

UČEBNÍ TEXTY  
UNIVERZITY KARLOVY

# ZÁKLADY RADIOLOGIE A ZOBRAZOVACÍCH METOD

**Hana Malíková  
a kolektiv**

**KAROLINUM**

# ZÁKLADY RADIOLOGIE A ZOBRAZOVACÍCH METOD

**Hana Malíková a kolektiv**

---

Recenzovaly:

doc. MUDr. Andrea Burgetová, Ph.D.

MUDr. Barbora Míková

Autoři:

Josef Bárta

Miroslava Burghardtová

David Girsá

Monika Grilli Wagnerová

Michal Holešta

Václav Janík

Hana Malíková

Jan Šprindrich

Jiří Weichet

Vydala Univerzita Karlova

Nakladatelství Karolinum

jako učební text pro 3. LF UK

Sazba DTP Nakladatelství Karolinum

Vydání první

© Univerzita Karlova, 2019

© Hana Malíková a kol., 2019

ISBN 978-80-246-4036-5

ISBN 978-80-246-4100-3 (pdf)



Univerzita Karlova  
Nakladatelství Karolinum 2019

[www.karolinum.cz](http://www.karolinum.cz)  
[ebooks@karolinum.cz](mailto:ebooks@karolinum.cz)



# OBSAH

<b>Úvod</b> ( <i>Hana Malíková</i> ) .....	6
<b>1. ZÁKLADY OBECNÉ RADIOLOGIE</b>	
( <i>Hana Malíková, Jiří Weichet, Michal Holešta</i> ) .....	7
1.1 Rentgenové záření .....	8
1.2 Rentgenový přístroj, princip skiografie, skiaskopie a digitální subtrakční angiografie .....	15
1.3 Základy výpočetní tomografie (CT) .....	21
1.4 Základy magnetické rezonance .....	28
1.5 Základy lékařského ultrazvuku .....	40
1.6 Základy intervenční radiologie .....	49
1.7 Hybridní metody .....	53
1.8 Kontrastní látky .....	54
<b>2. ZÁKLADY SPECIÁLNÍ RADIOLOGIE</b> .....	64
2.1 Základy zobrazování v osteologii ( <i>Jan Šprindrich</i> ) .....	64
2.2 Základy zobrazování hrudníku ( <i>Václav Janík, Hana Malíková, Michal Holešta</i> ) .....	78
2.3 Základy vyšetření trávicího systému ( <i>David Girska</i> ) .....	103
2.4 Úvod do uroradiologie ( <i>Monika Grilli Wagnerová, David Girska</i> ) .....	124
2.5 Úvod do neuroradiologie ( <i>Hana Malíková</i> ) .....	133
2.6 Mamární diagnostika a screening rakoviny prsu ( <i>Josef Bárta</i> ) .....	149
<b>Obrazová dokumentace</b> ( <i>Miroslava Burghardtová, Ferko Kusy a kol.</i> )	

# 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 nebylo vůbec jasné, jaké bude mít praktické využití. V USA vznikaly pojezdové X-rays laboratoře, které nabízely snímky kostry jako pouťovou atrakci. Brzy však našlo rentgenové záření široké uplatnění v medicíně.

V dnešní době je Radiologie a zobrazovací metody oborem značně rozsáhlým se řadou specializací a subspecializací. Diagnostická větev svou historii započala výše zmíněným objevem paprsků X a dnes se zabývá neinvazivní diagnostikou ve všech modalitách, prostým snímkem počínaje, přes výpočetní tomografii (CT), ultrazvuk (UZ) až magnetickou rezonancí (MR) konče. Kromě diagnostické větve se čím dál více profiluje větev invazivní a intervenční. Intervenční radiologie se zdaleka již nezabývá pouze digitální subtrakční angiografií (DSA) a terapeutickými postupy na ni navázanými, ale rozšířila se o celé spektrum nevasculárních výkonů prováděných pod kontrolou některé z radiologických metod. Krom toho se samostatně profiluje i radiologie dětských nemocí (Pediatrická radiologie) a počíná se formovat subobor zabývající se hybridními metodami a radiologie kardiovaskulární. Celé spektrum oboru je jednoznačně mimo možnost této publikace, která má sloužit studentům lékařských fakult v základní orientaci v oboru. Naopak publikace je svým rozsahem nedostačující pro 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 202/2017 Sb.).
- Indikující lékař vystaví žádanku na radiologické vyšetření, kde svůj požadavek definuje a zdůvodní, 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 radiodiagnostický 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 výtěžnosti.
- Jedinou relativní kontraindikací je těhotenství, absolutní kontraindikace není.

**Než vyplíšete žádanku na vyšetření spojené s radiačním ozářením, odpovězte si na následující otázky!**

- Je vyšetření opravdu třeba?
- Nemá alternativu (zvláště pak jiné vyšetření bez ozáření pacienta)?
- Nebylo už provedeno jinde?
- Je vhodně načasované?
- Má radiolog k dispozici všechny relevantní informace?
- Při pochybách konzultujte radiologa!

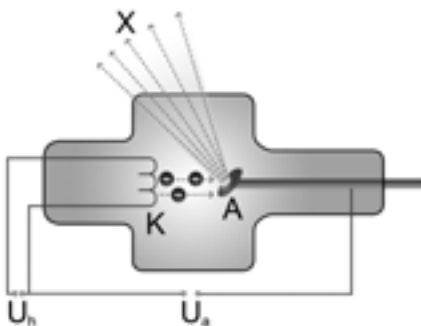
## 1.1 Rentgenové záření

### 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 kovu, kdy se jejich energie přemění na elektromagnetické záření. Mezi zobrazovací metody, které pracují s RTG zářením, patří skiografie, skiaskopie, výpočetní tomografie (CT), digitální subtrakční angiografie (DSA), hybridní metody jako je PET (SPECT)/CT a kostní denzitometrie.

### Vznik RTG záření

Zdrojem RTG záření jsou vakuované elektronky – rentgenky (**obr. 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 produkovaného RTG záření (čím vyšší proud, tím více elektronů se z katody uvolní a tím více RTG záření vznikne). Na anodě elektrony pronikají vrstvami obalů atomů anody, interagují s nimi a ztrácejí tím svoji kinetickou energii, která se z velké většiny přemění na teplo, pouze asi **1 % jejich energie se přemění na RTG záření**. Toto záření je dvojího druhu: **brzdné a charakteristické**.



**Obr. 1:** Schéma jednoduché vodou chlazené rentgenky

K – katoda; A – anoda;  $U_h$  – žhavicí katodové napětí;  $U_a$  – anodové napětí; X – emitované RTG záření.



**Brzdné záření (obr. 2)** vzniká interakcí přilétajícího elektronu s jádrem atomu materiálu anody (většinou vyrobené z wolframu). Kladně nabitě jádro přitahuje elektron, který změní 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 je kratší vlnová délka tím vyšší energie). Vlnová délka, tj. energie vyzářeného fotonu RTG záření závisí na rychlosti dopadajících elektronů, která je přímo úměrná napětí mezi katodou a anodou a nastavením tohoto napětí tak určujeme tvrdost, penetraci rentgenového záření (čím vyšší anodové napětí, tím tvrdší – pronikavější RTG 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).

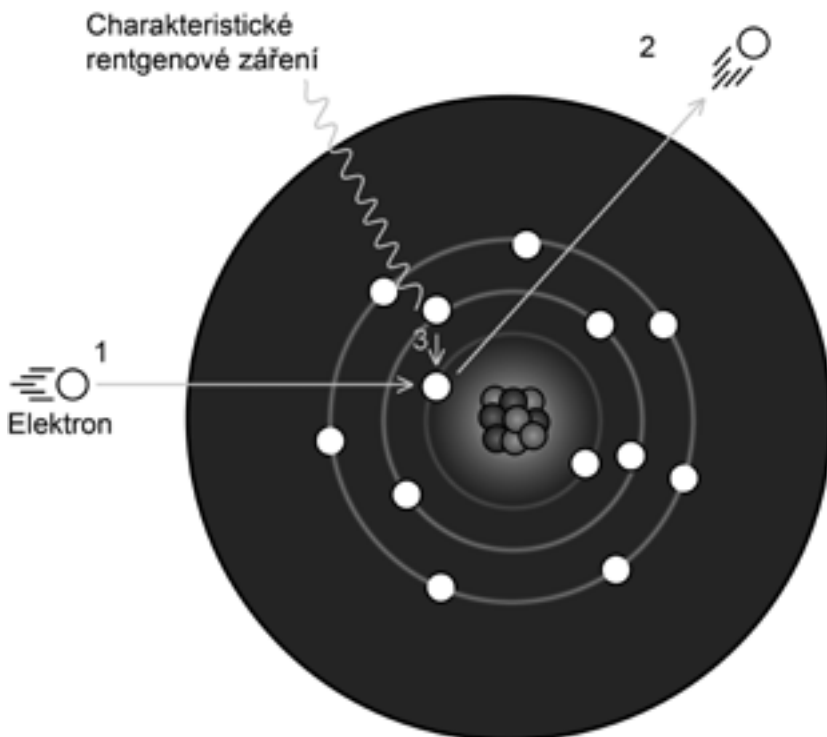


**Obr. 2:** Schematické znázornění vzniku brzdného záření

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. 3)** vzniká při srážce letícího elektronu s elektronem z obalu atomu na anodě. Interakcí je původní elektron z obalu

vyražen, vznikne „díra“, která je zaplněna elektronem jedné z hladin vzdálenějších od jádra, přičemž se vyzáří foton charakteristického RTG 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, 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.**



**Obr. 3:** Schematické znázornění vzniku charakteristického záření

### Vlastnosti RTG záření

**Penetrace:** penetrace znamená pronikavost RTG 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 vlastnost závisí především na **protonovém čísle** prvků absorbující tkáň a tloušťce objektu. Kostí absorbují výrazně, plíce minimálně.

**Fotochemické účinky:** RTG záření způsobuje zčernání fotografického filmu.

**Luminiscenční účinky:** při dopadu RTG záření na některé materiály – luminofory – vzniká viditelné záření.

**Přímočaré šíření ze zdroje:** RTG záření se šíří do prostoru na všechny strany a jeho **intenzita ubývá se čtvercem vzdálenosti**.

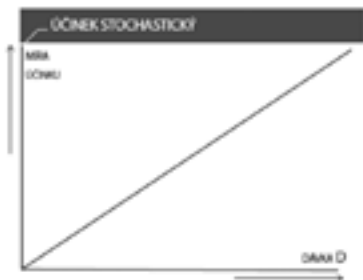
**Rozptyl záření:** při interakci fotonu s hmotou (elektronem) dochází k vychýlení paprsku a snížení jeho energie (zvětší se vlnová délka). Jde o negativní vlastnost pro diagnostiku, snižuje kontrast na snímku.

**Biologické účinky:** RTG 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 tkáň, kde dochází k excitacím a ionizacím atomů (vyrazení elektronu z obalu atomu). Radiolýzou vody zde vznikají vysoce reaktivní produkty jako např. hydroxylový radikál  $\text{OH}^-$ , vodíkový radikál  $\text{H}^+$ , peroxid vodíku  $\text{H}_2\text{O}_2$ . Každá biologická tkáň je jinak senzitivní k ionizujícímu záření, nejsenzitivnější jsou tkáň s velkou proliferační aktivitou, tj. kostní dřev, výstelka střev a kůže. Poškození tkáň závisí na dávce a na radiosenzitivitě tkáň. Biologické účinky rentgenového záření lze dělit na **deterministické** a **stochastické**. Účinky **deterministické se projevují na úrovni tkání**, mají určitý **prah** a závisí na absorbované dávce (vyjadřují se v Gy). Účinky **stochastické** spočívají v indukci mutací v **jádrech buněk**, **jsou bezprahové** a pravděpodobnost jejich výskytu roste s efektivní dávkou (vyjadřují se v Sv). Nedá se tedy říct, že zcela nezávisí na dávce. Pro lepší pochopení věnujte pozornost rovněž níže přiloženým grafům (**obr. 4** a **obr. 5**). Klinicky dělíme biologické účinky na časně 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 Reasonable Achievable)**. Efektivní dávka v radiodiagnostice se udává v milisievertch (mSv). Pro představu, prostý snímek hrudníku se pohybuje okolo 0,02–0,05 mSv, snímek páteře 1–2 mSv. Z přírodních zdrojů

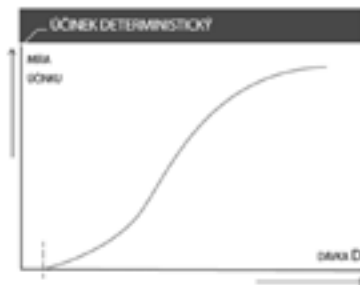
je přítom člověk v České republice ozářen dávkou zhruba 3 mSv/rok. V **obr. 6** najdete rovněž příklady některých expozičních limitů platných v ČR. **Tab. 1** přináší přehled rizika radiační zátěže na lidský plod během těhotenství.



ÚČINEK JE BEZPRAHOVÝ  
PRŮBĚH JE LINEÁRNÍ

- genetické účinky
- karcinogeneze

**Obr. 4:** Graf stochastického biologického účinku ionizujícího záření



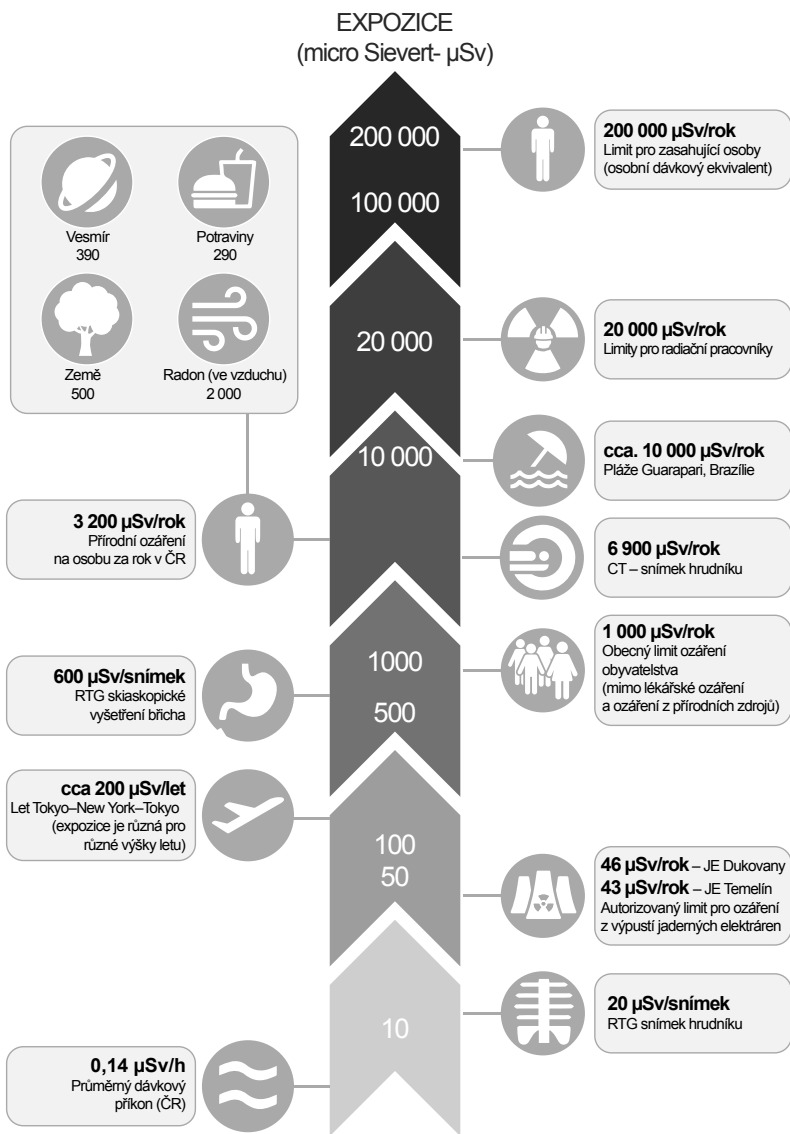
ÚČINEK MÁ PRAH  
PRŮBĚH JE NELINEÁRNÍ

- poškození tkání
- nemoc z ozáření

**Obr. 5:** Graf deterministického biologického účinku ionizujícího záření

**Tab. 1:** Rizika radiační zátěže na lidský plod během těhotenství

Týden gravidity	Možný typ poruchy	Přirozený výskyt	Zvýšení rizika – dávka 100 mSv	Zvýšení rizika – dávka 1 mSv
0–2	spontánní potrat	25–50 %	0.50 %	zanedbatelné (menší než 1 : 100 000)
4–10	růstová retardace	5 %	0.01 %	není
8–25	mentální retardace	5 %	0.01 %	není
3–13	karcinogeneze leukemie	0.05 %	0.02 %	zanedbatelné
13–40	karcinogeneze leukemie	0.05 %	0.02 %	zanedbatelné
8–40	redukce IQ	1 %	0.01 %	není



**Obr. 6:** Ikonogram příkladů některých expozic ionizujícího záření včetně limitů platných v ČR

## **Příklady biologických účinků ionizujícího záření z praxe**

### **Deterministické účinky**

Smrt či akutní nemoc z ozáření (katastrofy jaderných elektráren jako Černobyl, Fukushima). Postiradiační chronická dermatitida rukou „starých“ radiologů, kteří si při skiaskopických a angiografických vyšetřeních nechránili ruce. Postiradiační kolitida u pacientů podstupujících radioterapii v oblasti břicha (léčba karcinomu prostaty). Postiradiační tuková degenerace kostní dřevě je běžně patrná u pacientů po radioterapii v dané oblasti.

### **Stochastické účinky**

Genetické mutace zvířat v oblasti Černobylu, v lesích okolo Černobylu žijí těžce mutovaná zvířata. Leukemie, karcinogeneze u obyvatel přeživších jaderné katastrofy.

### **Ochrana před ionizačním zářením**

Vlastní ochrana před ionizujícím zářením začíná již v momentě indikace radiologického vyšetření. Každý indikující lékař by měl pečlivě zvážit, zdali je radiologické vyšetření nutné ke stanovení diagnózy, co mu přinese a zdali by ke stejnému výsledku nemohl dospět jinými metodami, které s ionizujícím zářením nepracují. Dle národních radiologických standardů jakékoliv lékařské ozáření u dětí mladších 3 let a u těhotných žen musí schválit lékař radiolog a stejně tak musí schválit i každé CT, skiaskopické a angiografické vyšetření.

Radiologické přístroje jsou konstruovány tak, aby paprsek rentgenového záření byl maximálně možným způsobem kolimován a docházelo k minimálnímu vzniku sekundárního záření. Na každém pracovišti jsou vypracovány expoziční tabulky pro skiagrafická vyšetření a při všech rentgenových vyšetřeních se používají clony k vymezení primárního svazku záření paprsku (blíže bude osvětleno v kapitole 1.2), což výrazně přispívá k redukci dávky podobně jako práce s expoziční automatikou.

CT přístroje mají rovněž přednastavené protokoly s maximální snahou o redukci dávky a je rovněž možné využívat v některých případech nízkodávkové (low dose) CT. Nové typy sofistikovaných iterativních rekonstrukcí CT obrazů z nasnímaných dat redukuje šum v obrazu a umožňují tak vyšetřovat s nižší dávkou.

Na radiologických odděleních jsou rovněž povinné speciální stavební úpravy, které vycházejí ze zákonných norem, jako např. barytové omítky, olověná skla a dveře. Jsou vymezena sledovaná a kontrolovaná pásma, kde je zvláštní režim s monitorací všech osob vstupujících do místa, kde hrozí ozáření. Radiologičtí pracovníci jsou povinni nosit osobní dozimetry k monitoraci obdržené dávky, chránit se olověnými zástěrami a nákrčníky v případě, že pracují přímo v místnosti, kde dochází k produkci ionizujícího záření (skiaskopie a skiografie, DSA). Pokud se jejich ruce dostávají do blízkosti primárního rentgenového svazku, pak je monitorována i dávka obdržená na ruce prstovým (prstýnkovým) dozimetrem.

## 1.2 Rentgenový přístroj, princip skiografie, skiaskopie a digitální subtrakční angiografie

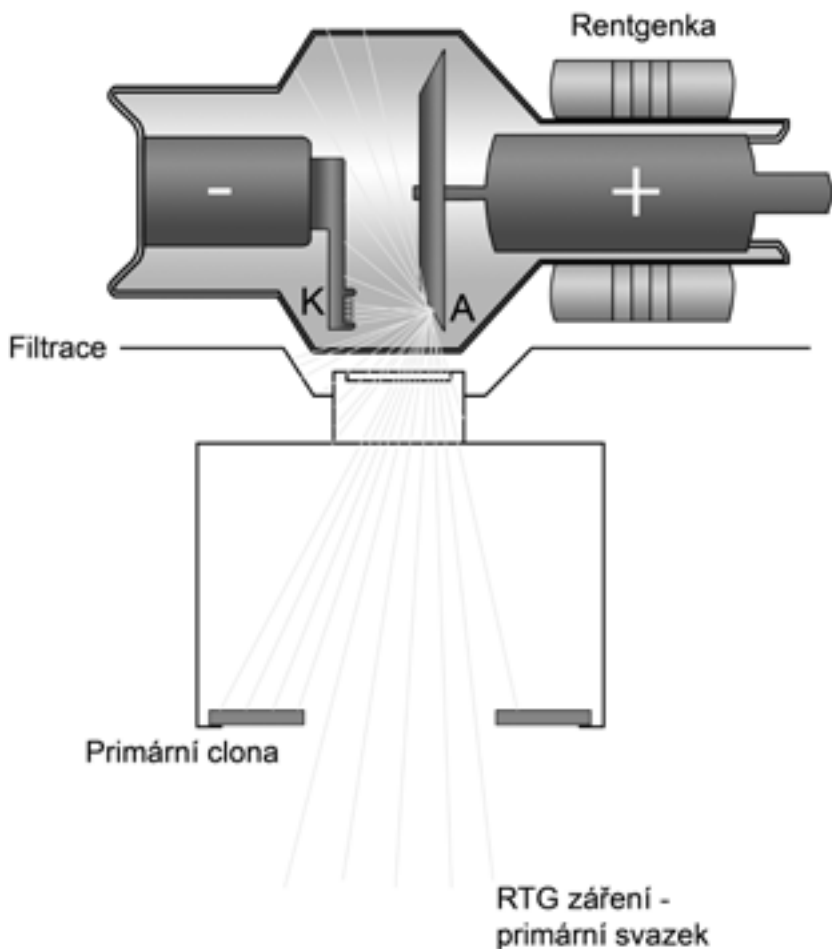
### Konstrukce rentgenového přístroje

Rentgenové přístroje se skládají z následujících součástí (**obr. 7**):

- rentgenka,
- systém filtrace (filtr),
- kolimační systém – primární clony,
- světelný lokalizační systém,
- sekundární clona (mřížka),
- receptor obrazu (film, detektor).

Filtry slouží k odfiltrování měkkého RTG záření (záření delších vlnových délek) od tvrdšího záření s penetrací potřebnou pro vlastní snímkování. Měkké záření způsobuje nežádoucí radiační zátěž pacienta. Filtry se vyrábějí z hliníku, mědi, cínu, berylia, molybdenu, wolframu atd. Primární clony určí, na jak velký prostor má svazek RTG záření dopadat. Jsou uloženy mezi pacientem a rentgenkou. Sekundární clona (mřížka) eliminuje sekundární záření (rozptýlené záření vznikající ve vyšetřovaném těle rozptylem), je umístěna mezi pacientem a detektorem. K detekci RTG záření se dnes již nepoužívají filmy, snímky se zhotovují digitálně, a to nepřímou či přímou digitalizací.

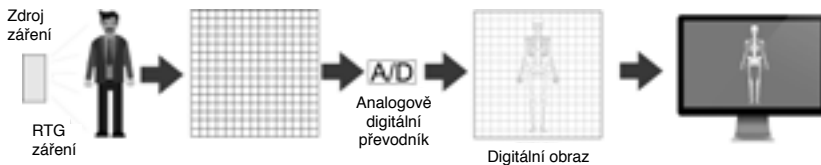
**Přímá digitalizace (digital radiography – DR)** je založená na principu přímého převodu RTG záření na digitální signál v plochem detektoru (flat panel). Odpadá manipulace s kazetami a fóliemi (**obr. 8**).



**Obr. 7:** Zjednodušené schéma rentgenového přístroje (K – katoda; A – anoda)

Při **nepřímé digitalizaci (computed radiography – CR)** RTG záření dopadá na kazetu s paměťovou fólií s citlivou vrstvou obsahující luminofor, která je stimulována v závislosti na množství dopadajícího záření. Tato obrazová informace je dekodována „čtecím zařízením – CR čtečka“, do které je třeba snímkanou kazetu manuálně založit. Ve čtečce je paměťová fólie skenována laserem, množství uvolněné energie v každém místě





**Obr. 8:** Princip přímé digitalizace

fólie je registrováno a převedeno do výsledné podoby digitálního obrázku. Latentní obraz na paměťové fólii je poté laserem vymazán a kazeta je připravena pro opětovné použití (**obr. 9**).



**Obr. 9:** Princip nepřímé digitalizace

## Skiografie

Je nazývána laicky „snímkováním“ či „radiografií“. Jde o pořizování stacionárních RTG snímků přímou nebo nepřímou digitalizací. Pořizovat lze snímky nejen stabilními RTG přístroji na vyšetřovných, ale rovněž mobilními RTG přístroji na lůžku pacienta (např. na jednotkách intenzivní péče apod.).

## Skiaskopie

Laicky rovněž „pozorování ze štítu“ nebo „prosvěcování“ popřípadě „fluorskopie“. Je dynamické kontinuální pozorování rentgenového obrazu. Skiaskopie využívá efektu fluorescence. Záření dopadá na fluorescenční štít. Z důvodu špatného rozlišení se používají zesilovače štítového obrazu, které umožňují pozorovat obraz i za normálních světelných podmínek. Obraz je snímán kamerou a přenášen na obrazovku. Moderní skiaskopické přístroje používají již i přímé digitální detektory stejné jako při skiografii technikou přímé digitalizace (DR). Skiaskopie se používá na zobrazení dynamických jevů, jako jsou zachycení polykacího aktu, pasáže tenkým střevem, zobrazení píštělí, vyšetření cév, kontrola léčebných

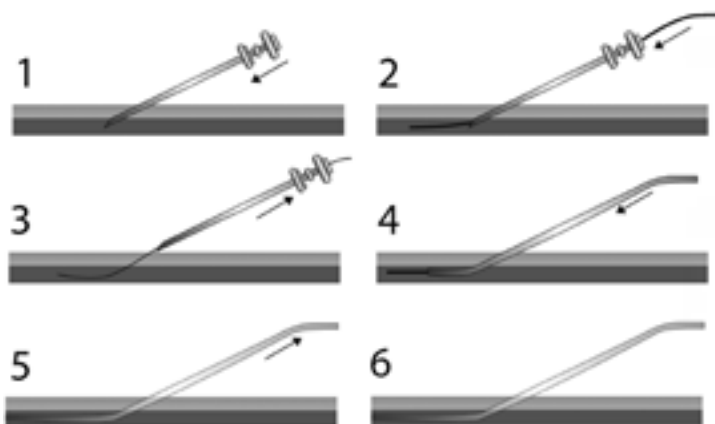
postupů – drenáží, biopsií, peroperační a pooperační kontrola ortopedických, neurochirurgických, kardiologických výkonů atd.

### **Digitální subtrakční angiografie (DSA)**

Angiografie v obecném slova smyslu znamená zobrazení cév. Výraz subtrakce je používán ve smyslu odečtení jednoho obrazu od jiného. V případě DSA jde o odečtení nativního snímku určité oblasti (masky) od kontrastního vyšetření téže oblasti při nástřiku cévních struktur. Výsledný obraz zobrazuje pouze cévní struktury bez rušivého vjemu skeletu, měkkých tkání atd. DSA je tedy invazivní metoda, při níž dochází ke katetrizaci cévního řečiště a katérem je aplikována kontrastní látka, která zobrazí cílené cévní struktury, od jejichž obrazu je pak digitálně odečteno nativní vyšetření. Jediná angiografie, která není zhotovována jako DSA je selektivní koronarografie, a to z důvodu neustále se pohybujícího srdce, které znemožňuje zhotovení stacionární masky. DSA je invazivní skiaskopické vyšetření, které se provádí na angiografické vyšetřovně, která splňuje hygienické požadavky srovnatelné se zákrovým sálem a je vybavena speciálním angiografickým kompletem, který umožňuje skiaskopickou kontrolu prováděného výkonu (punkce cévy, poloha vodiče a katétrů atd.) a umožňuje dynamické snímkování. Součástí angiografického kompletu je volně pohyblivý stůl (plovoucí deska) a pohyblivé C-rameno, tedy skiaskopický přístroj, na kterém je rentgenka uložena proti detektoru a umožňuje vyšetření v různých pozicích dle natočení celého kompletu (**obr. 10**). Pro aplikaci jodové kontrastní látky do cév se používá tlaková stříkačka. Absolutní většina angiografických vyšetření se provádí Seldingerovou metodou. **Seldingerova technika (obr. 11)** je univerzální postup, který se nepoužívá pouze při angiografických vyšetřeních, ale v některém případě i při drenážích patologických dutin, při punkci žlučových cest atd. Přes punkční jehlu (dutá jehla vyplněná mandrémem), kterou se punktuje daná struktura (nejčastěji céva), se po odstranění mandrénu zavede vodič (speciální drát), poté se jehla odstraní a následovně se po vodiči zavádí různé katétry vhodné k danému vyšetření. Pokud je vstup do cévy nedostatečně široký, pak je možné použít dilatátory k jeho rozšíření, které se rovněž zavádějí po vodiči. Pokud potřebujeme odolný přístup do cévy, lze zavést tzv. sheath, opět po vodiči a následné dilataci, který nám zajistí bezpečný a odolný přístup do cévy. Nejčastějším přístupem do cévního systému pacienta je třísllo (femorální arterie či žíla, dále radiální či axiální tepna, podklíčková žíla či jugulární žíla. Cestou podklíčkové a jugulární žíly jsou zaváděny centrální žilní katétry.



**Obr. 10:** Fotografie angiografického přístroje



**Obr. 11:** Schéma Seldingerovy techniky

Na obrázku je graficky znázorněna punkce cévy: 1. punkce cévy punkční jehlou; 2. zavedení vodiče cestou punkční jehly; 3. odstranění punkční jehly; 4. po vodiči je zavedena do lumen cévy cévka (katétr); 5. odstranění vodiče; 6. zajištění vstupu do cévy katétre.

## Indikace DSA

Diagnostické DSA byly do velké části nahrazeny neinvazivními metodami zobrazení cév, jako je ultrazvuk, CT angiografie (CTA) a MR angiografie (MRA). Z diagnostických důvodů se DSA provádí pouze v ojedinělých indikacích, většinou při diagnostických rozpacích, například při hledání drobných



**Obr. 12:** Digitální subtrakční angiografie

Selektivní vyšetření pravé a. carotida interna se zobrazením arteriovenózní malformace (označeno šipkou).