastúpenie v organizme, a preto je najvhodnejším jadrom na zobrazenie MR.

Rotačné osi protónov, ktoré sa nachádzajú v prostredí bez pôsobenia vonkajšieho magnetického poľa, sú v neusporiadanom stave. Pri uložení pacienta dovnútra silného magnetického poľa MR- prístroja sa usporiadajú a zoradia v smere externého poľa B_0 (podobne ako ihla kompasu prispôbena magnetickému poľu Zeme). Magnetická os každého protónu začne rotovať okolo smeru externého magnetického poľa. Tento zvláštny rotačný pohyb nazývaný precesný pohyb má rezonančnú frekvenciu označovanú ako Larmorova frekvencia (podľa anglického fyzika Larmora):

$$\omega_0 = \gamma \cdot B_0$$

pričom γ je konštanta (tzv. gyromagnetický moment) charakteristická pre každé atómové jadro. Rezonančná frekvencia pre protóny v magnetickom poli, ktoré má magnetickú indukciu 1 T, je 42,574 MHz.

Väčšia časť pohybujúcich sa protónov so svojim magnetickým momentom sa pohybuje v smere rovnobežnom s externým magnetickým poľom. Nazývajú sa „paralelné protóny“. Zvýšené protóny v svojom magnetickom momente smerujú k „juhu“, preto sa označujú ako „antiparalelné protóny“. Výsledkom je tvorba siete magnetického momentu v tkanivách pacienta. Tkanivá sa stávajú magnetickými a magnetizmus (M) je orientovaný presne paralelne (rovnobežne) s externým magnetickým poľom B_0 . Veľkosť magnetizmu závisí od prebytku paralelných protónov. Prebytok je úmerný sile externého magnetického poľa, no vždy je veľmi malý, rádovo dosahuje len 1–10 protónov na 1 milión protónov. M závisí aj od pomeru počtu protónov na objemovú jednotku tkaniva (t.j. protónovej denzity). Najviac protónov, t. j. jadier vodíka, sa nachádza v prevažnej časti tkanív, čo vysvetľuje skutočnosť, že sieť magnetického momentu M je dostatočne silná po indukcii elektrickým prúdom prijatým cievkou, ktorá je lokalizovaná mimo pacienta. Takýto indukovaný magnetický signál sa používa na rekonštrukciu MR- obrazov.

Signál magnetickej rezonancie

Magnetizmus môže indukovať elektrický prúd v cievke len za predpokladu, že sa zmení veľkosť magnetického poľa prechádzajúceho otvorom cievky. Pre tvorbu magnetizmu (M) v tkanivách a indukciu elektrického prúdu v cievke sú nevyhnutné elektromagnetické vlny. Keď sa elektromagnetický impulz preniesie do pacienta pozdĺž osi

y, magnetické pole elektromagnetických vln vychýli protóny v smere osi y a ich rotáciu v smere hodinových ručičiek okolo osi y. Preto musí byť frekvencia elektromagnetických vln rovnaká ako Larmorova frekvencia protónov. Táto skutočnosť tvorí fenomén magnetickej rezonancie. Rezonanciou sa chápe synchronizovaná vibrácia prenesená na magnetické polia protónov a elektromagnetických vln tak, aby spolu rezonovali, t. j. mali rovnakú frekvenciu pri zmene orientácie protónových magnetických momentov.

Sila a trvanie rádiofrekvenčného impulzu určujú, o koľko stupňov sa M (magnetizmus) vychýli od smeru B_0 . Ak ide o výchylku o 90 stupňov bude M rotovať v rovine $x - y$, ktorá je kolmá na smer vektora B_0 . Prijímacia cievka je uložená mimo vyšetrovanej oblasti, smeruje k pacientovi a je kolmá na smer B_0 . Keď M rotuje v rovine $x - y$, bude indukovať elektrický prúd v cievke, ktorý sa nazýva MR- signál. Takéto alebo podobné signály sa používajú na rekonštrukciu sektorových obrazov MR. Situácia je po 90-stupňovom pulze analogická rotujúcemu magnetu v blízkosti závitov cievky.

Zmeny magnetického poľa prostredníctvom cievky indukujú elektrický prúd, ak by sa na cievku napojila žiarovka, svietila by. Čím silnejší je magnet, tým jasnejšie je svetlo. Rovnaký princíp platí pri zobrazovaní pomocou MR. Tkanivá vystavené intenzívnemu magnetizmu budú indukovať silné signály a v obraze sa budú javiť ako jasné a tkanivá vystavené slabému magnetizmu budú indukované slabými signálmi a budú tmavé.

Kontrast obrazu

Kontrast v obraze MR určujú rozdiely v magnetizme tkanív alebo presnejšie odlišné sily magnetizmu, ktoré rotujú v rovine $x - y$, a indukcia prúdu v prijímacej cievke. Magnetizmus tkanív závisí od protónovej denzity – hustoty. Anatomické štruktúry, ktoré obsahujú veľmi málo protónov (napr. vzduch), budú indukovať veľmi slabý MR- signál, a preto sú v obraze tmavé.

Voda a iné tekutiny majú naproti tomu veľmi vysokú protónovú hustotu a dalo by sa predpokladať, že intenzita ich signálu bude vysoká, t.j. v MR- obraze budú jasnejšie. Závisí to však od zobrazovacej metódy. Tekutiny, ako je napr. mozgovomiechový mok, sa môžu zjavovať vo forme svietivého alebo tmavého signálu. Pre túto skutočnosť treba podotknúť, že protónová hustota nie je jediným determinujúcim faktorom kontrastu obrazu; dôležitú úlohu majú aj iné parametre. Dva najdôležitejšie z nich sa nazývajú relaxačné časy (T_1 a T_2). Pre rekonštrukciu obrazu je potrebné vyslať niekoľko rádiofrekvenčných impulzov a prijať ich echá vo forme MR- signálov. Medzi vysielaním

rádiofrekvenčných impulzov prechádzajú protóny dvoma rozdielnymi relaxačnými procesmi- T_1 - a T_2 - relaxáciou. Rýchly rozpad indukovaného signálu je čiastočne výsledkom stupňovitého vymiznutia magnetizmu v rovine $x - y$ (M_{xy}) spôsobenou malými rozdielnosťami v sile lokálneho magnetického poľa (čiastočne vyvolaného magnetickými molekulami tkaniva). Protóny sú vystavené nepatrným silám rozličného magnetického poľa a budú mať veľmi malé rozdielne Larmorove frekvencie, pričom nadbytočné paralelné protóny budú tesne zhromaždené okolo M_{xy} ihneď po 90- stupňovom pulze, budú detázované a budú sa šíriť k osi z . Keď sú individuálne protóny rovnomerne rozložené okolo osi z , M_{xy} vymizne. Toto vymiznutie magnetickej siete v rovine $x - y$ sa nazýva T_2 - relaxácia a definuje sa ako čas, pokiaľ M_{xy} nestratí 63 % svojej základnej maximálnej hodnoty. Spoločná T_2 - hodnota v parenchymatóznom tkanive dosahuje 50 ms. Po období rovnajúcom sa 4 – 5 časom hodnoty T_2 M_{xy} kompletne vymizne. Hodnota T_2 sa značne mení následkom fyzikálnych a chemických vlastností tkanív. Tekutiny a im podobné tkanivá majú typicky dlhé T_2 (M_{xy} a MR- signál sa strácajú pomaly), pevné tkanivá zasa krátke T_2 (M_{xy} a MR- signál miznú rýchlo). Relaxácia T_1 je pomalšia ako T_2 a zahŕňa stupňovité zoradenie individuálnych protónov so smerom B_0 , čím obnovuje situáciu pred 90- stupňovým pulzom. Počas tohto procesu je sieť magnetického momentu pozdĺž osi z , M_z sa bude zvyšovať od nuly s ubúdajúcou rýchlosťou až k jej maximálnej hodnote určovanej protónovou denzitou tkaniva. T_1 je definovaný ako čas do opätovného získania 63 % jej začiatocnej maximálnej hodnoty. Čím kratší je T_1 , tým rýchlejšia je obnova M_z . Po období rovnajúcom sa 4 – 5 časom T_1 je hodnota m_z úplne obnovená. Spoločná T_1 - hodnota v parenchymatóznom tkanive je približne 500 ms, pričom v rozličných tkanivách značne varíruje. Hodnota T_1 vo veľkom rozsahu závisí od mobility a veľkosti molekúl, zvyčajne je kratšia v tkanivách s molekulami strednej veľkosti a priemernou mobilitou (napr. tukové tkanivo). Menšie, ale mobilnejšie molekuly (napr. v tekutinách), a väčšie, menej pohyblivé, majú dlhší T_1 .

Kontrastné látky pri vyšetrení magnetickou rezonanciou

Podávanie kontrastných látok pri vyšetrení MR sa stalo prakticky nevyhnutným, klinické štúdie potvrdili, že pri ťažkých chorobných stavoch môžu výrazne zvýšiť diagnostické informácie.

Kontrastné látky majú magnetické vlastnosti a môžu meniť intenzitu signálu v tkanivách, kde sa lokalizujú, pričom skracujú relaxačné procesy T_1 alebo T_2 s okolím

protónov. Medzi najčastejšie používané kontrastné látky patria paramagnetické soli vzácnych zemín, napr. gadolínium. Aplikujú sa intravenóznou injekciou a ich distribúcia v organizme je podobná ako pri vodných jódoých kontrastných látkach.

Indikácie a kontraindikácie

Absolútnymi kontraindikáciami na vyšetrenia MR sú implantáty kovových magnetických klipov, ktoré sa používajú pri operáciách mozgových aneuryziem, ako aj cudzie telesá kovového charakteru s magnetizmom, napr. po úrazoch oka, pretože ohrozujú pacienta intenzívnym, často fatálnym krvácaním vyvolaným pohybom kovovej súčasti v silnom magnetickom poli.

Ďalšou absolútnou kontraindikáciou je zavedený kardiostimulátor, ktorého funkcia sa môže magnetickým poľom poškodiť, a indukovaný elektrický prúd v elektróde môže popáliť endokard. Absolútnou kontraindikáciou je i prvý trimester gravidity pre možnosť prehriatia plodu. V prvom trimestri je plod obklopený relatívne značným množstvom amniónovej tekutiny a nemá dostatočnú kapacitu na spracovanie vonkajšieho tepla.

Pomocou MR sa dajú zobrazit' všetky orgány ľudského tela, no predovšetkým CNS, svalovokostrový systém, abdominálne orgány a kardiovaskulárny systém. Výhodou MR je, že bez kontrastnej látky možno zobrazit' aj cievny systém (angioMR), extrahepatálne žľčovody, ductus pancreaticus (MRCP), ako aj odvodné močové cesty (uroMR). Suverénnou metódou sa vyšetrenie MR stalo pri dôkaze demyelinizačných ochorení mozgového parenchýmu, ako aj sclerosis multiplex, pričom demyelinizované ložiská majú v T₂-váženom obraze výrazný hyperintenzívny signál. MR sa využíva pri všetkých sporných tumoróznych afekciách na spresnenie diagnózy a pri zisťovaní predoperačného stavu.

Termografia

Princípom termografie je registrácia infračerveného žiarenia tepelných zmien vznikajúcich v patologicky postihnutej oblasti ľudského organizmu. Termografia registruje energiu elektromagnetického žiarenia vyžarovanú teplom pacienta. Toto žiarenie leží v infračervenej oblasti vlnovej dĺžky 0,8 – 10 μm a nie je viditeľné voľným okom. Spektrum infračerveného žiarenia závisí od teploty emitujúceho telesa a jeho okolia.

Filmové emulzie nie sú na infračervené svetlo citlivé, preto sa nedá priamo fotograficky zaznamenať.

Vyšetrenie sa vykonáva nepriamym (elektronickým) alebo priamym postupom. Pri nepriamom postupe sa žiarenie sníma špeciálnou kamerou s centrovacím systémom, detektorom a zariadením na spracovanie impulzov a tvorbu obrazového záznamu. Princípom priamej termografie je prevod neviditeľného infračerveného žiarenia na viditeľné pomocou kvapalných kryštálov. V medicíne sa najčastejšie využívajú kryštály cholesterolu.

Príprava pacienta na termografické vyšetrenie

Vyšetrovaný kožný povrch by mal byť minimálne 15 – 20 minút pred vyšetrením odhalený a zbavený sťahujúceho pôsobenia odevu (tlak vyvoláva hyperémiu). Rovnaký čas sa pacient aklimetizuje na prostredie, v ktorom sa vyšetrenie uskutoční, pričom zaujíma rovnakú polohu ako pri termografii. Aklimatizačný čas možno skrátiť tým, že sa vyšetrovaná oblasť potrie alkoholom. Vyšetrované miesto by sa nemalo palpovať, aby sa nevyvolala tkanivová hyperémia. Púder, oleje aj krémy sa musia z kože odstrániť. Pacienta treba psychicky upokojiť. Kožné zmeny ako bradavice, jazvy, hematómy a ulcerácie sa musia zaznamenať do protokolu. Vyšetrenie prsníkov sa odporúča uskutočniť 10 dní po menštruácii.

Vyšetrovacia miestnosť musí byť dostatočne veľká (približne 4 x 4 m), konštantne teplá (19 – 21 °C), bez denného slnečného svetla. V blízkosti vyšetrovaného nesmie byť vyhrievacie teleso. Počas termografie sa porovnávajú homológne orgány tela (napr. obidva prsníky, obidve končatiny).

Klinické indikácie na termografiu

Pre diagnózu patologického procesu je rozhodujúca veľkosť rozdielu jeho teploty a okolia, produkcia tepla ložiskom, rýchlosť jeho odvádzania, veľkosť a aktivita procesu, ako aj jeho uloženie a základná teplota kože. Hoci termografia nie je diagnosticky špecifická, môže poskytnúť cenné informácie o rozsahu a dynamike procesu. Rozdiely teplôt sa v zázname zobrazujú odstupňovanou sivou farbou. Chladné oblasti sú tmavšie, teplé sú svetlejšie alebo inak sfarbené. Povrchové žily majú vyššiu teplotu a ich konvolúty môžu napr. vo vonkajšom kvadrante prsníka imitovať patologické ložisko.

Teplota oboch polovic tela nie je úplne identická, rozdiely niekedy dosahujú až 1-2 °C. Najteplejší je trup a tvár, dolné končatiny sú chladnejšie. Teplejšie sú aj všetky kožné záhyby, napr. axily, ingvíny a oblasti pod prsníkmi. Termografia sa ako diagnostická metóda využíva pri kožných afekciách a chorobných stavoch v oblasti prsníkov i končatín.

4. Nukleárna medicína

Nukleárna medicína sa ako nový lekársky odbor vyvinula v 50. rokoch 20. storočia. Objavenie umelej rádioaktivity umožnilo prípravu umelých rádionuklidov a ich využitie zasa

vznik nových diagnostických a liečebných postupov. V humánnej medicíne sa využívajú rádioaktívne značkové látky, tzv. **rádiofarmaká**. Paralelne sa vyvíjala i osobitná prístrojová technika, používajúca počítače na objektívne posúdenie výsledkov pre diagnostiku a terapiu.

Prístrojová technika

Diagnóza ochorenia sa určuje na základe objektívneho merania rádioaktivity, a to **in vivo** alebo **in vitro** zisťovaním žiarenia emitovaného rádioaktívnou látkou. V nukleárnej medicíne patria medzi najrozšírenejšie **scintilačné detektory**. Prístroj sa skladá z luminisčenčného kryštálu, v ktorom nastáva premena absorbovaného ionizujúceho žiarenia na svetelný záblesk, ten sa mení na elektrické impulzy vo fotonásobiči. **Rádioaktivita** sa meria počtom impulzov za minútu. Treba však vedieť, že tento údaj je relatívny a nevypovedá o skutočnej hodnote rádioaktivity.

Rádioaktívne izotopy sa využívajú aj na vyšetovanie orgánov ľudského tela na princípe **emisie** rádioaktívneho žiarenia z rádiofarmaka, ktoré sa **kumuluje** vo vyšetovanom orgáne.

Táto zobracovacia metóda sa nazýva **gamagrafia**. Emitované rádioaktívne žiarenie sa zachytáva pomocou gamakamery, ktorá môže zobrazit' celé telo alebo jednotlivé orgány.

Rádiofarmaká

Rádiofarmaká sa od ostatných farmakologických prípravkov líšia tým, že vo svojich molekulách majú zabudovaný **rádioaktívny** atóm. Musia vyhovovať požiadavkám rádiochemickej čistoty, t. j. vo všetkých molekulách rádiofarmaka sa nachádzajú atómy daného rádioaktívneho prvku. Okrem toho musia spĺňať požiadavku rádionuklidovej čistoty, čo znamená, že do určitého rádiofarmaka je zabudovaný len jediný potrebný izotop daného prvku.

Pri používaní rádiofarmák v diagnostike sa musí dodržiavať primeraná a prípustná **radičná záťaž**. Rádiofarmaká sú **otvorené** žiariče nielen z radiohygienického, ale aj z biologického hľadiska. Po aplikácii do organizmu vstupujú do metabolických procesov a zabudovaný rádionuklid umožňuje ich sledovanie. Najčastejšie sa rádiofarmaká pripravujú tak, že niektorý ich atóm sa **vymení** za rádionuklid z inej zlúčeniny pomocou jednoduchého chemického procesu. Na zložitejšiu organickú látku sa rádioaktívny atóm naväzuje v určitom stupni jej **chemickej syntézy**, iné zložitejšie rádiofarmaká sa pripravujú pomocou **biosyntézy** (napr. vitamín B₁₂ značený rádioaktívnym kobaltom).

Rádiofarmaká nemožno dávkovať na základe ich hmotnosti. Prevažná časť je značená krátkodobými nuklidmi a ich dávka sa vyjadruje len v jednotkách rádioaktivity.

Diagnostické metódy

Spoločným **princípom** rádionuklidových metód je vpravenie vhodného rádiofarmaka do organizmu, ktoré je **substrátom** určitého metabolického procesu vo vyšetrovanom orgáne. Po podaní sa pravidelným **meraním** sleduje **in vivo** prechod rádiofarmaka daným orgánom, a to jeho rýchlosť, množstvo a časový priebeh jeho hromadenia, resp. vylučovania.

Medzi **typické** metódy diagnostiky patrí vyšetrenie funkcie **štítnej žľazy** meraním akumulácie rádioaktívneho jódu (¹³¹I), **obličiek** pomocou hipuranu značeného ¹³¹I, **pečene, kostnej drene, perfúzie a ventilácie pľúc**. Keď sa označená substancia selektívne hromadí v určitom orgáne, stáva sa tento orgán zdrojom žiarenia, najčastejšie gama, preto sa uvedená metóda nazýva **gamagrafia (scintigrafia)**. Na základe gamagramu vyšetrovaného orgánu možno určiť jeho veľkosť, tvar, uloženie a vnútornú štruktúru. Obraz je teda výsledkom schopnosti orgánu hromadiť rádioaktívnu substanciu, pričom táto jeho schopnosť je výsledkom jeho funkcie.

Ak sa v **gamagrame** zobrazia anomálne miesta, t. j. hromadí sa viac alebo menej rádiofarmaka, ide o prejav lokálne zmenenej funkcie. Na gamagrame štítnej žľazy sa horúce hyperfunkčné uzly zobrazujú výraznejšie ako okolité zdravé tkanivo a studené hypofunkčné uzly zasa naopak.

Pri určovaní **hormónov štítnej žľazy** je najdôležitejšie rádioimunologické vyšetrenie tyroxínu v sére (**T₄**), stanovuje trijódtyronínu (**T₃**) a koncentrácie tyrotropného hormónu (**TSH**). Takéto posúdenie žľazy je vhodné predovšetkým preto, že vyšetrovaný

neprihádza do kontaktu s rádioaktívnou látkou, lebo na vyšetrenie stačí odobrať **5 ml** krvi na získanie séra.

Pri vyšetovaní **pľúcnej perfúzie** sa podávajú intravenózne častice, pripravujú sa denaturáciou ľudského sérového albumínu teplom, ktorý je značený rádioaktívnym technéciom (^{99}Tc). Ich výhodou je, že **3 – 4** hodiny od podania sa v pľúcnom riečisku rozpadajú a vychytáva ich retikuloendotelový systém pečene. U dospelých patrí medzi indikácie na toto vyšetrenie embolizácia pľúcneho riečiska pri trombóze na dolných končatinách.

Vyšetrenie **pľúcnej ventilácie** je zložitejšie, pretože pacient musí vdychovať rádioaktívny plyn, najčastejšie xenón (^{133}Xe), a teda musí nevyhnutne spolupracovať. Po hlbokom nádychu zadrží dych na **10** sekúnd, počas ktorých sa vykoná prvý záznam. Xenón preniká do oblasti s narušenou ventiláciou pomalšie.

Stanovenie **životnosti červených krviniek** je indikované pri hemolytických anémiách, pri ktorých je čas ich prežitia skrátený. Na vyšetrenie sa používa rádiochróm (^{51}Cr) vo forme chrómanu sodného, ktorý sa pevne naviaže na erytrocyt. Prvá vzorka krvi sa odoberá po **24** hodinách a hodnota jej rádioaktivity sa pokladá za **100%**. Ďalšie odbery sa vykonávajú po **10 – 20** dňoch, pričom rádioaktivita klesá. U zdravých jedincov by sa hodnota rádioaktivity mala znížiť na **50% počas 28 – 32** dní, pri hemolytických anémiách sa tento čas výrazne skracuje.

Lokalizácia **nádorov skeletu** sa určuje pomocou osteotropného rádiofarmaka metyléndifosfátu, ktorý je značený $^{99\text{m}}\text{Tc}$. Hromadí sa po niekoľkých hodinách v skelete a jeho distribúciu možno zaznamenať gamagrafiou celého tela. Lokálna novotvorba sa pri osteogénnych nádoroch prejavuje atypickým rádioaktívnym ložiskom, ktoré je pozitívne následkom zvýšeného kostného metabolizmu. Gramaticky pozitívne sa zobrazujú aj sekundárne nádory (metastázy), čo je však spôsobené tým, že kostné tkanivo v ich blízkosti reaguje vyššou novotvorbou ako pri obrannej reakcii.

Terapeutické metódy

Pri **liečebnej aplikácii** rádiofarmák sa využíva terapeutický vplyv ionizujúceho žiarenia. Ide o **aktinoterapiu**, ktorá sa od klasických metód odlišuje tým, že rádionuklidy umožňujú i liečebné postupy nerealizované pomocou klasických zdrojov. V závislosti od spôsobu aplikácie sa **rooznávajú metabolické, intrakavitálne a povrchové metódy, ako aj telecurieterapia.**

Pri **metabolickej aplikácii** sa podáva rádioaktívny prípravok buď perorálne, alebo intravenózne. Prípravok podlieha metabolickým premenám a selektívne sa hromadí v orgáne, ktorý treba ožiarit'. Pri liečbe hyperfunkcií štítnej žľazy a pri jej diferencovaných nádoroch sa používa ^{131}I , pri polycythaemia vera aj ^{32}P .

Pri **intrakavitálnej aplikácii** sa používajú koloidné roztoky (napr. ^{198}Au alebo ^{90}Y), ktoré sa pri nádorových procesoch vstrekujú do veľkých telových dutín (peritoneálnej, resp. pleurálnej).

Základom **telecurieterapie** je ožarovanie ohraničenej oblasti. Prv sa používali tzv. rádiové bomby, skladali sa z oloveného puzdra, v strede ktorého bola uložená nálož rádia. Rádium vysielalo lúče gama, ktoré sa osobitným tubusom privádzali do ožarovanej oblasti.

V súčasnosti sa ako náplne využívajú rádioizotopy ^{60}Co a ^{137}Cs nazývané kobaltová, resp. céziová bomba.

Rádioterapia

Pri **liečebnej aplikácii** ionizujúceho žiarenia treba pamätať na to, že každá jeho dávka znamená pre organizmus **trvalú záťaž**, ktorá sa počas života kumuluje. Účinok žiarenia sa na živom tkanive **prejavuje reakciami**, ktoré vznikajú po jeho absorpcii. Spôsobujú jednak poškodenie a smrť nádorových i zdravých buniek, jednak vyvolávajú adaptačné a obranné mechanizmy. Na pochopenie terapeutického efektu je nevyhnutné poznať **rádiofyzikálne princípy**, aby sa mohla stanoviť **optimálna dávka** a jej rozloženie v cieľovej oblasti (v nádore aj v okolí zdravom tkanive). Pretože konečný klinický efekt nie je len faktorom lokálneho a časového rozloženia dávky, treba poznať i základy rádiobiológie, najmä rádiosenzitivity ožiarovaných tkanív a jej modifikácie. Dávka ionizujúceho žiarenia absorbovaná tkanivami účinkuje svojimi interakčnými mechanizmami na molekuly buniek priamo alebo nepriamo. Pri priamom účinku uvoľňujú ionizujúce častice chemické väzby a vyvolávajú rozpad danej makromolekuly. Nepriamym pôsobením nastáva rádiolýza vody a vznikajú agresívne radikály, ktoré poškodzujú bunku.

Rádiosenzitivita

Úspešná rádioterapia **malígnych nádorov** je často výsledkom odlišnej citlivosti na žiarenie čiže **rádiosenzitivity** malígnych buniek a buniek okolitého zdravého tkaniva, čo závisí od proliferačnej schopnosti bunky samej a proliferačnej kinetiky tkaniva. Bunky organizmu možno z hľadiska proliferácie rozdeliť do dvoch skupín, a to na:

bunky, ktoré sa v dospelom organizme nikdy nedelia (gangliové bunky, granulocyty, bunky priečne pruhovaného svalstva),

bunky, ktoré sa delia (bunky sliznice tenkého čreva, kmeňové bunky kostnej drene), ako aj tie, čo sú v pokojovej fáze, no podľa potreby sa môžu vrátiť do bunkového cyklu (napr. bunky periostu pri hojení zlomenín)

Rádiosenzitivita sa uvádza ako pomer medzi počtom postradiačne zničených buniek a množstvom aplikovanej dávky. Podľa zákona platí, že čím je bunka menej diferencovanejšia a čím je jej proliferačná kinetika vyššia, tým je citlivejšia na žiarenie. Toto pravidlo platí pre zdravé i nádorové bunky. Pri rádioterapii malígnych nádorov sú ciele rádiobiologického efektu v nádorovom tkanive na rozdiel od normálnych tkanív odlišné. Aplikácia nádorovej letálnej dávky vyžaduje maximálny účinok na nádor, ale minimálne poškodenie zdravého okolia. Ako funkcia dávky sa účinok žiarenia na obidva druhy tkanív znázorňuje esovitými krivkami. Vzďialenosťou obidvoch kriviek od seba sa vyjadruje tzv. rádioterapeutický pomer.

Rádioterapeutický pomer charakterizuje zhubné nádory podľa ich rádiosenzitivity. Vysoko rádiosenzitívne nádory sa prejavujú značným rozostúpením kriviek (napr. seminóm, lymfómy, nefroblastóm). Menšia vzdialenosť medzi krivkami je pri relatívne rádiosenzitívnych nádoroch (napr. melanóm, karcinóm krčka maternice). Keď sa krivka letálneho účinku na nádor nachádza až za krivkou tolerancie zdravých tkanív, ide o rádiorezistentné nádory (napr. fibrosarkóm, chondrosarkóm).

Ovplyvňovanie rádiosenzitivity

Rádiosenzitivitu tkanív môžu ovplyvniť nasledujúce faktory.

Zásobenie tkanív kyslíkom. Kyslík zvyšuje rádiosenzitivitu tkanív. Bunky dobre zásobené kyslíkom sú citlivejšie na žiarenie v porovnaní s menej zásobenými (hypoxickými). Bunky v centre nádorov nie sú vôbec zásobované kyslíkom, t.j. sú anoxické. Redukciou periférnej oblasti nádoru ožiarení sú lepšie vaskularizované centrálné časti, nastáva reoxygénácia a zvyšuje sa rádiosenzitivita. Pri rádioterapii zhubných nádorov sa pre posilňujúci efekt kyslíka využíva jeho vdychovanie v hyperbarickej komore.

Časový faktor. Rádioterapiu možno aplikovať jednorázovo, alebo sa celková dávka rozdelí na menšie do určitých intervalov (frakcionácia). Na dosiahnutie žiadúceho účinku je potrebná vyššia dávka, no zároveň nastáva reparácia subletálne poškodeného paratumorózneho tkaniva.

Chemické rádiosenzibilizátory sú látky, ktoré počas ožarovania zvyšujú rádiosenzibilitu tkaniva. Účinkujú aj na zdravé tkanivo, preto sú indikované najmä pri strednosenzitívnych alebo rádiorezistentných nádoroch. Delia sa do dvoch skupín: - chemické zlúčeniny bez protinádorového účinku, - rádiosenzitivne cytostatiká.

Do prvej skupiny patria látky, ktoré počas ožarovania oxidujú vzniknuté voľné radikály, a tak napodobňujú posilňujúci efekt kyslíka (metronidazol, mizonidazol). Druhú skupinu predstavuje chemoterapia, ktorá má v kombinácii s rádioterapiou antineoplastický efekt.

Rádiosenzitivita sa môže zvýšiť aditívnym pôsobením, pri ktorom je účinok cytostatík identický s radiačným poškodením tkanív (chloralkylamíny – rádiomimetika, onkologické antibiotiká – adriamycín, bleomycín).

Fyzikálne rádiosenzibilizátory. Hypertermiou sa pomocou špeciálnych prístrojov zahreje patologické tkanivo na **41 – 42°C**, čím sa zvýši rádiosenzibilizačný účinok, najmä na hypoxické bunky v slabo vaskularizovaných tkanivách. Hypotermia sa využíva na podchladenie tumoru a jeho okolia počas ožarovania; pôsobí ochranné, najmä na zníženie rádiosenzitivity okolia nádoru (paratumorózneho tkaniva).

Technika rádioterapie

Podľa lokalizácie, rozsahu ožarovaného tkaniva a podľa jeho rádiosenzitivity sa volí prenikavosť (kvalita) použitého žiarenia. Na základe týchto kritérií sa rozoznáva povrchová, polohĺbková, konvenčná hĺbková a vysoko voltová rádioterapia.

Pre **povrchovú rádioterapiu** je charakteristický vysoký dávkový príkon na povrch kože, resp. sliznice s výrazným obmedzením intenzity do hĺbky **1 – 1.5 cm**. Najviac sa využíva kontaktná röntgenoterapia, pričom vzdialenosť ohniska röntgentky od kože neprekračuje hodnotu **5 cm**. Indikáciou na liečbu sú niektoré nenádorové a nádorové lézie kože a povrchových slizníc (nádory kože, ústnej dutiny, vulvy a chronické ekzémy).

Polohĺbková rádioterapia sa vykonáva pomocou konvenčných röntgenových prístrojov do **100 keV** a elektrónového žiarenia z urýchľovačov (**6 – 20 MeV**). Medzi indikácie patria nenádorové ochorenia kože a adnexov (furunkuly, hidradenitídy a iné zápaly), ako aj bolestivé stavy pohybového systému (artrózy, periartritídy, tendovaginitídy), z malígnych len nádory lokalizované v oblasti kože alebo v jej blízkosti.

Konvenčná hĺbková rádioterapia sa vykonáva pomocou röntgenových prístrojov s výkonom **200 – 400 keV**. Vhodná je aj na ožarovanie hlbšie uložených nádorov. Pri ožarovaní sa používajú kompresívne tubusy, ktoré presne ohraničujú vstupné ožarovacie

pole, zabezpečujú konštantnú ohniskovú vzdialenosť a anemizujú kožu, čím ju chránia pred radiačným poškodením. I napriek tomu však vznikajú kožné radiačné reakcie, ktoré sú často limitujúcim faktorom aplikácie dostatočne vysokých dávok.

Vysokovoltová rádioterapia už takmer úplne nahradila konvenčnú rádioterapiu hlboko uložených tumorov. Využívajú sa všetky prístroje a žiariče s výkonom vyšším ako **1 MeV**. Patria sem kobaltové a céziové žiariče a prístroje na urýchľovanie častíc (betatrón a lineárny urýchľovač). Čím väčšia je priemerná energia žiarenia, tým hlbšie preniká pod ožarovaný povrch a tým väčšia je i hĺbková dávka.

Spôsoby ožarovania

Na základe vzájomnej polohy zdroja žiarenia a ožarovaného ložiska (nádoru) sa rozoznáva intersticiálna, intrakavitálna a transkutánná liečba.

Pri **intersticiálnej liečbe** sa zdroj žiarenia zavedie priamo do nádorového ložiska, najčastejšie punkciou. Rádioforý (žiariče) majú formu ihiel, ktoré sa zavedú do nádoru (^{226}Ra , ^{60}Co). Iným spôsobom je implantácia rádioaktívnych zŕn (^{298}Au) pomocou špeciálnej pištole. Táto metóda sa od predchádzajúcej líši tým, že rádioaktívne zná zostávajú v organizme až do vymiznutia rádioaktivity. Účinnou sa ukázala aj metóda prešívania rádioaktívnymi drôťmi. Používajú sa tantalové (^{182}Ta) alebo irídiové (^{192}Ir) vlákna, ktoré sa po skončení ožarovania odstránia. V poslednom čase sa využíva aj neutrónový zdroj – kalifornium (^{252}Cf). Indikáciou sú nádory na povrchu tela, karcinóm kože prsníka, pery, vulvy, jazyka a lymfatických uzlín. Ihly sa vpichujú do tumoru vo forme geometrických obrazov na obdobie **4- 10 dní**. Dávka v nádore predstavuje približne **70 – 90 Gy**.

Intrakavitálna liečba. Pri tejto metóde sa zdroj žiarenia zavedie do telovej dutiny do tesnej blízkosti nádorového ložiska. Veľké telové dutiny sú vystlaté seróznymi listami peritonea a pleury, ostatné sa radia k malým dutinám. V malých telových dutinách sa liečba vykonáva pomocou uzavretých žiaričov vo forme túb alebo iných rádioforov (perly). Medzi najvhodnejšie indikácie patria nádory ženských genitálií, paranazálnych a nosových dutín, vonkajších a vnútorných zvukovodov a ústnej dutiny. Celková dávka predstavuje **60- 80 Gy**. Liečba veľkých telových sa zakladá na vložení otvoreného rádioizotopu (najčastejšie koloidného roztoku ^{198}Au) do dutiny pleury či peritonea po punkcii hrudníka alebo abdomenu. Indikáciou na liečbu je tvorba výpotku pri nádorovom rozseve na peritoneu a pleure.

Pri **transkutánnej rádioterapii** je zdroj žiarenia vzdialený od tela pacienta, ide o tzv. telerádioterapiu. Vzdialenosť od kože predstavuje **80 – 100 cm**. Delí sa na statickú a pohybovú. **Statická rádioterapia** zahŕňa všetky techniky ožarovania, pri ktorých chorý ani zdroj nemenia svoju polohu. Ožarovanie sa realizuje pomocou jedného vstupného poľa, dvoch vstupných polí s klinovitým filtrom, pomocou štyroch polí (krížový oheň), ožarovania veľkých objemov (sektorové ožarovanie) a celotelového ožarovania, napr. pri transplantácii orgánov alebo akútnej leukémii s nasledujúcou dreňovou transplantáciou.

Pri **pohybovej rádioterapii** zostáva ložisko nádoru pod zväzkom žiarenia, kým vstupné polia na koži sa pravidelne striedajú, čo sa dosahuje pohybom zdroja okolo pacienta. Výhodou tejto techniky ožarovania je, že ňou možno dosiahnuť aplikáciu vysokej dávky do ložiska: zároveň šetrí okolité zdravé tkanivo, najmä kožu. Nevýhodou je väčšia ionizujúca záťaž pacienta a náročná technika ožarovania.

5. Bezpečnosť a ochrana zdravia na röntgenologických pracoviskách

Princípy ochrany zdravia

Svetová zdravotnícka organizácia (WHO) rozpracovala program týkajúci sa kvality rádiodiagnostických vyšetrení. Jeho cieľom je zlepšiť kvalitu zobrazenia, teda zvýšiť diagnostickú informáciu a obmedziť radiačnú záťaž pacienta, ale aj zdravotníckeho personálu na pracoviskách s ionizujúcim žiarením.

Ochrana zdravotníckeho personálu sa vo vyšetrovacích miestnostiach zameriava **predovšetkým na pracovníkov**, ktorí sa v nich zdržiavajú počas expozície pacienta. Hlavným zdrojom ionizujúceho zaťaženia je **rozptýlené Comptonovo žiarenie**, ktoré vzniká v ožiarenej časti tela pacienta. Veľkosť rozptýleného žiarenia je úmerná ožiarenej ploche tela pacienta, preto je dôležité, aby primárny zväzok röntgenového žiarenia dopadal len na určené miesto. Toto opatrenie obmedzuje nielen radiačnú záťaž pacienta, ale aj obsluhujúceho personálu.

Na ochranu personálu pred rozptýleným žiarením sa využívajú fyzikálne spôsoby, ochrana časom, vzdialenosťou a tienením. Veľmi účinný je spôsob ochrany vzdialenosťou, treba sa usilovať o čo najväčší odstup od pacienta, t. j. zdroja žiarenia, pretože dávka klesá so štvorcem vzdialenosti (zväčšenie vzdialenosti na dvojnásobok má za následok štvornásobné zníženie dávky).

Veľmi dôležité je používanie osobných ochranných pomôcok, ako sú zástery, rukavice, okuliare, resp. štíty a pod. K ochrane personálu prispievajú aj osobné dozimetre, dodržiavanie zásad programu kvality röntgenových vyšetrení a pravidelné vzdelávanie pracovníkov o účinkoch ionizujúceho žiarenia na organizmus a ochrane pred škodlivými vplyvmi.

Pre ochranu pacienta nejstávajú nijaké limity. Lekár by sa mal pri predpisovaní vyšetrenia ionizujúcim žiarením riadiť princípom jeho zdôvodnenia a optimalizácie. Pri röntgenovom vyšetrení by mal uvážiť, či má získaná informácia väčší význam pre pacienta ako prípadné škodlivé účinky žiarenia na jeho organizmus. Z hľadiska optimalizácie treba pamätať predovšetkým na čo najväčšie obmedzenie ožarovanej plochy tela tak, aby sa získal obraz vyšetrovaného orgánu či systému, no zároveň, aby sa zbytočne nezaťažovali ďalšie časti organizmu. Z toho pohľadu je dôležitá i správna voľba anódového napätia, teda tvrdosť použitého röntgenového žiarenia a jeho adekvátne filtrácia. Výrazné zníženie

dávky možno dosiahnuť použitím citlivejších filmov vhodných zosilňovacích fólií, ktoré umožňujú niekoľkonásobne skrátiť čas expozície, a tým znížiť ich dávku.

Nezanedbateľná je aj otázka spracovania filmov, ktoré nesmú byť ani nedostatočne vyvolané, ani vyvolávané dlhší čas, pretože sa tým zhoršuje kvalita snímky, čo má v konečnom dôsledku za následok opakovanú expozíciu, a teda aj zvýšenie dávky. V rámci ochrany pacienta pred radiáciou sa musia rádiosenzitívne orgány a tkanivá (štítna žľaza, testes a pod.) tieniť vhodnými ochrannými pomôckami. Hoci sa pri röntgenovom vyšetrení neuplatňuje princíp limitov, celosvetovo sú pre vyšetrenia, ktoré sa často opakujú, zavedené tzv. **smerné hodnoty**. Niektoré smerné hodnoty lekárskeho ožiarenia sú uvedené vo vyhláške **MZ SR č. 12/2001 Z. z.**

Klinické formy poškodenia žiarením

Výsledkom prípadného poškodenia organizmu žiarením môže byť akútna alebo chronická choroba z ožiarenia.

Akútna choroba z ožiarenia vzniká po jednorázovom ožiarení celého organizmu dávkou vyššou ako **1 Gy**.

Ochorenie má štyri štádia, a to prodromálne, latentné, manifestné a štádium rekonvalescencie. V prodromálnom štádiu sa zjavujú bolesti hlavy, nevoľnosť, nauzea, vracanie, pocit smädu, nechutenstvo a poruchy spánku. V latentnom štádiu prevažná časť týchto klinických príznakov vymizne. Počas manifestného štádia sa zvyšuje teplota a vzniká nekrotická angína s agranulocytózou. K hnisavým infekciám sa pripájajú profúzne hlienovité až krvavé hnačky, krvácania do mäkkých častí, kožný erytém, poruchy srdcového rytmu a precitlivenosť na hluk a svetlo. Pri vysokých supraletálnych dávkach zomiera pacient počas niekoľkých hodín na zlyhanie regulačných funkcií CNS. Pri letálnych dávkach sa v klinickom obraze vyskytujú predovšetkým poruchy GIT s letálnymi komplikáciami (perforácie, ileus). Subletálne dávky vyvolávajú poruchy hemopoézy. V štádiu rekonvalescencie sa postupne upravuje krvný obraz, poruchy GIT a homopoézy. Pretrvávajú môže leukopénia alebo trombocytopenia.

Akútna choroba z ožiarenia sa lieči substitučnou, kauzálnou a symptomatickou terapiou. Nahrádza sa predovšetkým úbytok tekutín a krvných elementov vo forme infúzných roztokov. Kauzálne sa podávajú antibiotiká, hemokoagulanciá a kortikoidy. Vykonávajú sa pokusy s transplantáciou kostnej drene. Symptomatická liečba je založená na hospitalizácii v tichom a tepelne stabilizovanom prostredí, podávaní antiemetík,

analgetík, trankvilizátorov a hypnotík, ako aj na aplikácii diéty bohatej na bielkoviny a vitamíny.

Chronická choroba z ožiarenia vzniká pri dlhodobom ožarovaní malými dávkami. Popri celkových príznakoch sa zjavujú i lokálne prejavy.

Pri tomto ochorení sa **rozlišujú tri** štádia. Štádium začiatočných zmien zahŕňa malátnosť, únavu, bolesti hlavy, podráždenosť, nechutenstvo a neschopnosť koncentrácie. V pokročilom štádiu sa pripájajú aj zmeny v krvnom obraze (anémia, leukopénia a trombocytopénia) a lokálne poškodenia kože s trofickými zmenami a nehojacimi sa vredmi.

V chronickom štádiu ochorenia sa vyskytujú trvalé zmeny (agranulocytóza alebo leukémia a karcinómy kože).

V prevencii je prvoradou podmienkou zachovávanie hygieny na rádiologickom pracovisku a dodržiavanie zásad minimálnych absorbovaných dávok, ktoré pri celotelovej expozícii nesmú prekročiť hodnotu **0,05 Sv / rok**. Pracovníci sa musia raz ročne podrobiť preventívnej zdravotnej prehliadke.

6. Literatúra

Blažek : Rádiologie a nukleární medicína. Avicenum, Praha 1989

Kvetina : Rádiofarmaká. Avicenum, Praha 1987

Zámečník : Radioterapie. Avicenum, Praha 1990

Vít Šajter a kol. : Biofyzika, biochemia a radiologie. Osveta, Martin 2002