

ZÁKLADY RADIOLOGIE A ZOBRAZOVACÍCH METOD

Hana Malíková a kolektiv

Základy radiologie a zobrazovacích metod

Hana Malíková a kolektiv

Recenzovaly:

doc. MUDr. Andrea Burgetová, Ph.D.

MUDr. Barbora Míková



**Národní
plán
obnovy**



**Financováno
Evropskou unií**
NextGenerationEU



Publikace byla vydána za podpory Ministerstva školství, mládeže
a tělovýchovy a Národního plánu obnovy v rámci projektu
Transformace pro VŠ na UK (reg. č. NPO_UK_MSMT-16602/2022).

Vydala Univerzita Karlova
Nakladatelství Karolinum
Praha 2022
Sazba DTP Nakladatelství Karolinum
Druhé, aktualizované vydání

© Univerzita Karlova, 2022
© Hana Malíková a kol., 2022

ISBN 978-80-246-5190-3
ISBN 978-80-246-5344-0 (pdf)



Univerzita Karlova
Nakladatelství Karolinum

www.karolinum.cz
ebooks@karolinum.cz

OBSAH

Úvod (<i>Hana Malíková</i>)	7
1. ZÁKLADY OBECNÉ RADIOLOGIE (<i>Hana Malíková, Jiří Weichet, Michal Holešta</i>).	9
1.1 Rentgenové záření	10
1.2 Rentgenový přístroj, princip skiografie, skiaskopie a digitální subtrakční angiografie	15
1.3 Základy výpočetní tomografie	20
1.4 Základy magnetické rezonance	25
1.5 Základy lékařského ultrazvuku	33
1.6 Základy intervenční radiologie	40
1.7 Hybridní metody	42
1.8 Kontrastní látky	43
2. ZÁKLADY SPECIÁLNÍ RADIOLOGIE	50
2.1 Základy zobrazování muskuloskeletálního aparátu (<i>Jiří Weichet</i>)	50
2.2 Základy zobrazování hrudníku (<i>Václav Janík, Hana Malíková, Michal Holešta</i>).	62
2.3 Základy vyšetření trávicího systému (<i>David Girsá</i>).	79
2.4 Úvod do uroradiologie (<i>David Girsá</i>)	94
2.5 Úvod do neuroradiologie (<i>Hana Malíková</i>)	101
2.6 Mamární diagnostika a screening rakoviny prsu (<i>Josef Bárta</i>)	114

ÚVOD

Zobrazovací metody jsou v současné době rozsáhlým oborem, který kromě vyšetření založených na aplikaci ionizujícího, rentgenového záření pracuje i s metodami, které jsou zcela bez radiační zátěže, jako je ultrazvuk a magnetická rezonance. Podkladem pro vlastní obor radiologie byl objev záření X Wilhelmem Konradem Roentgenem (1845–1923) dne 8. 11. 1895. Roentgen za svůj objev v roce 1901 získal Nobelovu cenu za fyziku. V prvních letech po tomto převratném objevu však nebylo vůbec jasné, jaké bude mít praktické využití. V USA vznikaly pojízdňé „X-rays“ laboratoře, které nabízely snímky kostry jako poutňovou atrakci. Brzy však našlo rentgenové záření široké uplatnění v medicíně.

V dnešní době jsou radiologie a zobrazovací metody oborem značně rozsáhlým, s řadou specializací a subspecializací. Diagnostická větev svou historii započala výše zmíněným objevem paprsků X a dnes se zabývá neinvazivní diagnostikou ve všech modalitách, od prostého snímku přes výpočetní tomografii a ultrazvuk až po magnetickou rezonanci. Kromě diagnostické větve se čím dál více profiluje větev invazivní a intervenční. Intervenční radiologie se již nezabývá pouze digitální subtrakční angiografií a terapeutickými postupy na ni navázanými, ale rozšířila se o celé spektrum nevaskulárních výkonů prováděných pod kontrolou některé z radiologických metod. Kromě toho se samostatně profiluje i radiologie dětských nemocí, pediatriká radiologie, počíná se formovat podobor zabývající se hybridními metodami a radiologie kardiovaskulární. Celé spektrum oboru je jednoznačně mimo možnost této publikace, která má sloužit studentům lékařských fakult pro základní orientaci v oboru. Učebnice svým rozsahem nedostačuje pro specializační a postgraduální vzdělávání v oboru radiologie a zobrazovací metody.

1 ZÁKLADY OBECNÉ RADIOLOGIE

Na prvním místě je třeba zmínit některé obecně platné principy v radiologii, které by měly být vodítkem každému klinickému lékaři.

Obecné zásady indikace a kontraindikace rentgenových vyšetření:

- Radiologická vyšetření pracující s rentgenovým zářením jsou možná výhradně na základě lékařské indikace (zákon č. 202/2017 Sb.).
- Indikující lékař vystaví žádanku na radiologické vyšetření, kde svůj požadavek definuje a zdůvodní a rovněž uvede potřebné klinické informace.
- Indikující lékař je povinen posoudit všechny informace o zdravotním stavu pacienta tak, aby zabránil zbytečnému ozáření.
- Indikaci musí schválit aplikující odborník (obvykle radiolog; v případě skiagramů radio-diagnostický asistent – vyjma dětských pacientů mladších 3 let a těhotných žen, u kterých musí být všechna radiologická vyšetření schválena lékařem-radiologem), který také odpovídá za posouzení klinické výtečnosti.
- Jedinou relativní kontraindikací je těhotenství, absolutní kontraindikace není.

Než vypíšete žádanku na vyšetření spojené s radiačním ozářením, odpovězte si na následující otázky:

- Je vyšetření opravdu třeba? Odpoví mi na klinickou otázku?
- Nemá toto vyšetření alternativu (zvláště pak jiné vyšetření bez ozáření pacienta)?
- Nebylo už provedeno jinde?
- Je vhodně načasované?
- Má radiolog k dispozici všechny relevantní informace?
- Vyšetření pouze k ověření diagnózy, která je již známá, by nemělo být indikováno.
- Máte pochyby? Konzultujte svého radiologa!

1.1 RENTGENOVÉ ZÁŘENÍ

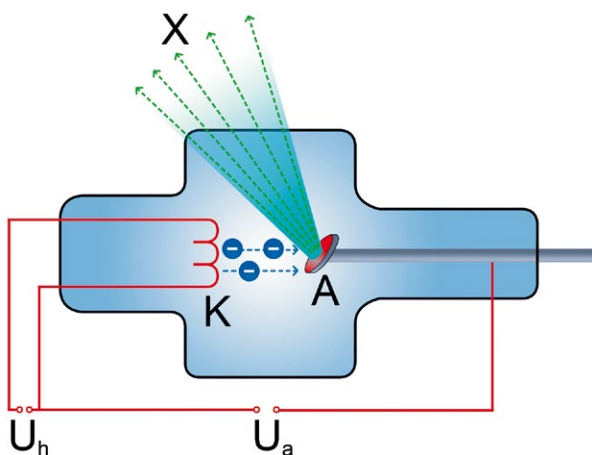
Vznik rentgenového záření, jeho účinky a ochrana před ním

Rentgenové (rtg) záření je elektromagnetické vlnění vlnových délek 10^{-8} – 10^{-12} m, které vzniká při interakci rychle letících elektronů s atomy kovů, kdy se jejich energie přemění na elektromagnetické záření. Mezi zobrazovací metody, které pracují s rentgenovým zářením, patří skiografie, skiaskopie, výpočetní tomografie (CT), digitální subtrakční angiografie (DSA), hybridní metody jako je PET/CT, SPECT/CT a kostní denzitometrie.

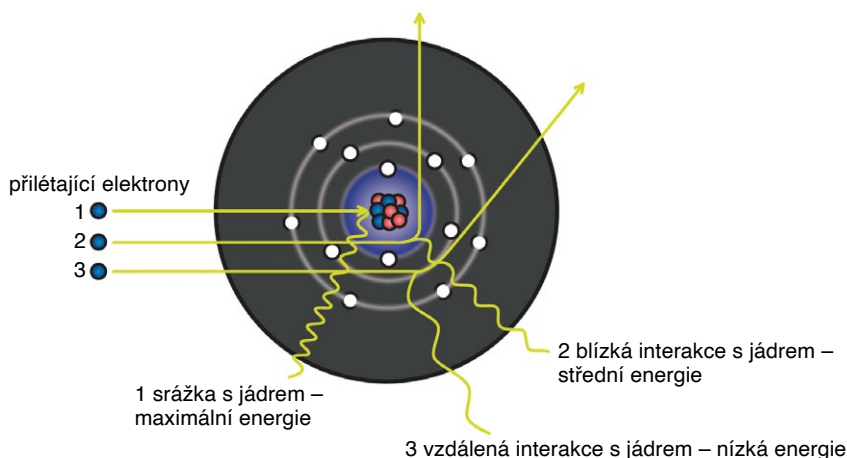
Vznik rentgenového záření

Zdrojem rentgenového záření jsou vakuované elektronky – rentgenky (obr. 1.1). Rentgenka je klasická dioda zapojená v obvodu s vysokým napětím cca 20–200 kV. Ze žhavené katody rentgenky jsou emitovány elektrony, které jsou urychlovány vysokým elektrickým napětím mezi katodou a anodou a dopadají na anodu, která je ve většině případů vyrobena z wolframu. Proud protékající katodou určuje množství emitovaných elektronů a tím i množství produkováného rentgenového záření (čím vyšší proud, tím více elektronů se z katody uvolní a tím více rentgenového záření vznikne). Na anodě elektrony pronikají vrstvami obalů atomů anody, interagují s nimi a tím ztrácejí svoji kinetickou energii, která se z velké většiny přemění na teplo, pouze asi 1 % jejich energie se přemění na rentgenové záření. Toto záření je dvojího druhu: brzdné a charakteristické.

Brzdné záření (obr. 1.2) vzniká interakcí přilétajícího elektronu s jádrem atomu materiálu anody (většinou vyrobené z wolframu). Kladně nabitě jádro přitahuje elektron, který změni směr letu a zpomalí. Rozdíl kinetické energie je vyzářen ve formě fotonu rtg záření o určité vlnové délce (vlnová délka fotonu je nepřímo úměrná jeho energii, čím kratší je vlnová délka, tím vyšší je vyzářená energie). Vlnová délka, tj. energie vyzářeného fotonu rtg záření, závisí



Obr. 1.1 Schéma jednoduché vodou chlazené rentgenky: K – katoda; A – anoda; U_h – žhavicí katodové napětí; U_a – anodové napětí; X – emitované rentgenové záření.

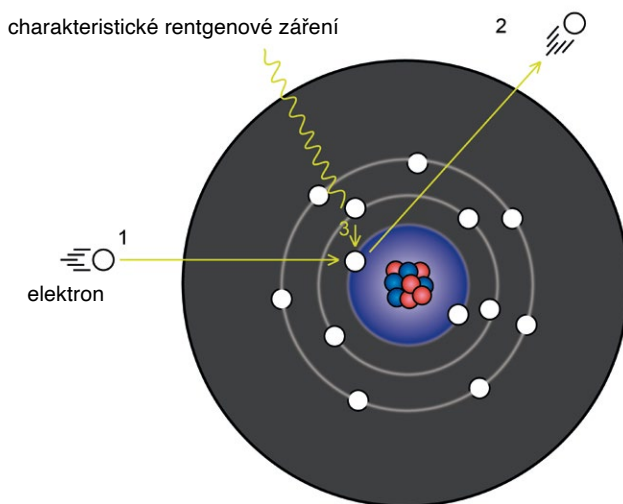


Obr. 1.2 Schematické znázornění vzniku brzdného záření.

na rychlosti dopadajících elektronů, jež je přímo úměrná napětí mezi katodou a anodou; nastavením tohoto napětí tak určujeme tvrdost, penetraci rentgenového záření (čím vyšší anodové napětí, tím tvrdší – pronikavější rentgenové záření). Zároveň energie, vlnová délka vyzářeného fotonu, závisí i na vzdálenosti průletu elektronu od jádra, která je proměnná (čím blíže k jádru elektron proletí, tím více je zabrzděn a tím více energie je předáno vyzářenému fotonu).

Maximální energii vyzářený foton získá při srážce letícího elektronu s jádrem (tj. zabrzdění na nulovou rychlost). Energetické spektrum brzdného záření je tak spojité.

Charakteristické záření (obr. 1.3) vzniká při srážce letícího elektronu s elektronem z obalu atomu na anodě. Interakcí je původní elektron z obalu vyražen, vznikne „díra“, která



Obr. 1.3 Schematické znázornění vzniku charakteristického záření.

je zaplněna elektronem jedné z hladin vzdálenějších od jádra, přičemž se vyzáří foton charakteristického rentgenového záření. Jeho energie je dána rozdílem energií jednotlivých hladin, mezi kterými došlo k přesunu elektronu. Rozdíl energií mezi jednotlivými energetickými hladinami je u daného materiálu stále stejný, je pro něj charakteristický. Čím vyšší protonové číslo anody, tím vyšší energie charakteristického záření. Energetické spektrum charakteristického záření je čárové a závisí na materiálu, ze kterého je vyrobeno ohnisko anody.

Vlastnosti rentgenového záření

Penetrace – znamená pronikavost rentgenového záření: čím je záření „tvrdší“, tj. energeticky bohatší, tím vyšší má penetraci. S touto vlastností souvisí **absorpce** tkáněmi, tedy schopnost různých látek pohlcovat rentgenové paprsky. Tato schopnost závisí především na protonovém čísle prvků absorbující tkáň a tloušťce objektu. Kostí absorbují výrazně, plíce minimálně.

Fotochemické účinky – rentgenové záření způsobuje zčernání fotografického filmu.

Luminiscenční účinky – při dopadu rentgenového záření na některé materiály (luminy) vzniká viditelné záření.

Přímočaré šíření ze zdroje – rentgenové záření se šíří do prostoru na všechny strany a jeho intenzita ubývá se čtvercem vzdálenosti.

Rozptyl záření – při interakci fotonu s hmotou (elektronem) dochází k vychýlení paprsku a snížení jeho energie (zvětší se vlnová délka). Z hlediska diagnostiky je to negativní vlastnost, snižuje kontrast na snímku.

Biologické účinky – rentgenové záření může svými ionizačními účinky poškodit tkáň živých organismů.

Biologické účinky rentgenového záření

Absorpce energie ionizujícího záření má kvantový charakter, energie záření je předávána elektronům v obalech atomů a molekul ozařované hmoty či tkáni, kde dochází k excitacím a ionizacím atomů (vyrazení elektronu z obalu atomu). Radiolýzou vody zde vznikají vysoce reaktivní produkty jako např. hydroxylový radikál OH^- , vodíkový radikál H^+ , peroxid vodíku H_2O_2 . Každá biologická tkáň je jinak senzitivní k ionizujícímu záření, nejsenzitivnější jsou tkáně s velkou proliferační aktivitou, tj. kostní dřev, výstelka střev a kůže. Poškození tkáně závisí na dávce záření a na radiosenzitivitě tkáně.

Biologické účinky rentgenového záření lze dělit na deterministické a stochastické. Účinky **deterministické** se projevují na úrovni tkání, mají určitý práh a závisí na absorbované dávce (vyjadřují se v grayích – Gy); pokud je dosaženo prahové hodnoty, pak se vždycky projeví. Účinky **stochastické** spočívají v indukci mutací v jádrech buněk, jsou bezprahové a pravděpodobnost jejich výskytu roste s efektivní dávkou (vyjadřují se v sieverttech – Sv). Nedá se tedy říct, že vůbec nezávisí na dávce. Pro lepší pochopení věnujte pozornost rovněž níže přiloženým grafům (obr. 1.4).

Klinicky dělíme biologické účinky na **časné** a **pozdní**. Z tohoto důvodu je třeba každé ozáření dobře zvážit a použít co nejnižší dávku záření dostačující pro kvalitní zobrazení – princip ALARA (as low as reasonably achievable). Efektivní dávka v radiodiagnostice se udává v milisieverttech (mSv). Pro představu – prostý snímek hrudníku se pohybuje okolo