



EVROPSKÁ UNIE  
Evropské strukturální a investiční fondy  
Operační program Výzkum, vývoj a vzdělávání



Název projektu	Rozvoj vzdělávání na Slezské univerzitě v Opavě
Registrační číslo projektu	CZ.02.2.69/0.0./0.0/16_015/0002400

# Radiologie a nukleární medicína

## Distanční studijní text

**David Korpas**

**Opava 2022**



**SLEZSKÁ  
UNIVERZITA**  
FAKULTA VEŘEJNÝCH  
POLITIK V OPAVĚ

- Obor:** Ošetrovatelství a porodní asistentství.
- Klíčová slova:** RTG vyšetřovací metody, skiaskopie, počítačová tomografie, ultrazvuk, magnetická rezonance, termografie, nukleární medicína, radioterapie, akutní nemoc ze záření, chronická nemoc ze záření.
- Anotace:** Distanční podpůrný studijní materiál *Radiologie a nukleární medicína* je určen pro obor *všeobecná sestra*. Hlavním cílem je seznámit studenty kombinované formy studia s rozsahem a hloubkou probírané látky a doporučenou studijní literaturou.
- U kombinované formy studia se předpokládá především samostudium za pomoci distančních studijních opor a doporučené literatury.
- Tento text je rozdělen do dvanácti kapitol ve shodě se sylabem předmětu.

**Autor:** **Ing. David Korpas, Ph.D.**

## Obsah

ÚVODEM.....	6
RYCHLÝ NÁHLED STUDIJNÍ OPORY.....	7
1 RTG ZÁŘENÍ – ZDROJE, VLASTNOSTI, PRIMÁRNÍ A SEKUNDÁRNÍ ZÁŘENÍ.....	8
1.1 Historie RTG.....	8
1.2 Vznik RTG záření.....	9
2 BIOLOGICKÉ ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ, PRINCIPY RADIAČNÍ OCHRANY.....	13
2.1 Bezpečnost a ochrana zdraví na RTG pracovištích.....	14
2.1.1 Druhy účinků a stanovované veličiny.....	14
2.1.2 Základní pojmy.....	16
2.2 Klinické formy poškození ozářením.....	20
2.3 Akutní nemoc z ozáření. Chronická nemoc z ozáření.....	21
2.3.1 Akutní nemoc z ozáření.....	22
2.3.2 Fáze akutní nemoci z ozáření.....	26
2.3.3 Chronická nemoc ze záření.....	29
3 ZÁKLADNÍ RTG VYŠETŘOVACÍ METODY, PŘÍPRAVA PACIENTA K VYŠETŘENÍ.....	32
3.1 Tvorba obrazu.....	32
3.1.1 Skiografie.....	34
3.1.2 Skioskopie.....	35
3.2 Příprava pacienta.....	35
3.3 RTG vyšetření orgánových systémů.....	37
3.3.1 Zobrazování dýchacích cest.....	37
3.3.2 Zobrazování kardiovaskulárního systému.....	37
3.3.3 Zobrazování trávicího traktu.....	38
3.3.4 Zobrazování močového ústrojí.....	39
3.3.5 Zobrazování skeletu.....	39
4 TERMOGRAFIE.....	41
4.1 Historie termografie.....	41
4.2 Princip metody.....	42
4.3 Využití termografie.....	43

4.4	Příprava na termografické vyšetření .....	44
5	KONTRASTNÍ LÁTKY. NEŽÁDOUCÍ ÚČINKY PODÁNÍ KONTRASTNÍCH LÁTEK. PREVENCE A LÉČBA ALERGICKÝCH REAKCÍ .....	46
5.1	Rozdělení kontrastních látek .....	46
5.2	Vlastnosti kontrastních látek .....	47
5.3	Zásady intravaskulárního podání kontrastní látky .....	49
5.4	Relativní kontraindikace podání JKL.....	49
5.5	Akutní nepředvídatelné reakce na podání kontrastní látky .....	49
6	ANGIOGRAFIE – INDIKACE, PŘÍPRAVA PACIENTA, INSTRUMENTÁRIUM. ....	51
6.1	Příprava pacienta .....	51
6.2	Speciální instrumentárium pro angiografii.....	52
6.3	Digitální subtrakční angiografie (DSA) .....	53
7	VÝPOČETNÍ TOMOGRAFIE (CT) – PRINCIP, INDIKACE, PŘÍPRAVA K VYŠETŘENÍ .....	55
7.1	Historie výpočetní tomografie.....	55
7.2	Princip výpočetní tomografie .....	56
7.3	Zobrazování pomocí výpočetní tomografie .....	59
7.4	Příprava pacienta .....	59
8	ULTRAZVUK – PRINCIP, INDIKACE, PŘÍPRAVA K VYŠETŘENÍ.....	61
8.1	Historie medicínského využití ultrazvuku.....	62
8.2	Vlastnosti ultrazvukového vlnění.....	62
8.3	Ultrazvukové pole .....	63
8.4	Ultrazvuková zobrazení.....	65
8.4.1	A-mód .....	66
8.4.2	B-mód .....	66
8.4.3	TM – mód .....	68
8.4.4	Echokontrastní prostředky .....	68
8.5	Využití Dopplerova jevu .....	68
8.5.1	Barevné mapování toku - CFM mód .....	69
8.6	Ultrazvuková denzitometrie .....	70
8.7	Příprava pacienta na vyšetření ultrazvukem.....	71
9	MAGNETICKÁ REZONANCE – PRINCIP, INDIKACE A KONTRAINDIKACE, PŘÍPRAVA K VYŠETŘENÍ.....	72

9.1	Historie magnetické rezonance .....	72
9.2	Princip magnetické rezonance.....	73
9.3	Zobrazování pomocí magnetické rezonance.....	74
9.4	Kontrastní látky pro MR .....	76
9.5	Příprava pacienta na vyšetření MR .....	76
10	NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA – ZÁKLADNÍ METODY, POUŽITÍ.....	78
10.1	Radionuklidy .....	78
10.2	Přístrojová technika .....	79
10.2.1	Scintigrafie.....	80
10.2.2	SPECT.....	81
10.2.3	PET .....	82
10.2.4	Rozdíly mezi SPECT a PET .....	83
10.2.5	Hybridní systémy .....	84
10.3	Diagnostické metody .....	84
10.4	Terapeutické metody .....	85
10.5	Radiofarmaka.....	86
11	RADIOTERAPIE. NÁDOROVÁ TERAPIE.....	88
11.1	Rozdělení radioterapie .....	89
11.2	Zevní radioterapie.....	91
11.3	Typy ozařovacích přístrojů.....	92
11.3.1	Brachyterapie .....	92
11.4	Časové rozložení dávky.....	93
11.5	Plánování radioterapie .....	95
11.6	Klinické problémy radioterapie .....	97
11.7	Nežádoucí účinky radioterapie .....	97
12	SPECIFIKA VYŠETŘENÍ DĚTSKÝCH PACIENTŮ.....	100
	LITERATURA .....	102
	SHRNUTÍ STUDIJNÍ OPORY .....	104
	PŘEHLED DOSTUPNÝCH IKON.....	105

## **ÚVODEM**

Obsah tohoto dokumentu byl uzpůsoben potřebám výuky ošetrovatelství. Cílem je podat rámcový přehled o radiologických metodách. Některé pasáže, především ty popisující fyzikální principy použitých metod musely být podstatně zjednodušeny a nelze je proto považovat za kompletní.

## RYCHLÝ NÁHLED STUDIJNÍ OPORY

Distanční učební text *Radiologie a nukleární medicína* je určen jako základní literatura k předmětu *Radiologie a nukleární medicína* pro obor *všeobecná sestra*.

Jsou zde vysvětleny fyzikální principy klasických i modernějších zobrazovacích metod. Tento učební text je rozdělen do dvanácti kapitol, které se dále dělí na články. Předkládaná studijní opora by vám měla studium základů radiologie co nejvíce ulehčit a dát představu o šíři probírané látky.

Je vhodné upozornit, že pro dobré pochopení problematiky tato studijní opora nestačí. Při čtení souvislého textu, např. z libovolné učebnice lékařské biofyziky pokrývající tuto problematiku, dojde ke snazšímu zapamatování a pochopení látky.

# 1 RTG ZÁŘENÍ – ZDROJE, VLASTNOSTI, PRIMÁRNÍ A SEKUNDÁRNÍ ZÁŘENÍ



## RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Náplní této kapitoly úvodní kapitoly jsou klasické rentgenové zobrazovací metody. Je popsán vznik RTG záření v rentgence a druhy záření.

---



## CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- porozumět principu vzniku RTG záření
  - nastavovat parametry rentgenového přístroje.
- 



## KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

rentgenka, skiografie, skiaskopie, záření brzdné a charakteristické, clona sekundární

---

## 1.1 Historie RTG

- 1895: objev RTG záření (Röntgen) 1896: přirozená radioaktivita ( $\alpha$ ,  $\beta$ ,  $\gamma$ ) (Becquerel)
- 1897: rentgenové vyšetřování srdce, první průmyslově vyráběný rentgen
- 1901: W. C. Röntgen získal za objev nového záření Nobelovu cenu
- 1913: Coolidgeovy trubice
- 1914: rentgenka s rotující anodou
- 1918: radiografický film
- 1928: rentgenové trubice uzavřené v ochranném stínícím krytu
- 1930: lineární tomograf
- 1934: umělé radionuklidy
- 1937: první klinické použití umělé radioaktivity
- 1948: zesilovač rentgenového obrazu



- 1950: srdeční katetrizace, angiografie s dynamickým záznamem obrazů
  - 1952: neuroradiologie, použití radioizotopů
  - 1955: zesilovač RTG obrazu
  - 1966: intervenční radiologie
  - 1968: používání cílových kontrastních látek.
- 

## 1.2 Vznik RTG záření

### Stavba atomu

- základní nomenklatura
- struktura hmoty
- problematika atomového jádra a obalu
- energetické vazby a hladiny elektronů
- kvantová mechanika.

### Atom

- základní stavební částice z nichž jsou vybudovány látky
- jako celek je elektroneutrální
- jádra všech prvků jsou složena z protonů a neutronů
- jádro má kladný náboj a je obklopeno elektronovým obalem nesoucím záporný náboj
- energie elektronu je kvantována, nabývá diskrétních hodnot.

### Podle platného, tzv. Bohrova modelu atomu

- elektrony mohou se pohybovat po svých drahách (kružnicích s určitým poloměrem)
- v klidovém stavu se tak děje bez vyzařování energie
- energie elektronu v atomu může měnit pouze po určitých dávkách (kvantech)
- k tomu dochází při přechodu elektronu z jedné stacionární dráhy na jinou
- zjednodušeně, pokud atom přijme nebo odevzdá energii v jakémkoli stavu (tepelná, elektromagnetická), dojde k přechodu elektronu z jedné stacionární dráhy na jinou, nebo je možné dokonce elektrony z atomu oddělit
- tohoto jevu se právě využívá pro vznik RTG záření.

### **K ZAPAMATOVÁNÍ**

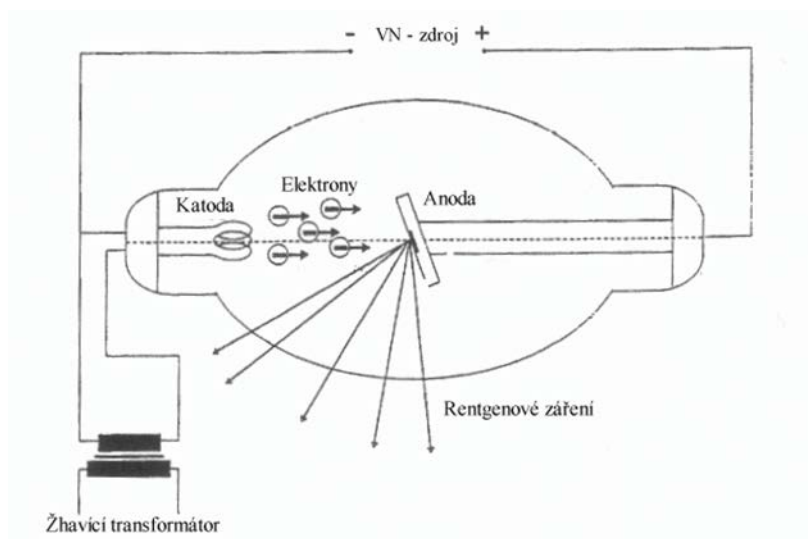


Pro vznik RTG záření se používají tzv. rentgenky (Obr. 1)

- vakuová trubice, které jsou umístěny dvě elektrody – katoda a anoda
- mezi dvěma elektrodami je vysoké stejnosměrné napětí
- katoda je žhavená (přijímá tepelnou energii) a tím emituje elektrony
- jsou přitahovány k anodě a urychlovány elektrickým polem vysokého napětí
- po dopadu na anodu se elektrony prudce zabrzdí nebo změni svůj směr
- energie letících elektronů z katody způsobí také přechody elektronů anody z jedné stacionární dráhy na jinou.

#### Vlastnosti RTG záření

- neviditelné
- prochází hmotou
- vyvolává luminiscenční efekt
- vyvolává fotochemický efekt
- vyvolává ionizaci
- má biologický efekt.



**Obrázek 1: Schéma rentgenky**

[<http://cz7asm.wz.cz/fyz/index.php?page=renzar>]

#### Vznik RTG záření

- elektrony dopadající na anodu mohou vyrazit elektron na vnitřní vrstvě K nebo L
- tím vzniká volné místo v elektronové vrstvě, na které „spadne“ elektron z vyšší vrstvy
- tento jev způsobuje emisi fotonů (energie)
- elektromagnetické záření
- proud fotonů o energii desítek až stovek keV
- kmitočet  $10^{17}$  až  $10^{20}$  Hz (měkké x tvrdé)

Dvě základní interakce

- interakce s polem jádra atomu – vznik tzv. brzdného záření
- interakce s obalovými elektrony – vznik tzv. charakteristického záření.

### KONTROLNÍ OTÁZKA



Popište stručně činnost rentgenky. <sup>1</sup>

### DEFINICE



Brzdné záření – rychle letící elektrony se dopadem na anodu náhle zbrzdí a jejich kinetická energie se přemění na energii fotonů elektromagnetického záření. Toto záření obsahuje fotony všech vlnových délek, počínaje tzv. mezní vlnovou délkou. Spektrum brzdného záření je spojitě.

### DEFINICE



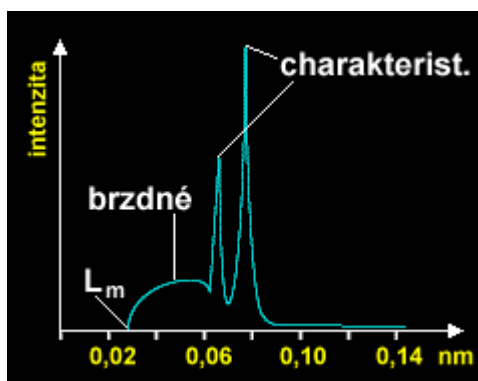
Charakteristické záření – elektron dopadající na anodu může vyrazit některý elektron z nejnižších hladin K nebo L atomu materiálu anody. Tím vzniká neobsazené místo, které je okamžitě obsazeno jiným elektronem z vnějších hladin za vyzáření fotonu rentgenového záření s energií rovnou energetickému rozdílu mezi elektronovými hladinami. Charakteristické záření má proto čárové spektrum, závislé na materiálu anody.

### K ZAPAMATOVÁNÍ



Na obrázku 2 jsou uvedena tzv. spektra, tedy rozložení energie v závislosti na vlnové délce.

<sup>1</sup>Elektrony uvolněné ze žhavené katody jsou urychlovány vysokým napětím a dopadají za anodu za vzniku brzdného a charakteristického RTG záření.



**Obrázek 2: Spektrum brzdného a charakteristického záření**

[<https://www.cez.cz/edee/content/microsites/rtg/k21.htm>]



### KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaké je spektrum brzdného a jaké charakteristického záření?<sup>2</sup>



### K ZAPAMATOVÁNÍ

Na rentgence můžeme měnit některé parametry:

- vysoké napětí rentgenky (40-160 kV) = přímo úměrně ovlivňuje energii (rychlost) dopadajících elektronů
  - zvyšuje účinnost brzdného záření
  - zvyšuje hladinu energie
- součin žhavicího proudu a času (mAs) = přímo úměrně ovlivňuje počet dopadajících elektronů.



### PRO ZÁJEMCE

V době manuálního nastavování přístrojů bylo nutné parametry rentgenky pečlivě upravovat. Zde jsou příklady:

- tekutina v pohrudniční dutině = zvýšit expozici o 10-30 kV
- mokrá sádra = zvýšit expozici o 20 kV nebo součin žhavicího proudu a času 2 – 4x
- suchá sádra = zvýšit expozici o 10 kV nebo součin žhavicího proudu a času o 50 %
- kontrastní látka BaSO<sub>4</sub> v trávicí trubici = zvýšit expozici o 20 – 30 kV
- jodové kontrastní látky = zvýšit expozici o 10 kV.

<sup>2</sup>Brzdné záření má spektrum spojité, charakteristické záření má spektrum čárové.

## 2 BIOLOGICKÉ ÚČINKY IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ, PRINCIPY RADIAČNÍ OCHRANY

### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



V této kapitole budou vysvětleny základní principy radiační ochrany, definice deterministických a stochastických účinků a způsoby ochrany před nimi. Důraz bude kladen na základní legislativní pojmy, vyskytující se v praxi. Dále jsou zde zmíněny bezpečnostní limity dávek a formy klinických důsledků ozáření a popis účinků ionizačního záření na jednotlivé tkáně a orgány. Především průběh dřeňového, gastrointestinálního a neurovaskulárního syndromu. Poté popis stádií astenovegetativní, výrazné symptomatologie a nereparabilního poškození u chronické nemoci ze záření.

### CÍLE KAPITOLY



Po prostudování této kapitoly budete umět:

- rozeznat deterministické a stochastické účinky,
- orientovat se v legislativních pojmech radiační ochrany,
- limity dávek pro klinické poškození tkání,
- posoudit účinky různých dávek ionizujícího záření,
- znát syndromy akutní nemoci z ozáření,
- posoudit vliv ionizačního záření na různé tkáně a orgány.

### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



expozice, účinky deterministické a stochastické, koncepce radiační ochrany, dávka, účinky časně a pozdní, syndrom dřeňový, gastrointestinální a neurovaskulární

---

Účinky ionizujícího záření se projevují v různé míře u všech živých organismů. Závažnost účinků pak závisí na mnoha okolnostech. Účinek záření na buňku rozlišujeme

- přímý (změna biologicky důležité makromolekuly)
- nepřímý (způsobený radikály a peroxidem vodíku).

Vliv ionizujícího záření je tím výraznější, čím má buňka větší schopnost k rozmnožování (dělení) a čím méně je diferencovaná. Proto jsou buňky nebo organismy vůči záření nejcitlivější na počátku vývoje.

Účinek na živou tkáň probíhá v několika fázích:

- fyzikální stádium
- fyzikálně – chemické stádium
- chemické stádium
- biologické stádium.



## KONTROLNÍ OTÁZKA

V jakých fázích probíhají účinky ionizujícího záření na živou tkáň? <sup>3</sup>

---

## 2.1 Bezpečnost a ochrana zdraví na RTG pracovištích

Radiační ochrana musí:

- odpovídat současným biologickým poznatkům
- odpovídat přístupům společnosti k ochraně zdraví
- počítat se všemi situacemi v expozici osob.

### 2.1.1 DRUHY ÚČINKŮ A STANOVOVANÉ VELIČINY

#### Deterministické účinky

- jsou důsledkem zániku buněk a následné ztráty funkce tkání a orgánů
- mají klinicky jednoznačný projev a lze je spojit s předchozím ozářením
- nastávají až po dosažení určité dávky (prahu) v příslušných tkáních a orgánech
- existují dávky s nulovou intenzitou účinku (podprahové)
- nastávají krátce po ozáření
- s růstem dávky dochází k nárůstu ztráty buněk
- ochrana spočívá v zamezení dosažení prahových dávek pro jednotlivé tkáně a orgány, a ve stanovení limitů pro dávky.

#### Stochastické účinky

- jsou důsledkem změn v buňkách přeživších ozářením

---

<sup>3</sup>Jsou to fyzikální stádium, fyzikálně – chemické stádium, chemické stádium a biologické stádium.

- s rostoucí dávkou záření roste pravděpodobnost vzniku účinku, nikoliv jeho intenzita
- stochastický (náhodný) charakter mají i dědičné důsledky ozáření, projevující se u potomstva ozářených osob.

Cílem radiační ochrany je vyloučit deterministické účinky záření a riziko stochastických účinků udržovat na rozumně přijatelné nízké úrovni.

Pro účely kvantifikace účinků je definováno několik veličin.

**Absorbovaná dávka**  $D$ , definovaná jako energie záření absorbovaná jednotkou hmotnosti tkáně  $m$

$$D = \frac{\Delta E}{\Delta m}.$$

Jednotkou dávky  $D$  je 1 Gy (gray).

**Ekvivalentní dávka**  $H_T$  je střední absorbovaná dávka  $D_T$  v orgánu násobená radiačním váhovým faktorem  $w_R$ , který je charakteristický pro daný druh ionizujícího záření. Platí

$$H_T = D_T \cdot w_R.$$

Jednotkou ekvivalentní dávky  $H_T$  je 1 Sv (siewert).

**Efektivní dávka**  $E$  je součtem ekvivalentních dávek  $H_T$  v ozářených tkáních, které jsou váženy tkáňovým váhovým faktorem  $w_T$ , který pro danou tkáň vyjadřuje riziko vzniku stochastických účinků

$$E = \sum H_T \cdot w_T.$$

Jednotkou efektivní dávky  $E_T$  je 1 Sv (siewert).

Kolektivní efektivní nebo kolektivní ekvivalentní dávka  $S$  je pak součet efektivních, popř. ekvivalentních dávek všech jednotlivců v určité skupině. Jednotkou je 1 manSv (mansievert).

Základními limity pro radiační pracovníky jsou efektivní dávky

- $E = 20$  mSv/rok za období 5 po sobě následujících let nebo
- 50 mSv za jeden rok.

Dále pak ekvivalentní dávka

- pro oční čočku  $H_T = 150$  mSv/rok
- pro kůži, ruce a chodidla  $H_T = 500$  mSv/rok.



## KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaký je rozdíl mezi deterministickými a stochastickými účinky ionizujícího záření? <sup>4</sup>

---

### 2.1.2 ZÁKLADNÍ POJMY

Činnosti vedoucí k ozáření

- radiační činnost:
  - činnosti s umělými zdroji ionizujícího záření
  - činnosti s přírodní radionuklidy
- činnost v souvislosti s výkonem práce.

Typy ozáření

- plánované
- nehodové
- trvale existující.

Kategorie expozic

- profesní = veškerá expozice pracovníků v souvislosti s výkonem jejich práce, radiační pracovníci se rozdělují do kategorií A a B;
- lékařská = ozáření pacientů při diagnostických, screeningových nebo léčebných výkonech, ozáření je zde záměrné a děje se pro přímý prospěch pacienta;
- expozice obyvatel = všechny ostatní mimo profesní a mimo lékařské expozice.



## K ZAPAMATOVÁNÍ

Pracovníci kategorie A jsou radiační pracovníci, kteří by mohli obdržet efektivní dávku vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávku vyšší než tři desetiny limitu ozáření pro oční čočku, kůži a končetiny; ostatní radiační pracovníci jsou pracovníky kategorie B.



## DEFINICE ZÁKLADNÍ POJMY RADIAČNÍ OCHRANY

radiační činnost = lidská aktivita vedoucí ke zvýšení ozáření lidí,

radiační pracovník = fyzická osoba vystavená profesnímu ozáření,

---

<sup>4</sup>Deterministické jsou spojeny se zánikem buněk a následnou ztrátou funkce tkání a orgánů. Stochastické jsou důsledkem změn v buňkách přeživších ozáření



radiační nehoda = událost, která má za následek nepřípustné uvolnění radioaktivních látek nebo ionizujícího záření nebo nepřípustné ozáření fyzických osob,

radiační havárie = radiační nehoda, jejíž následky vyžadují naléhavá opatření na ochranu obyvatelstva a životního prostředí,

radiační mimořádná situace = situace, která následuje po radiační havárii nebo po takové radiační nehodě nebo po takovém zjištění zvýšené úrovně radioaktivity nebo ozáření, které vyžadují naléhavá opatření na ochranu fyzických osob,

havarijní plán = soubor plánovaných opatření k likvidaci radiační nehody nebo radiační havárie a k omezení jejich následků,

optimalizace ochrany před zářením = snaha, aby všechny dávky byly tak nízké, jak je rozumně dosažitelné při uvážení ekonomických hledisek,

sledované pásmo = prostory, které podléhají soustavnému dohledu pro účely radiační ochrany, vymezuje se všude tam, kde se očekává, že efektivní dávka by mohla být vyšší než 1 mSv/rok nebo ekvivalentní dávka by mohla být vyšší než 1/10 limitu pro oční čočku, ruce, nohy,...

kontrolované pásmo = prostory s regulovaným přístupem, ve kterých jsou zavedena zvláštní pravidla pro zajištění radiační ochrany nebo k zabránění rozšíření radioaktivní kontaminace, vymezuje se všude tam, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně nebo ekvivalentní dávka vyšší než 3/10 limitu pro oční čočku, ruce, nohy, aj.

---

## KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaký je rozdíl mezi sledovaným a kontrolovaným pásmem? <sup>5</sup>

---

Koncepce radiační ochrany

- **zdůvodnění** činností vedoucích k ozáření,
- **optimalizace** radiační ochrany,
- **dodržení** obecných dávkových limitů,
- **zajištění** bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření.

**Zdůvodnění**

---

<sup>5</sup>Sledované pásmo podléhá soustavnému dohledu pro účely radiační ochrany. Tam, kde se očekává, že efektivní dávka by mohla být vyšší než 1 mSv/rok. Kontrolované pásmo je s regulovaným přístupem a zvláštními pravidly. Tam, kde by efektivní dávka mohla být vyšší než 6 mSv ročně/rok.

Přínos ozáření pro jednotlivce nebo pro společnost musí vyvážit škody, které mohou případně vzniknout. V úvahu se berou důsledky zdravotní, sociální, ekonomické a další relevantní.

Pro lékařské ozáření jsou tři úrovně zdůvodnění:

- použití záření je přijímáno jako prospěšné pro pacienta a jeho zdůvodnění se nyní pokládá za prokázané,
- konkrétní procedura se specifickým zaměřením je definována a zdůvodněna,
- aplikace příslušné procedury individuálnímu pacientovi je zdůvodněna.

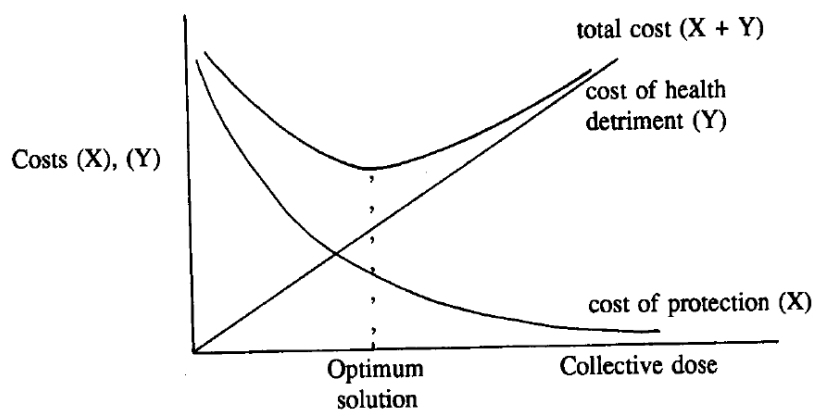
### Optimalizace

Pro všechny radiační zdroje musejí být všechna rizika tak nízká, jaká lze dosáhnout. Uplatňuje se tzv. „cost benefit analýza“.

X – náklady na ochranu

Y – náklady (škody) ze zdravotní újmy v důsledku ozáření

Ochrana je optimalizována, pokud celkové náklady (X+Y) jsou minimální (bod „op-



Obrázek 3: Princip optimalizace ALARA

imum solution“).

### Dodržení limitů

= slouží k vyloučení deterministických účinků.

Limit (efektivní dávky záření) stanoví

- nejvyšší přijatelné riziko stochastických účinků
- představuje hranici mezi zcela nepřijatelnými riziky a oblastí kde je nutno určit riziko optimalizací
- nejvyšší mez pro součet dávkových omezení jednotlivých kroků optimalizace radi-ační ochrany.

Dávkové limity se neuplatňují

- při lékařském ozáření pacientů
- v nehodových situacích
- při existujících trvalých expozičních situacích.

**Tabulka 1: Základní limity efektivních dávek**

Limitovaná veličina	obecný limit	limit pro radiační pracovníky	limit pro učně a studenty
součet efektivních dávek ze zevního ozáření a úvazků efektivních dávek z vnitřního ozáření	1 mSv/rok	100 mSv/5 let 50 mSv/rok	6 mSv/rok
ekvivalentní dávka v oční čočce	15 mSv/rok	150 mSv/rok	50 mSv/rok
průměr. ekvivalentní dávka v 1 cm <sup>2</sup> kůže	50 mSv/rok	500 mSv/rok	150 mSv/rok
ekvivalentní dávka v prstech až předloktí a v chodidlech až po kotníky	-	500 mSv/rok	150 mSv/rok

### Zajištění bezpečnosti zdrojů

Bezpečnostní předpisy musejí regulovat nakládání se zdroji ionizujícího záření:

- systém řízení jakosti
- výcvik a vzdělávání personálu
- používání kvalitní techniky.

Doporučené legislativní odkazy

- zákon č. 18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření, v posledním znění
- vyhláška č. 307/2002 Sb., o radiační ochraně, ve znění vyhlášky č. 499/2005 Sb. aktuální znění
- vyhláška č. 146/1997 Sb., o zvláštní odborné způsobilosti, v posledním znění – vyhláška č. 315/2002 Sb.
- vyhláška č. 214/1997 Sb., o zabezpečování jakosti
- vyhláška č. 318/2002 Sb., o havarijní připravenosti



## KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaké jsou čtyři základní principy koncepce radiační ochrany? <sup>6</sup>

---

## 2.2 Klinické formy poškození ozářením

Zdravotní újma = pravděpodobnost poškození zdraví somatickými účinky ionizujícího záření.

Projevy nemoci z ozáření jsou závislé na parametrech ozáření a zdravotním stavu ozářeného jedince (další onemocnění, zranění).

### Deterministické účinky

**Tabulka 2: Přibližné hodnoty dávek pro vznik některých deterministických účinků**

Klinický projev poškození	Jednorázové ozáření [Gy]	Dávkový příkon [Gy/rok]
pokles krvetvorby	0,5	0,4
poškození oční čočky	2 – 10	0,15
poškození vidění	1 – 3	
přechodná sterilita mužů	0,15	0,4
trvalá sterilita mužů	3,5 – 6	2
sterilita žen	2,5 – 6	0,2
erytém kůže	3 – 6	
šupinatění kůže	20	
nekrózy kůže	50	

### Stochastické účinky

Příčinou stochastických účinků jsou buněčné mutace a maligní transformace buněk. Stochastické účinky nemají žádný charakteristický klinický obraz.



## KONTROLNÍ OTÁZKA

Definujte deterministické účinky ionizujícího záření. <sup>7</sup>

<sup>6</sup>Zdůvodnění činností vedoucích k ozáření, optimalizace radiační ochrany, dodržení obecných dávkových limitů a zajištění bezpečnosti zdrojů ionizujícího záření.

<sup>7</sup>Deterministické účinky mají klinicky jednoznačný projev. Nastávají až po dosažení určité dávky (prahu) v příslušných tkáních a orgánech. Existují dávky s nulovou intenzitou účinku (podprahové).

## KONTROLNÍ OTÁZKA



Definujte stochastické účinky ionizujícího záření.<sup>8</sup>

Účinky záření na buňku můžeme rozdělit:

- smrt buňky (buněčná deplece)
- změna cytogenetické informace.

## K ZAPAMATOVÁNÍ



Nejvýznamněji se účinek záření projevuje u buněk, u kterých dochází k rychlému dělení (krvetočivá, střevní výstelka, zárodek).

### 2.3 Akutní nemoc z ozáření. Chronická nemoc z ozáření.

Změna cytogenetické informace = změny v genetické informaci buňky, bezprostředně nenarušují průběh buněčného dělení.

Záření vyvolává mutace

- bodové
- genové
- chromozómové.

Dále se rozlišují mutace

- gametické (zárodečných žláz, propagují se do dalších generací)
- somatické (orgánů a tkání, vyskytují se již u ozářeného jedince).

Účinky záření na lidský organizmus jsou:

- akutní nemoc z ozáření
- akutní lokální změny
- poškození vyvíjejícího se plodu v těle matky
- nenádorová pozdní poškození
- zhoubné nádory

<sup>8</sup>Stochastické (náhodné) účinky jsou důsledkem změn v buňkách přeživších ozáření. S rostoucí dávkou záření roste pravděpodobnost vzniku účinku, nikoliv jeho intenzita.

- genetické změny.

**Tabulka 3: Přehled účinků záření na člověka**

Časné	Pozdní		Genetické
Somatické			Genetické
akutní nemoc z ozáření akutní lokální změny akutní radiodermatitis poškození fertility	nenádorová pozdní poškození chronická radiodermati- tis zákal oční čočky	zhoubné nádory	genetické účinky u potomstva
poškození vývoje plodu			
nestochastické		stochastické	



### KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaké jsou účinky záření na buňku? <sup>9</sup>

#### 2.3.1 AKUTNÍ NEMOC Z OZÁŘENÍ

Akutní nemoc z ozáření (akutní postradiační syndrom) se rozvíjí po jednorázovém ozáření celého těla nebo jeho větší části dávkou vyšší než asi 0,7 Gy.

Citlivost k účinkům ionizující záření (radiosenzitivitní) je různá u různých typů buněk:

- nejcitlivější jsou nezralé formy krvetvorných buněk v kostní dřeni
- méně citlivé (radiorezistentní) jsou epitelální buňky sliznice střev
- nejvíce radiorezistentní jsou nervové buňky.

V závislosti na stupni ozáření se tedy mohou v klinickém obraze objevovat různé příznaky. Akutní nemoc z ozáření zahrnuje tři základní syndromy

- dřevový syndrom (poškození krvetvorných orgánů)
- gastrointestinální syndrom (poškození trávicího ústrojí)
- neurovaskulární syndrom (poškození centrálního nervového systému).

<sup>9</sup>Smrt buňky nebo změna cytogenetické informace.

Tabulka 4: Závislost závažnosti akutní nemoci z ozáření na dávce

Přibližná dávka [Gy]	Stupeň	Syndrom	Prognóza
1-2	lehký	dřeňový	zcela příznivá
2-4	střední		příznivá
4-6	těžký		poměrně příznivá
6-10	velmi těžký		poměrně nepříznivá
10-80		gastrointestinální	zcela nepříznivá
více než 80		neurovaskulární	

**KONTROLNÍ OTÁZKA**

Vyjmenujte některé časné účinky záření na člověka.<sup>10</sup>

**2.3.1.1 Dřeňový syndrom**

Útlum krvetvorby vede v důsledku malé až nulové produkce krevních buněk k poklesu počtu všech typů krevních buněk v periferní krvi pod dolní fyziologickou hranici = pancytopenie. Při ozáření dochází k úbytku především nezralých forem krvetvorných buněk, ale diferencovanější formy dále vyžívají a jsou i po ozáření uvolňovány do periferní krve. Změny v krevním obraze se pak objevují až později, kdy poškozená kostní dřev není schopna uvolnit do oběhu další zralé buňky, nejdříve po 24 hodinách od ozáření. Klinický obraz dřeňového syndromu se plně rozvíjí až po několika týdnech od ozáření a projevuje se ztrátou funkcí jednotlivých buněčných linií:

- nedostatek erytrocytů – anémie
- nedostatek trombocytů – zvýšené krvácení
- nedostatek granulocytů – snížená odolnost proti infekcím.

Přesný čas útlumu jednotlivých typů cirkulujících buněk je různý a vše závisí rovněž na dávce záření:

- při dávce 1 Gy přežívá 37 procent
- při dávce 5 Gy přežívá 1 procento kmenových buněk.

Kmenové buňky jsou vůči záření tím citlivější, čím jsou méně diferencované. Zralé erytrocyty a retikulocyty jsou vůči ionizujícímu záření již poměrně radiorezistentní.

<sup>10</sup>Např. poškození kůže, plodnosti.

Účinky na jednotlivé krevní elementy

- nejrychleji klesá počet lymfocytů
- pomaleji ostatních leukocytů
- ještě pomaleji počet trombocytů
- nejpomalejší počet erytrocytů.

I po ozáření v dávkách jednotek Gy vykazuje kostní dřeň regenerační schopnost.



### KONTROLNÍ OTÁZKA

Od jaké dávky se mohou rozvíjet příznaky akutní nemoci z ozáření? <sup>11</sup>

---

#### 2.3.1.2 Gastrointestinální syndrom

Nastává po jednorázovém zevním ozáření dávkami většími než 8-10 Gy. V rozsahu dávek 10 až 100 Gy je střevní forma dominantní formou nemoci z ozáření. Důsledky jsou přímo úměrné obdržené dávce:

- od 4 Gy – práh citlivosti střevních buněk
- od 10 Gy – zastavuje se mitotická činnost buněk
- od 20 Gy – zastavuje se reprodukce epitelálních buněk v kryptách, za několik dnů dojde k obnažení sliznice.

Účinky na jednotlivé partie:

- dutina ústní, hltan a horní část jícnu – překrvení, vznik edémů, nekrózy
- slinné žlázy – poškození funkce
- jazyk – destrukce chuťových pohárků
- hltan – nekrózy mukózy a parafaryngeálního vaziva
- jícnem, žaludek – akutní katarální zánět, riziko perforace
- sliznice jícnu – těžký zánět
- tenké střevo – poškození střevního epitelu, narušení resorpční a bariérové funkce střev, následnou poruchou vstřebávání a možnou bakteriální invazí, důsledkem toxémie a septický šok organismu
- nejcitlivější je sliznice tenkého střeva, zejména duodena
- ovlivnění funkce hladké svaloviny
- tlusté střevo – poškození menší, atrofie sliznice a fibrotizace
- rektum – zarudlá sliznice, edémy, nebezpečí krvácení.

---

<sup>11</sup>Přibližně od dávky 1 Gy.



## KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaké jsou tři základní syndromy akutní nemoci z ozáření? <sup>12</sup>

### 2.3.1.3 Neurovaskulární syndrom

Nervová tkáň velmi citlivá z hlediska funkčnosti, ale odolná z hlediska buněčné morfologie.

Dvě podformy

- vaskulární (asi do 70 Gy)
- mozkovou (asi od 70 Gy).

Následkem mozkové formy je vždy smrt, podle dávky

- do 100 Gy během několika dnů
- do 500 Gy během několika hodin
- vyšší než 1000 Gy okamžitě

Poškození tkáně je nereparabilní, dáno

- přímým působením ionizujícího záření na nervovou buňku
- hypoxií v důsledku radiačního poškození mozkových cév
- zvýšením nitrolebního tlaku.

Účinky na jednotlivé partie

- šedá hmota – porušení permeability cév
- bílá hmota – demyelinizace a perivaskulární edém
- chorioidální plexy – akutní zánět
- mozkových plenách – akutní zánět, otok mozku
- míšní tkáň – radiační vaskulopatie, demyelinizace, nekróza
- periferní nervy – radiorezistentní.

Klinické projevy

- tonicko-klonické křeče
- třes
- psychická alterací
- poruchy vědomí (postupně bezvědomí, koma a smrt)

<sup>12</sup>Dřeňový, gastrointestinální, neurovaskulární.

- změny elektroencefalografické aktivity
- zvyšující se intrakraniální tlak.

### 2.3.2 FÁZE AKUTNÍ NEMOCI Z OZÁŘENÍ

Nemoc z ozáření probíhá ve čtyřech fázích

- prodromální
- latentní
- manifestní
- manifestní.

Délka trvání a závažnost jednotlivých fází závisí na dávce ozáření.

#### **Fáze prodromální**

- okamžitá stresová reakci organismu na ozáření
- humorální a neurovegetativní odpověď na poškození.

Klinické projevy:

- nevolnost, zvracení, nechutenství, bolesti hlavy, průjmy
- u velkých dávek nad 6 Gy i funkční poruchy.

#### **Fáze latentní**

- úplné nebo částečné odeznění klinických projevů prodromální fáze, ale zhoršení laboratorních nálezů
- délka fáze je nepřímo úměrná obdržené dávce
- nutno omezit fyzickou zátěž.

#### **Fáze manifestní**

- plný rozvoji onemocnění, projevy komplexního poškození, trvá obvykle 4 až 6 týdnů.

Klinické projevy:

- zvýšená únava, třesavka
- krvácení z dásní a z nosu, ulcerace ústní sliznice
- horečka, průjmy, krvavé průjmy
- rozvoji mikrobiálních, virových a plísňových onemocnění.

V případe těžkých ozáření dochází v této fázi k úmrtí ozářeného jedince.

#### **Fáze rekonvalescence**

- úplné nebo částečné uzdravení organismu.

### 2.3.2.1 Vlivy ozáření na další orgány a systémy

#### Srdečně-cévní systém

Srdce jako orgán je poměrně radiorezistentní, nejcitlivější je perikard. Ionizující záření způsobí

- degeneraci svalových vláken
- fibrózu.

#### Cévy

- citlivější vždy výstelka než zbývající část stěny
- nejcitlivější výstelka kapilár
- jejich poškození zářením způsobuje mnoho pozdějších komplikací
- dochází k subintimálnímu edému
- dochází k uzavírání až úplnému uzavření toku krve cévou, což vede k ischemii zásobované tkáně
- postižení cévní stěny v CNS je nejčastější příčinou smrti ozářením

#### Drobné artérie

- poškození endotelu
- poškození tunica media.

### Dýchací systém

Ozářením je poškozena sliznice horních dýchacích cest.

#### Klinické příznaky

- zánět tkání dýchacích cest
- bolest na hrudi
- zadýchávání
- dráždivost ke kašli.

Po ozáření plic vznikají dva syndromy

- radiační pneumonitida
- radiační fibróza.

Radiační pneumonitida = zánět jako následek ionizujícího ozáření.

- vzniká po ozáření plic dávkou větší než 8 Gy
- manifestace za 9 – 15 týdnů po ozáření plic
- klinické příznaky – dušnost, teplota, neproduktivní kašel, pleuritická bolest
- umírá asi čtvrtina až polovina všech nemocných.

Radiační fibróza = množení fibrózní plicní tkáně.

- vzniká po ozáření plic dávkou větší než 8 Gy
- manifestace ale až po 30 týdnech
- postižen přenos kyslíku přes alveo-kapilární membránu
- snížený parciální tlak kyslíku při normálním parciálním tlaku oxidu uhličitého, vznik respirační nedostatečnosti.

## **Kůže**

Akutní radiodermatitida je jeden z nejzávažnějších faktorů pro další průběh nemoci z ozáření. Podle závažnosti se rozděluje do tří stupňů.

### První stupeň

- po ozáření dávkou 3 – 6 Gy se od 24 hodin objevuje časný erytém s fázovým průběhem, do 2 týdnů dočasná epilace, náprava od konce 3. týdne;
- po ozáření dávkou 6 – 12 Gy se objevuje časný erytém již do 24 hodin, pozdní erytém v období epilace;
- po ozáření dávkou 12 – 15 Gy se objevuje erytém i epilace podstatně dříve, komplikováno suchým zánětem kůže, olupováním epidermis.

### Druhý stupeň

- po ozáření dávkou 16 – 20 Gy se objevuje pozdním erytémem 2. týden, komplikován svěděním, puchýři, trvalou epilací;
- po ozáření dávkou 20 – 25 Gy nastává exsudativní radiodermatitida již ve 2. týdnu po ozáření;
- po ozáření dávkou vyšší než 16 Gy dochází k zastavené mitotické činnosti buněk v epidermis, atrofie mazových žláz.

### Třetí stupeň

- po dávce vyšší než 25 Gy
- akutní hluboká kožní nekróza již od prvního dne.

Časový průběh radiačního poškození kůže se dělí do 5 stádií:

- stádium radiační dermatitidy (prvotní erytém)
- bezpříznakové latentní období
- manifestní fáze nemoci (druhotný erytém)

- odeznívání poškození
- přetrvávající následky nemoci.

### Zrak

Poškození zraku patří mezi závažné příznaky nemoci z ozáření. Nejcitlivější je epitel čočky. Účinek ozáření spočívá v

- přímém účinku na buňky a porušením mitózy,
- účinku na cévy a reakcí organismu na ionizující záření.

Účinky podle velikosti dávky

- od 2 Gy – poškození čočky vznikem zákalů
- od 5 Gy – hyperémie na spojivce
- od 15 Gy – poškození rohovky, spojivky k zánětu při dávce 25 Gy, při 40 – 50 Gy se objevují rohovkové vředy.
- od 18 Gy – změny ve sklivci
- od 20 Gy – poškození sítnice
- od 30 Gy – změny v živnatce
- velmi vysoké dávky od 100 Gy – poškození zrakového nervu, bělimy

### Psychické důsledky ionizujícího záření

- skutečné důsledky – apatie, depresivní stavy, izolace od okolí, strach
- často se však vyskytuje radiofobie = přeceňování účinků ionizujícího záření, nesmyslné připisování somatických účinků
- roli hraje „neviditelný“ charakter záření.

## KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaké jsou (čtyři) fáze akutní nemoci z ozáření? <sup>13</sup>

---

### 2.3.3 CHRONICKÁ NEMOC ZE ZÁŘENÍ

Chronická nemoc ze ozáření vzniká během dlouhodobého působení ionizujícího záření. V jejím průběhu existují tři stádia

- stádium astenovegetativních obtíží
- stádium výrazné symptomatologie

<sup>13</sup>Fáze prodromální, latentní, manifestní a rekonvalescence.

- stádium nereparabilního poškození.

### **Stádium astenovegetativních obtíží**

mnoho nespecifických potíží

- zvýšená únava
- nechutenství nebo zažívací potíže
- bolesti hlavy
- malátnost, ospalost nebo naopak nespavost
- v krevním obraze leukopénie vzniklá poklesem lymfocytů.

### **Stádium výrazné symptomatologie**

- prohlubování astenovegetativních obtíží
- možno laboratorně diagnostikovat poškození kostní dřeně.

Klinické příznaky:

- bolesti hlavy
- chronické průjmy, úbytek váhy, zvracení
- neurologické potíže (poruchy koordinace, zraku, zpomalené reflexy)
- poškození kůže (suchost, lomivost, třepící se okraje nehtů) i epilace
- v krevním obraze leukopenii daná neutropenií a lymfopenií, občas trombocytopenie
- riziko infekčních komplikací (dýchací cesty).

### **Stádium nereparabilního poškození**

Chronická poškození vznikají v průběhu let trvalé expozice a jsou charakterizovány dávkovým prahem, který je vysoký vzhledem k časovému rozložení dávky, umožňujícímu uplatnění reparačních projevů. Do této skupiny patří především chronický zánět kůže a zákal oční čočky. Nejzávažnější pozdní somatické účinky ionizujícího záření jsou pak zhoubné nádory.

Klinické příznaky podobné jako stárnutí organismu

- svalová hypotonie, hypodynamie
- trofické změny kůže, ulcerace sliznic
- srdeční poruchy – stenokardie, palpitace, arytmie
- počínající šedý zákal
- v krevním obraze leukopenie s lymfopenií nebo relativní lymfocytózou
- infekční až septické komplikace.

### **Pozdní následky celotělového ozáření**

Přežití akutní nemoci z ozáření ještě nemusí znamenat úplné vyléčení. Stochastické (bez prahové dávky) účinky vznikají až po dlouhé latentní fázi.

Závažnými pozdními důsledky jsou

- poškození chromozomů
- nahrazení funkční tkáně biologicky nevhodnou vazivovou tkání
- rozvoj šedého zákalu
- maligní postižení žaludku, tlustého střeva, rekta
- dlouhodobý pokles imunity.

### KONTROLNÍ OTÁZKA



Vyjmenujte některé pozdní účinky záření na člověka. <sup>14</sup>

---

<sup>14</sup>Genetické poruchy, poškození zraku, poškození žaludku.

## 3 ZÁKLADNÍ RTG VYŠETŘOVACÍ METODY, PŘÍPRAVA PACIENTA K VYŠETŘENÍ



### **RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY**

Kapitola popisuje geometrické zákonitosti rentgenového zobrazování, základní metody skiografie a skiaskopie a přípravu pacienta na vyšetření.

---

### **CÍLE KAPITOLY**

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- rozlišit různé RTG metody
  - připravit pacienta k vyšetření
- 



### **KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY**

skiografie, skiaskopie, clona sekundární

---

### **3.1 Tvorba obrazu**

Průchod RTG záření

- filtrace (základní a přídatná)
- primární clona rentgenky
- vzduch
- snímkový objekt (pacient)
- patientský stůl
- sekundární clona
- film nebo detektor.



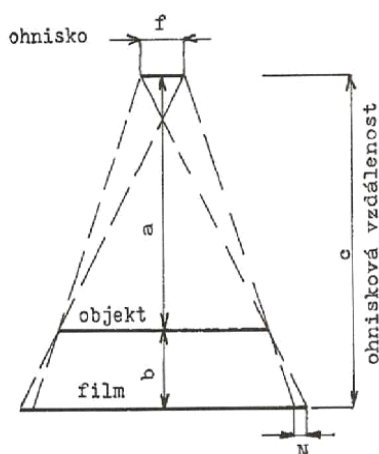
**K ZAPAMATOVÁNÍ**

Primární clony se používají k vymezení RTG svazku do potřebného směru. Tím se sníží dávka do okolí a omezí vznik neúčinného sekundárního záření.

Sekundární clony se používají k tlumení sekundárního záření. Nacházejí se až za pacientem a mají podobu mřížky. Jejich úkolem je snížit radiační zátěž tím, že zadržují pomalé nebo odchýlené fotony a tyto pak nezhoršují výsledný obraz.

Geometrické uspořádání, viz obr. 4.

- ohnisko  $f$
- ohnisková vzdálenost  $c$
- vzdálenost objektu od filmu  $b$
- geometrická neostrost  $N$



Obrázek 4: Geometrické uspořádání RTG [14]

**KONTROLNÍ OTÁZKA**

Jaký je účel sekundární clony? <sup>15</sup>

**KONTROLNÍ OTÁZKA**

Vyberte **ne**správnou odpověď: RTG záření před průchodem sekundární clonou prochází:

- a) vzduchem   b) pacientem   c) vyšetřovacím stolem   d) detektorem (filmem) <sup>16</sup>

<sup>15</sup>Snížit radiační zátěž zachycením pomalých nebo odchýlených fotonů RTG záření.

---

### 3.1.1 SKIAGRAFIE



#### DEFINICE

Skiografie = diagnostická metoda, která používá statického zobrazení RTG obrazu.

---

Měkká (normální) technika – při nižším napětí rentgenky (do 45 kV)

- vlnová délka záření větší než 0,1 nm
- pro tkáně s malými rozdíly hustot (měkké tkáně)
- nízká penetrance záření
- horší efektivita, vyšší radiační zátěž povrchových částí
- vyšší absorpce v měkkých částech
- mamografie a snímkování dětí.

Tvrdá technika – při vyšším napětí rentgenky (kolem 100 kV i více)

- vlnová délka záření kratší než 0,1 nm
- nižší kontrast měkkých částí
- horší detail díky většímu množství sekundárního záření.

Používané projekce:

- předozadní (anteroposterior) a boční
- účelem zjistit prostorové uložení zobrazených struktur
- výjimkou snímky hrudníku, které se dělají zadopředně (posteroanterior).

Při RTG zobrazování se mohou anatomické struktury vzájemně překrývat. Obvykle je však možno najít takovou projekci, kdy je daná struktura zobrazena nejlépe např.

- projekce předozadní AP (anterior-posterior)
- zadopřední PA
- bočné projekce levé LL (latero-laterální, též SIN-sinister)
- šikmé projekce levé LAO (left anterior oblique)
- LPO (left posterior oblique)
- stejně i pravé.

---

<sup>16</sup> d)

### 3.1.2 SKIASKOPIE

#### DEFINICE



Skioskopie = diagnostická metoda, která používá dynamického zobrazení RTG obrazu.

- přímá (na fluorescenčním stínítku, vysoká radiační zátěž, již se nepoužívá)
- nepřímá (na přístrojích vybavených zesilovačem obrazu a elektronickým snímáním obrazu, často využívaná – koronární intervenční výkony, zavádění sond, katetrů, stentů, implantace, koronární angioplastiky).

V praxi jsou rentgenka a obvykle již elektronický detektor namontovány na společném rameni ve tvaru písmene „C“ (tzv. C-rameno). Pak je možné ramenem otáčet pro získání různých projekcí.

#### KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaký je rozdíl mezi skioskopií a skiagrafií? <sup>17</sup>

### 3.2 Příprava pacienta

RTG plic, nativní snímky jakéhokoliv orgánu

- nevyžadují speciální přípravu před vyšetřením
- souhlas nemocného s výkonem (dnes už i před snímkováním).

Kontrastní vyšetřování

- lačnění, očistné klyzma, alergická anamnéza
- podáváme antialergika (Dithiaden – i.m.)
- psychická příprava (děti, starší lidé), objasnění výkonu

RTG kontrastní vyšetření vývodných cest močových a genitálu:

- bez speciální přípravy, nástřik do zavedeného drénu.

Cystografie, mikční cystourethrografie, retrográdní urethrografie

- na lačno

<sup>17</sup>Skioskopie je dynamické zobrazení (pohyb tkání), skiografie je statické zobrazení (snímek).

- zavedení močového katetru na urol. ambulanci

#### I.v. urografie

- před vyšetřením 4 hodiny na lačno (mimo průhledných tekutin)
- před i po vyšetření dostatek tekutin
- příprava vztahující se k možnému podání kontrastní látky
- pokud má pacient potíže s vyprazdňováním, je vhodný večer před vyšetřením nálev
- na vyšetření přichází pacient bez šperků a zubní protézy

RTG kontrastní vyšetření trávicí trubice, RTG kontrastní vyšetření polykacího aktu, funkční vyšetření dolní části hltanu a jícnu

- pacient na lačno (od půlnoci nejíst, nepít, nekouřit)

#### RTG vyšetření žaludku a dvanácterníku

- pacient na lačno
- u pacienta se stenózou pyloru, je nutno odčerpat žaludeční obsah sondou

#### Irrigografie (kontrastní vyšetření tlustého střeva – optimální příprava)

- 1 den ráno a večer pacient vypije 200-300 ml 10 – 20% MgSO<sub>4</sub> nebo Fortrans dle návodu, přijímá dostatek tekutin, nejlépe čaj, přírodní šťávy
- 2. den ráno dostane pacient malý nálev
- jeden až dva dny před vyšetřením bezezbytková a nenadýmavá strava, hojnost tekutin bez obsahu oxidu uhličitého, nutnost kvalitní přípravy, na vyšetření pacient nalačno.

#### RTG kontrastní vyšetření tenkého střeva se zavedením sondy do tenkého střeva

- očištná příprava, jako u vyšetření tlustého střeva
- v den vyšetření zavedena při duodenální sondě na gastroenterologické ambulanci do žaludku.

#### RTG kontrastní vyšetření žlučových cest a vývodu slinivky břišní

- platí pravidla intervenčních výkonů
- laboratorní vyšetření (krvácivost, srážlivost)
- klid na lůžku nejméně 4 hodiny po vyšetření
- sledovat fyziologické funkce.

#### Mamografická vyšetření

- před vyšetřením nepoužívat tuhé deodoranty a krémy na oblast prsu a podpaží.

Obecnou kontraindikací všech rentgenových vyšetření je těhotenství.

### 3.3 RTG vyšetření orgánových systémů

#### 3.3.1 ZOBRAZOVÁNÍ DÝCHACÍCH CEST

Nativní snímek

- ve stoje, přímý, boční projekce
- vleže má snímek nižší kvalitu, protože vzestupem bránice jsou překryty plicní báze.

Bronchografie = RTG vyšetření bronchiálních cest pomocí kontrastní látky

- příprava – lačný, sedativa, antitusika
- po vyšetření – klid na lůžku – Fowlerova poloha, nepít nejíst 2 hod, odkašlávat, sledovat sputum

Bronchiální arteriografie (diagnostika nádorů, zdroje krvácení do plic)

- kontrastní látka se vstříkuje katétrem, který vede z aorty do odstupů a. bronchiales a jejich větvení.

Příprava

- nalačno, hemokoagulační odběry, premedikace, femostop
- po vyšetření – klid na lůžku, Fowlerova poloha, komprese místa vpichu, krvácení, hematomy, hemokoagulační odběry

Obrazy patologických změn

- projasnění – úbytek plicní tkáně a cévního větvení při zvětšení objemu
- zastínění – plošné stíny např. u infiltrace plicní tkáně

#### 3.3.2 ZOBRAZOVÁNÍ KARDIOVASKULÁRNÍHO SYSTÉMU

Angiografie zobrazuje srdeční dutiny, cévy malého oběhu a hrudní aortu pomocí kontrastní látky.

- pravostranná – zobrazení pravé síně, pravé komory a plicnice
- levostranná – zobrazení levé komory
- koronarografie – zobrazení věnčitých tepen.

Dále se používá

- ventrikulografie levé komory – podrobné zobrazení levé komory, zjištění poinfarktových změn, nedomykavost mitrální chlopně
- periferní arteriografie – zobrazení tepen na dolních končetinách
- flebografie – zobrazení hlubokého žilního systému.



### **K ZAPAMATOVÁNÍ**

- příprava – lačný, premedikace (sedativum, antihistaminikum), femostop, vyš. KO, hemokoagulace
- po vyšetření – 24 hod klid na lůžku, 6 hod komprese místa vpichu (sáček s pískem), kontrola místa vpichu, FF, tvorba hematomů, krvácení, odběr na KO, hemokoagulace, někdy bandáž končetin (prevence flebotrombózy)

---

### **3.3.3 ZOBRAZOVÁNÍ TRÁVICÍHO TRAKTU**

Nativní snímek břicha

- ve stoji, příprava před a sledování po vyšetření není nutné
- uložení a velikosti orgánů, možné patologie.

Kontrastní vyšetření žaludku

- ve stoje i v leže,
- příprava – lačnění alespoň 8 hod, žádné léky, nekouřit, vypije baryovou kaši,
- po vyšetření – vyprazdňování, přísun dostatku tekutin.

Kontrastní vyšetření tenkého střeva

- kontrastní látka (baryová suspenze) se vpravuje pomocí duodenální sondy
- příprava – vyprázdnění, lačnění alespoň 8 hod, zavedení sondy.

Kontrastní vyšetření tlustého střeva

- kontrastní látka (baryová suspenze) se aplikuje klyzmatem, někdy i dodatečně v poloze na břiše per rektum s následnou insuflací vzduchu
- příprava – důkladné vyprázdnění, dieta, lačnění.

Kontrastní vyšetření žlučníku

- kontrastní látka se játry vylučuje žlučí a plní žlučník

- příprava – den předem jen svačina, pak lačnění s užíváním kontr. látky v leže na pravém boku
- dnes nahrazeno ultrazvukem.

### 3.3.4 ZOBRAZOVÁNÍ MOČOVÉHO ÚSTROJÍ

Nativní snímek

- vleže, hodnotí se velikost, tvar, polohu ledvin

Vylučovací urografie

- kontrastní látka se aplikuje i.v. následné snímkování se provádí za 5 až 20 minut
- příprava – důkladné vyprázdnění, premedikace.

Arteriografie ledvin

- kontrastní vyšetření cévního zásobení
- příprava – důkladné vyprázdnění, lačnění, premedikace.

Cystoradiografie

- snímkování kontrastně naplněného měchýře v přímých a šikmých projekcích.

Obrazy patologických změn

- nefrolitiáza – různě velké a ohraničené stíny
- ledvinové kameny – defekt v kontrastní náplni ledvinové pánvičky
- cysty, nádory – vyklenutí obrysu nebo zvětšení pólu ledviny.

### 3.3.5 ZOBRAZOVÁNÍ SKELETU

Nativní snímek – nevyžaduje přípravu.

Artrografie

- kontrastní vyšetření kloubní dutiny
- příprava – lačnění, premedikace
- sledování – klid na lůžku.

Obrazy patologických změn

- změna šíře kloubní štěrbiny, vzájemného postavení kostí
- kostní výrůstky
- kalcifikace měkkých tkání

- snížená denzita kostní tkáně, snížený kontrast proti měkkým částem (osteoporóza).



### **KONTROLNÍ OTÁZKA**

Jaká je společná kontraindikace všech RTG vyšetření? <sup>18</sup>

---

---

<sup>18</sup>Těhotenství pacientky.





## 4 TERMOGRAFIE

### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Náplní této kapitoly jsou termografická zobrazení. Bude popsán princip metody a využívané snímače. Podrobněji budou též popsány indikace této méně využívané metody a příprava pacienta na termografické zobrazení.

### CÍLE KAPITOLY



Po prostudování této kapitoly budete umět:

- popsat princip termografie a uvědomit si omezené možnosti této metody,
- připravit pacienta na termografické vyšetření.

### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



spektrum vlnění, infračervená oblast, teplotní rozložení

### 4.1 Historie termografie

- 1595: první teploměr (G. Galilei)
- 1615: první termometr pro lékařské použití
- 1742: Celsiova stupnice
- 1800: objev infračerveného (IR) záření (W. Herschel)
- 1877: objev změny barvy teplotou u cholesterických esterů (Lehmann)
- 1934: první zviditelnění IR (Holst)
- 1940: přístroje pro vidění za tmy
- 1960: použití IR termografů v lékařství
- 1970: tekuté krystaly, termovizní kamery, významné uplatnění v ČR, svět 1960.

Teplotní rozložení

- teplota lidského organismu 35,5 - 37,5°C

- výjimečně i vyšší teploty
  - játra kolem 39 °C
  - kosterní svaly až 40 °C (při práci)
- probíhající patologické stavy termoregulaci narušují
- změny mohou být místní či celkové (nebezpečnější)
- kůže a podkoží = výměna a udržení tepla
- krevní oběh = regulace teploty.

Rozložení teploty na kůži tvoří teplotní reliéf. Jedná se o jakousi mapu s teplotními poklesy a vzestupy:

- teplejší jsou tkáně, které mají vyšší zastoupení cévního řečiště
- orgány s malým cévním zásobením jsou chladnější.



## KONTROLNÍ OTÁZKA

Co je teplotní reliéf? <sup>19</sup>

## 4.2 Princip metody

Vlnové délky

- celá infračervená oblast spektra 780 nm – 1 mm
- využívané termografii 0,7 – 14 μm.

Termografie určuje rozložení teplotního pole na povrchu těla. Rozlišujeme termografii

- kontaktní (snímač přiložen k povrchu těla)
- bezkontaktní (snímač mimo povrch těla).

Kontaktní metoda

- využívá optických vlastností kapalných tekutých krystalů
- tekuté krystaly měří teplotu v rozmezí 10 – 120°C
- červená pro studenou a modrá pro teplou.

Bezkontaktní termografická metoda

- využívá infračerveného záření (IR) emitovaného povrchem těla
- barvy odpovídají určitým teplotám podle barevné škály.

<sup>19</sup>Jedná se o „mapu“ rozložení teploty na povrchu těla.

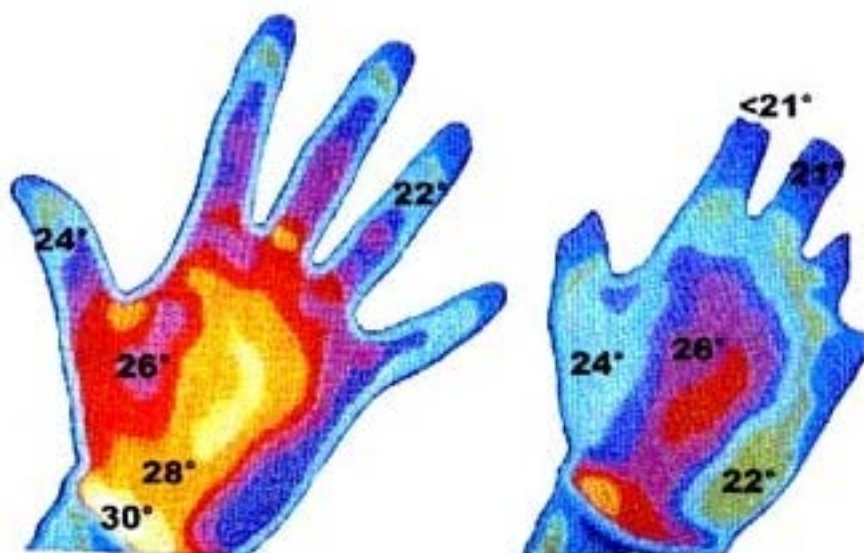
Výstupem termografie je termogram. Důležitým parametrem je teplotní citlivost, která u dobrých kamer může dosahovat až 0,05 °C).

Výhody:

- vysoké teplotní a prostorové rozlišení
- rozložení teplot je znázorněno pomocí izoterm
- možnost zobrazení teplotních profilů
- rychlé měření.

Nevýhody

- závislost na zářivosti povrchu sledovaného tělesa.
- rozložení povrchové teploty je různé i u zdravých lidí
- musíme vždy srovnávat teploty symetrických částí těla



Obrázek 5: Termografický snímek [[http://bupropion-150mg.com/health\\_risks.htm](http://bupropion-150mg.com/health_risks.htm)]

- nelze použít pro screeningová vyšetření.

### 4.3 Využití termografie

Indikace

- angiologie a flebologie (onemocnění periferních cév)
- endokrinologie (nemoci štítné žlázy)
- nemoci lymfatického systému
- oftalmologie (onemocnění intraorbitální a intraokulární)
- gynekologie a porodnictví

- nemoci a záněty kloubů
- vymezení spálenin a omrzlin
- otorinolaryngologie (záněty vedlejších nosních dutin)
- hodnocení krevního zásobení po rekonstrukční plastické chirurgii.
- vyšetření poškození pohybového aparátu z přetížení
  - teplé ložisko = akutní zánět při poškození pohybového aparátu (přetížení, natažení a natržení svalů, šlach, úponů, zánět tíhových váčků, zlomeniny kostí aj.) nebo většího zatížení svalů (větší prokrvení a energeticko-metabolický obrat)
  - studené ložisko = hojení jizvou a menší prokrvení po poškození úrazem nebo přetěžováním (svaly, šlachy, úpony aj.).

#### 4.4 Příprava na termografické vyšetření

Pro vyšetřování je vhodné mít dvě místnosti

- samostatná adaptační místnost
- vlastní vyšetřovací laboratoř.

Podmínky vyšetřování

- v obou místnostech teplota okolo 20 °C
- zamezení proudění vzduchu v adaptační i vyšetřovací místnosti
- místnosti bez oken, bez klimatizace, dobře uzavřeny, osvětlení studené (na žárovky), vytápění podlahové.
- aklimatizační čas vyšetřovaného kolem 20 min
- vyšetřovaná část těla musí být v průběhu aklimatizace odkrytá.

Význam adaptační teploty

- mnohem nižší než teplota povrchu lidského těla, diference je důležitou podmínkou pro získání kvalitního kontrastu na termogramu
- vysoká teplota = termogram těla není dostatečně kontrastní na pozadí (snížená tepelná výměna)
- nízká teplota = velký výdej tepla z pacienta, nežádoucími vegetativními změnami.

Teplotní pole vyšetřované oblasti je ovlivněno

- vasodilatací
- vasokonstrikcí.

Proto před vyšetřením není dovoleno vykonávat fyzickou práci, pít alkohol, kouřit nebo brát léky toto způsobující (např. vasodilatancia).

## KONTROLNÍ OTÁZKA



Jak dlouho je nutno aklimatizovat pacienta před termografickým vyšetřením? <sup>20</sup>

---

### Pacient v klidu

- uvolněné svalstvo
- končetiny oddálit od trupu, prsty roztáhnout od sebe.

### Úprava povrchu těla pacienta

- podle vyšetřované oblasti zamezit otlakům (zvyšují průtok krve, a tím i metabolické pochody a teplotu) např. bez podprsenky, bez ponožek
- nutné zbavit pokožku ochlupení
- očištění pokožky od kosmetických přípravků
- kožní změny (bradavice, jizvy) nutno zaznamenat do vyšetřovacího protokolu
- zobrazování prsů 10 dní po menstruaci.

### Hodnocení

- srovnat s teplotou symetrické partie na opačné straně, s teplotou okolní tkáně s klinickým nálezem
- fyziologický teplotní rozdíl symetrických partií těla by neměl být vyšší než 0,5 °C
- u starších osob nad šedesát let je prokrvení změněno degenerativními procesy způsobené stárnutím organismu.

---

<sup>20</sup>Doporučuje se 20 minut.

## 5 KONTRASTNÍ LÁTKY. NEŽÁDOUCÍ ÚČINKY PODÁNÍ KONTRASTNÍCH LÁTEK. PREVENCE A LÉČBA ALERGICKÝCH REAKCÍ



### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Pro zobrazování měkkých tkání nebo interních dutin je nutné zvýšit útlum RTG záření (případně jiných zobrazovacích modalit), protože jinak by nevznikl dostatečný kontrast pro diagnostiku. K tomu slouží kontrastní látky.

---



### CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete:

- mít přehled o používaných kontrastních látkách,
  - připraveni na možné nežádoucí účinky podání kontrastní látky.
- 



### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

kontrastní látky, osmolarita, alergická reakce

---

Kontrast RTG snímku je závislý na rozdílu absorpce RTG záření ve tkáních. Je-li tento rozdíl malý, je nutné ho zvýšit podáním kontrastní látky = KL

### 5.1 Rozdělení kontrastních látek

Kontrastní látky (KL)

- pozitivní – zvyšují absorpci (útlum)
- negativní – snižují absorpci (útlum)
- speciální
  - KL pro magnetickou rezonanci (paramagnetické látky, zkracují relaxační časy)
  - KL pro ultrasonografii (plynové mikrobubliny)

### Pozitivní kontrastní látky

- Vodné (jodové) kontrastní látky
  - ionické (disociace na elektricky nabitě ionty)
    - monomery
    - dimery
  - neionické (bez disociace, lepší snášenlivost)
    - monomery
    - dimery
- Baryové kontrastní látky (suspenze BaSO<sub>4</sub>)

### Negativní kontrastní látky

- plyny (vzduch, oxid uhličitý)
- tekutiny (voda, methylcelulosa, HP-7000)
- dnes jejich využití jen výjimečně.

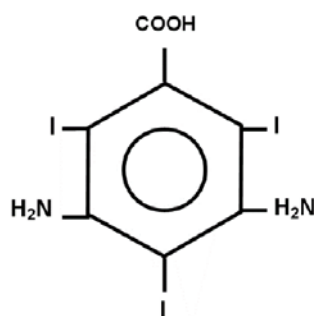
## 5.2 Vlastnosti kontrastních látek

Co od kontrastních látek očekáváme?

- radiopacitu (tlumení RTG záření) – použití prvků s vysokým protonovým číslem
- rozpustnost ve vodě
- sterilitu
- pH blízké tělesnému prostředí
- účinnost při tělesné teplotě
- chemickou stabilitu v těle
- nedráždivost
- rychlé vylučování z organismu
- stabilitu při skladování

Chemická struktura

- základem je molekula benzenu
- přidání karboxylových skupin za vzniku kyseliny benzoové zvyšuje rozpustnost
- substituce tří atomů jódu dává požadovanou radiopacitu (nepropustnost pro záření)
- substituce dvou amidových skupin NH<sub>2</sub> omezuje toxicitu



**Obrázek 6: Základní molekula jodové kontrastní látky**

### **Pozitivní kontrastní látky – jodové**

- jód je v molekule kontrastní látky pevně chemicky vázán
- absorbuje RTG záření a proto zodpovědný za vznik RTG kontrastu
- v roztoku kontrastní látky je vždy z výrobních důvodů přítomno velmi malé množství i volného jódu
- kontrastní látka neruší funkci zdravé štítné žlázy, u pacientů s latentním onemocněním štítné žlázy představuje relativní kontraindikaci podání
- jodové kontrastní látky mohou snižovat příjímací funkci štítné žlázy pro jód a tím ovlivnit funkční test štítné žlázy s izotopy jódu ještě 2-6 týdnů po vyšetření

### Farmakokinetika

- výborná distribuce v extracelulárním prostoru, minimální intracelulární distribuce
- většina vyloučena ledvinami
- poločas v plazmě závisí na glomerulární filtraci, normálně 1,5 –2 hod, malé množství (do 2 %) vyloučeno žlučovými cestami
- normálně neprochází hematoencefalickou bariérou (tam, kde je porušena, se může kontrastní látka dostat do mozkového parenchymu)

### **Pozitivní kontrastní látky – baryové**

- základem je síran barnatý  $BaSO_4$  = netoxický, nerozpustný ve vodě;
- používají se pro vyšetření trávicí trubice
- podávají se ve formě suspenze – ne roztoku

### RTG kontrastní látky – skladování

- chránit před světlem (citlivost zejména na ultrafialovou složku s vlnovou délkou delší než 450 nm), světlo může indukovat pokles pH a uvolňování anorganického jódu
- nevystavovat RTG paprskům
- pokojová teplota (krystalizace při nízkých teplotách)

### Stabilita



- v přípravcích jsou obsaženy podpůrné stabilizační látky, které mohou vést rovněž k nežádoucím reakcím
- stabilita garantována výrobcem většinou 3-5 let

### 5.3 Zásady intravaskulárního podání kontrastní látky

Vybavené pracoviště, lékař vyškolen v léčbě nežádoucích reakcí a kardiopulmonální resuscitaci

- před podáním jodové KL – alergická anamnéza, znalost hladiny kreatininu, žilní přístup, dostupnost lékaře ARO

Vysokoosmolární JKL možno podat

- u pacientů ve věku 15-70 let s normální funkcí ledvin bez DM
- premedikace není nutná

Nízkoosmolární JKL podat u rizikových pacientů

- děti do 15 let, věk nad 70 let, nefropatie, nestabilní klinický stav, akutní cévní mozková ischemická příhoda, kumulace kontrastních vyšetření, DM, transplantovaná ledvina, hypertyreóza, feochromocytom
- polyvalentní alergie, asthma bronchiale, předchozí reakce na JKL premedikace kortikoidy

### 5.4 Relativní kontraindikace podání JKL

- závažná alergická reakce na předchozí podání JKL
- těžké funkční poruchy ledvin a jater (kreatinin nad 200  $\mu\text{mol/l}$ )
- mnohočetný myelom (při podání jodové KL zajistit řádnou hydrataci k prevenci precipitace bílkoviny v ledvinách)
- těhotenství
- laktace (v případě nutnosti doporučeno přerušení kojení na 24 h)
- jodová KL nesmí být podána 2 měsíce před léčbou a izotopovým vyšetřením štítné žlázy
- zvážit alternativní kontrastní látky ( $\text{CO}_2$ , gadolinium) nebo použití jiné zobrazovací metody

### 5.5 Akutní nepředvídatelné reakce na podání kontrastní látky

- reakce alergické (vyvolány reakcí antigenu s protilátkou po předchozí expozici alergenu)

- reakce pseudoalergické se stejnou symptomatologií (bez předchozího styku organismu s alergenem, k aktivaci imunitních procesů dochází jinými mechanismy)

#### Reakce alergické a pseudoalergické

- projevy mírné: urtika, bolesti hlavy, zvracení, bolesti břicha, průjem, konjunktivální reakce

#### Reakce anafylaktické a pseudoanafylaktické

- projevy těžké: symptomy jako u akutní alergické reakce s tachykardií, poklesem tlaku, bledost

#### Anafylaktický (anafylaktoidní) šok

- projevy podobné anafylaktické reakci s bezvědomím, respiračním selháním, oběhovým selháním a srdeční zástavou

#### Klinické projevy

- kožní projevy–zrudnutí v obličeji, generalizovaná urtika, angioedém, konjunktivální reakce, bledost, cyanóza,
- vazodilatace s hypotenzí a tachykardií, na hypotenzi se podílí i zvýšená propustnost kapilár, to vede ke snížení komorových plicních tlaků, snížení srdečního výdeje a může být postižena i funkce myokardu
- únik tekutiny bohaté na bílkoviny se projeví edémy–v obličeji, otok hrtanu
- bronchospasmus, rýma, nevolnost, zvracení, křeče v břiše, průjem, plicní edém, křeče, kóma, poruchy krevního srážení
- pocit dušení, úzkosti

## 6 ANGIOGRAFIE – INDIKACE, PŘÍPRAVA PACIENTA, INSTRUMENTÁRIUM

### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Angiografie je dnes důležitou vyšetřovací metodou nejen v kardiologii a cévním lékařství, ale např. také v onkologii, kde zobrazí způsob krevního zásobení nádorů a umožní naplánování chirurgického výkonu.

---

### CÍLE KAPITOLY



Po prostudování této kapitoly budete:

- rozumět výhodám použití angiografických metod
  - znát přípravu pacienta na tato vyšetření.
- 

### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



angiografie, instrumentárium, kontrastní látka, skioskopie

### DEFINICE



Angiografie je metoda zobrazení cévního řečiště nebo jeho částí (tepen i žil). Obvykle je využíváno RTG záření.

---

U této metody se cévy zobrazují obvykle nástřikem kontrastní látky pomocí katetrů zaváděných nejčastěji z třísla nebo z podpaží.

### 6.1 Příprava pacienta

- příprava – nalačno, ale dostatečná hydratace; vysadit warfarin, heparin, perorální antidiabetika; místa vpichu před vyšetřením vyholit, vydezinfikovat, místní znecitlivění injekcí a přikrytí sterilními rouškami,

- během výkonu sledovat EKG, saturaci, krevní tlak, tepovou a dechovou frekvenci, celkový stav pro včasné rozpoznání alergická reakce,
- komplikace – alergie na kontrastní látku, krvácení v okolí vpichu, trombózy cévy, viz kapitolu o kontrastních látkách,
- po vyšetření – klidový režim na lůžku min 6 hodin podle povahy výkonu, tlakový obvaz na místo vpichu cévy, sledování bolesti nebo krvácení.

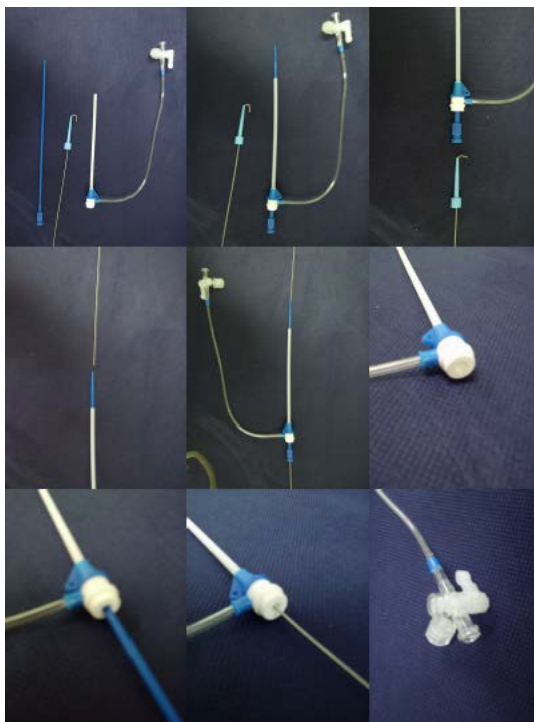
V případě potřeby je možné provedení roztažení zúžené cévy – tzv. angioplastika (PTA). Tento zákrok si může vyžádat další vpich a také prodlouží dobu samotné vyšetření.

## 6.2 Speciální instrumentárium pro angiografii

- jednorázové sterilní krytí pacienta
- punkční jehla
- sheat
- vodič
- zaváděcí katétr.

Charakteristiky angiografické instrumentária

- délka (jehly, sheaty, vodiče i katétrů)
- tvar zakončení (vodiče, katétrů) – rovné nebo ve tvaru J
- tuhost zakončení (vodiče) – velmi měkké, měkké, standardní, tuhé a velmi tuhé
- hydrofilní zakončení (vodiče).



Obrázek 7: Angiografické instrumentárium [18]

### KONTROLNÍ OTÁZKA



Vyjmenujte základní angiografické instrumentárium.<sup>21</sup>

U punkční jehly, sheatu, vodičů a katétrů je třeba věnovat pozornost rozměrům materiálu, aby byl pro dané vyšetření kompatibilní.

### 6.3 Digitální subtrakční angiografie (DSA)

Využitím digitalizace skiaskopického obrazu a subtrakcí (odčtením) obrazů před a po užití kontrastní látky lze zobrazit pouze struktury s kontrastní látkou, tj. anatomii cév.

- používá se při zobrazování periferních tepen
- maska = obraz dané vyšetřované oblasti se všemi anatomickými strukturami (kosti, měkké tkáně, plyn) bez kontrastní látky
- jednotlivé pixely masky jsou následně odečítány z každého dalšího obrazu při náplni kontrastní látkou

<sup>21</sup>Punkční jehla, sheat, vodič, zaváděcí katétr, balónek, stříkačky.

- na výsledném subtrahovaném obraze vidíme kontrastní látkou naplněnou cévu na bílém pozadí.

Rozlišujeme např.

- DSA břišní aorty a tepen dolních končetin
- DSA oblouku aorty, karotid a vertebrálních tepen
- DSA tepen horních končetin
- DSA angiografie mozkových tepen.



### KONTROLNÍ OTÁZKA

Vyberte nesprávnou odpověď: mezi angiografické instrumentárium patří <sup>22</sup>

a) punkční jehla

b) sheat

c) stent

d) balón

---

<sup>22</sup>c)

## 7 VÝPOČETNÍ TOMOGRAFIE (CT) – PRINCIP, INDIKACE, PŘÍPRAVA K VYŠETŘENÍ

### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Náplní této kapitoly je objasnit fungování tomografických zobrazovacích systémů. Tomografie je vlastně obecnou matematickou metodou rekonstrukce obrazu na základě detekce útlumu RTG záření. Dále bude podrobně popsána příprava pacienta na tomografické vyšetření.

### CÍLE KAPITOLY



Po prostudování této kapitoly budete umět:

- popsat princip tomografických zobrazovacích metod
- připravit pacienta na vyšetření počítačovou tomografií.

### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



tomografie, útlum RTG záření, Hounsfieldova stupnice

### 7.1 Historie výpočetní tomografie

- 1924: základní matematická myšlenka (Radon)
- 1963: princip rekonstrukce obrazu (Cormack)
- 1971: konstrukce přístroje (Hounsfield)
- 1974: první přístroj III. generace
- 1979: Nobelova cena
- 1989: spirální snímání
- 1994: dvouřadé spirální CT
- 1998: MDCT (Multi-detector Spiral CT, 4-řadé)
- 2001: MDCT (16-řadé)
- 2006: DSCT (Dynamic Spiral CT Scanning)

## 7.2 Princip výpočetní tomografie

Pojem tomografie vychází z řeckého slova „tomé“ = řez. Zobrazuje tkáň ve vrstvách (řezech).

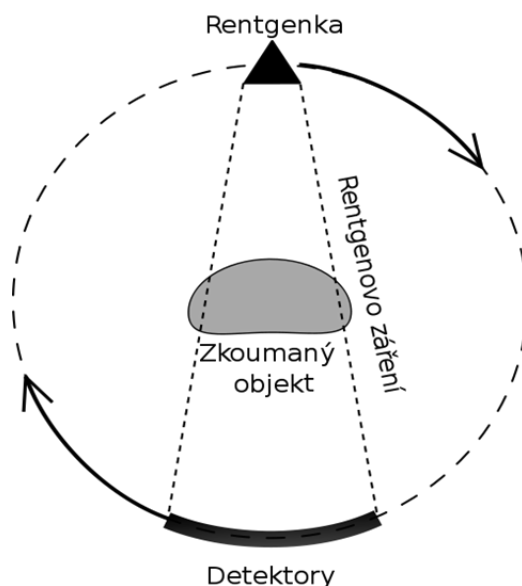
Základní princip: zdroj i detektor jsou na jedné ose. Ostře se tak zobrazí pouze rovina, v níž leží osa otáčení. Ostatní roviny jsou rozmazané.

- kolem vyšetřovaného pacienta obíhá po kruhové ose soustava rentgenky a detektorů
- brzdné záření emitované v rentgence prochází vyšetřovaným pacientem
- detektor zaznamená intenzitu záření, které prošlo pacientem
- RTG záření se nejvíce pohlcuje v kostech, méně v měkkých tkáních a nejméně v tukových vrstvách a plicích.

Mezi počáteční a prošlou intenzitou rentgenového záření je vztah

$$I = I_0 e^{-\mu d}$$

kde  $I_0$  je hodnota vstupní intenzity záření,  $I$  je hodnota výstupní intenzity,  $d$  je tloušťka materiálu a  $\mu$  je lineární součinitel zeslabení.



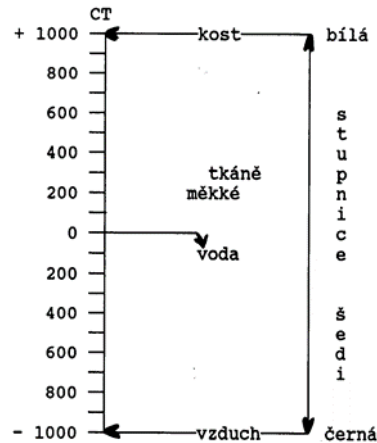
**Obrázek 8: Princip výpočetní tomografie**  
[<http://cs.wikipedia.org/wiki/Soubor:PrincipCT.svg>]

Poměr mezi počáteční ( $I_0$ ) a prošlou ( $I$ ) intenzitou rentgenového záření se získá při mnoha úhlech natočení.



**K ZAPAMATOVÁNÍ**

Přívlastek „výpočetní“ znamená, že obraz řezu je nutno vypočítat. To provede výkonný počítač, který je součástí tomografu. Děje se tak vypočítáním soustavy mnoha rovnic, každá odpovídá jednomu úhlu natočení. Sledovaný řez je nahrazen maticí objemových prvků, tzv. voxelů. Výsledkem řešení soustavy rovnic bude přiřazení koeficientu zeslabení každému voxelu. Zobrazení je ve stupnici šedi od černé po bílou s rozdělením na 2000 relativních hodnot tzv. Hounsfieldovy stupnice (CT čísla).



Obrázek 9: Hounsfieldova stupnice (CT čísla) [7]

**KONTROLNÍ OTÁZKA**

Zopakujte si základy anatomie. Jaké známe řezy tělem? Jaký řez zobrazuje CT? <sup>23</sup>

Zdroj RTG

- RTG trubice
- pracovní napětí 80 – 140 kV
- plovoucí ohnisko.

Generace CT

I. a II. generace

- translačně rotační princip

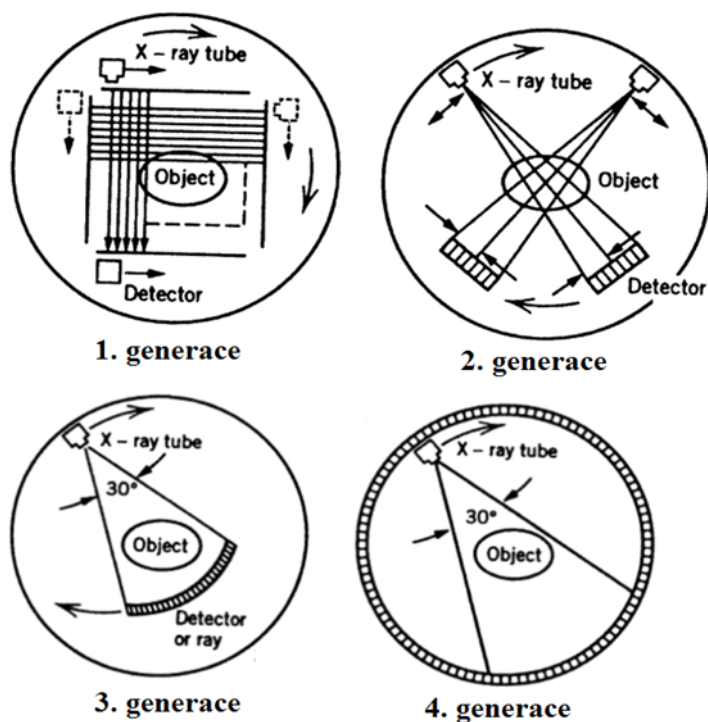
<sup>23</sup>Řezy – mediální, sagitální, transverzální, longitudinální. Při CT zobrazujeme transverzální řez.

### III. generace

- kontinuálně rotační princip
- základem spirálního CT a MDCT

### IV. generace

- pevný detektorový prstenec a rotující rentgenka



Obrázek 10: Generace CT [7]

Spirální CT = kombinace

- kontinuálně rotačního principu
- kontinuálního posunu stolu.



## KONTROLNÍ OTÁZKA

Co se u výpočetní tomografie „vypočítává“? <sup>24</sup>

CT angiografie = zobrazení dutých struktur pomocí kontrastní látky (k.l.)

<sup>24</sup>Soustava mnoha rovnic, kde neznámé veličiny jsou koeficienty zeslabení daných voxelů.

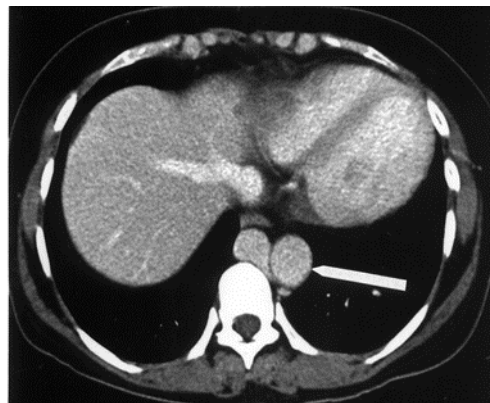
- i.v. aplikace neiontové jodové k.l. (60-140 ml k.l. dle váhy pacienta a požadované lokalizace vyšetření)
- absolutní kontraindikace = alergická reakce na i.v. aplikaci k.l. v předchozím období
- malá zátěž pacienta (fyzická, psychická a radiační).

### KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaké jsou rozdíly mezi I., II, III. a IV. generací CT? <sup>25</sup>

## 7.3 Zobrazování pomocí výpočetní tomografie



Obrázek 11: Obrázek získaný pomocí CT (transverzální řez)  
[<http://www.hpb.cz/cz/cas/04-1-2/img/tres02.jpg>]

### KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaké mohou být, na základě vašich současných znalostí, kontraindikace pro vyšetření CT? <sup>26</sup>

## 7.4 Příprava pacienta

- lačnění 4 hod před výkonem pouze čiré tekutiny, zajistit dostatečnou hydrataci pacienta

<sup>25</sup>Rozdíly jsou ve způsobu otáčení soustavy rentgenka-detektor okolo pacienta a v počtu detektorů.

<sup>26</sup>Jedná se o metodu využívající RTG záření. Kontraindikací může být např. těhotenství pacientky.

- zjištění všech kontraindikací ze zdravotnické dokumentace
- pacient bez šperků a zubní protézy

nerizikovní pacienti

- bez alergické anamnézy
- normální funkce ledvin
- možno použít kontrastní látky vysokoosmolální (Telebrix) i nízkoosmolální (Ultravist, Optiray, Iomeron).

rizikovní pacienti

- děti do 15 let, senioři nad 70 let
- alergie nebo astma
- porucha funkce ledvin
- klinicky nestabilní stav
- akutní cévní mozková příhoda
- více kontrastních vyšetření
- diabetes mellitus
- možno použít kontrastní látky pouze nízkoosmolální, v akutním případě nasadit kortikoidy a antihistaminika.



### KONTROLNÍ OTÁZKA

Vyberte **nesprávné** odpovědi: mezi hodnoty Hounsfieldovy stupnice patří: <sup>27</sup>

- a) 0      b) 10000      c) -5000      d) 1855      e) -2540      f) 59

---

<sup>27</sup>b), c), e)

## 8 ULTRAZVUK – PRINCIP, INDIKACE, PŘÍPRAVA K VYŠETŘENÍ

### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY



Náplní této kapitoly jsou fyzikální a aplikační principy ultrazvukových zobrazovacích metod. Dále popis různých režimů zobrazení a podrobnější seznámení s přípravou pacienta na ultrazvuková vyšetření různých orgánů.

### CÍLE KAPITOLY



Po prostudování této kapitoly budete umět:

- popsat rozdíly mezi různými režimy ultrazvukového zobrazení
- připravit pacienta na ultrazvuková vyšetření různých orgánů.

### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY



mechanické vlnění, ultrazvukové pole, útlum vlnění, piezoelektrický jev, Dopplerův jev

### DEFINICE



Ultrazvuk (UZ) = mechanické kmity prostředí, jejichž kmitočet je vyšší než 20 kHz. Od zvuku se liší pouze kmitočtem. Zdravotnické diagnostické ultrazvuky pracují s kmitočty 3-10 MHz, i vyššími.

Použití ultrazvuku v medicíně

- diagnostika (zobrazování, měření vzdálenosti a rychlosti)
- terapie (fyziatrie, chirurgie, stomatologie, litotrypse)
- detekce pohybu a hladin tekutin, denzitometrie
- jiné (čištění, dezintegrace tkání).

## 8.1 Historie medicínského využití ultrazvuku

- 1790: pokusy s netopýry (Lazzaro Spallanzani)
- 1826: sonografie s podvodním zvonem, rychlost zvuku ve vodě (Jean-Daniel Colladon)
- 1881: piezoelektrický jev, moderní ultrazvuková sonda (Pierre Curie).
- 1915: sonar (Paul Langevin)
- 1920: objeveny destrukční účinky ultrazvuku
- 1940: první snímek ultrazvukem (Karl Dussik)
- 1950: záznam průchodu ultrazvuku tkání (George Luwig)
- 1953: použití k léčbě revmatoidní artritidy
- 1954: použití v gynekologii, B-mód

## 8.2 Vlastnosti ultrazvukového vlnění

### Vlny

- frekvence, rychlost šíření, vlnová délka
- směr šíření, prostorové rozložení vln
- amplituda, útlum, akustická rychlost.

### Energie

- intenzita, útlum
- prostorové rozložení energetického pole.

### Harmonické kmity

- netlumené
- tlumené (zmenšující se rozkmit).

### Vlnění podle typu energie

#### Mechanické

- vlny na moři
- seismické vlny
- zvukové vlny.

#### Elektromagnetické

- rádiové vlny
- RTG
- záření  $\gamma$

- světlo.

Mechanické vlnění prostředí

- příčné
- podélné.

### 8.3 Ultrazvukové pole

Šíření ultrazvuku prostředím je realizováno kmitáním částic tohoto prostředí. V prostředí nehmotném (vakuum) nebo velmi málo hmotném (vzduch) se UZ šířit nemůže, resp. je ihned utlumen. Ve hmotném prostředí jsou částice mezi sebou vzájemně vázány a jejich kmitání okolo rovnovážných poloh se tak přenáší na další sousední částice. Ultrazvuk se tak šíří prostředím (tkání) dále.

Vlastností prostředí

- hustota
- modul pružnosti K, E
- akustická impedance Z
- rychlost šíření c.

Rychlost šíření UZ vlnění je v homogenním prostředí závislá na elasticitě prostředí K a jeho hustotě

$$c = \sqrt{\frac{K}{\rho}} \text{ [m.s}^{-1}\text{]}$$

#### KONTROLNÍ OTÁZKA



Proč se ultrazvuk nešíří vzduchem? <sup>28</sup>

V měkkých tkáních či vodě je rychlost  $c = 1500 \text{ m.s}^{-1}$ , v kostech kolem  $3600 \text{ m.s}^{-1}$ . Při konstrukci zobrazovacího systému se vychází z konstantní rychlosti šíření ultrazvukové energie  $1540 \text{ m.s}^{-1}$ .

**Tabulka 5: Rychlost šíření ultrazvuku v různých tkáních**

Materiál	Rychlost šíření [m/s]
Vzduch	330
Voda	1480

<sup>28</sup>Kmitočet tohoto mechanického vlnění je příliš velký, proto je ihned utlumen.

<b>Materiál</b>	<b>Rychlost šíření [m/s]</b>
Plíce	600
Tuk	1460
Játra	1510
Ledviny	1550
Sval	1600
Oční čočka	1620
Lebeční kost	4080

Ke generování a detekci ultrazvuku se využívá nejčastěji piezoelektrický jev.

- UZ měnič při generování ultrazvuku mění elektrický signál na akustický
- při detekci naopak akustický signál na elektrický
- v medicínských aplikacích se většinou používají měniče na principu piezoelektrického jevu
- UZ měnič vysílá impulzy trvající několik milisekund.

Podle vyzařované vlnové délky a rozměrů měniče rozlišujeme ve směru vyzařovaného ultrazvuku:

- blízkou ultrazvukovou oblast (Fresnelovu)
- vzdálenou ultrazvukovou oblast (Fraunhoferovu)

Blízká ultrazvuková oblast je charakteristická:

- nízkou rozbíhavostí UZ pole
- výraznými změnami intenzity UZ
- délka blízkého pole je přímo úměrná velikostí piezoelektrického krystalu
- nepřímo úměrná frekvenci.

Vzdálená ultrazvuková oblast je charakteristická:

- vzrůstající rozbíhavostí UZ pole
- postupným poklesem intenzity ze vzdáleností od měniče
- téměř neexistencí interferenčních jevů.

Ultrazvukové vlny emitované UZ měničem se šíří prostředím a vytvářejí ultrazvukové pole.

Charakteristické parametry vyzařovaného pole

- kmitočet ultrazvuku (vlnová délka)
- průměr měniče
- ohnisková vzdálenost
- blízká oblast
- vzdálená oblast.



Při průchodu ultrazvuku tkáněmi mohou nastat:

- odrazy (hladká homogenní rozhraní o velikosti větší, než je šířka svazku, například povrchy orgánů)
- Rayleighův rozptyl (malé rozměry rozhraní, např. krevní buňky, převládá v nehomogenním prostředí)
- lomy (od kolmice z řidšího do hustšího prostředí – opačně než u světla! – někdy zkresluje obraz)
- absorpce (UZ energie se přemění na teplo)
  - roste s rostoucím kmitočtem
  - největší v plicích, nejmenší v měkkých tkáních
- interference – vznik teček v UZ obrazech jako důsledkem interference vln vznikajících při Rayleighově rozptylu
- difrakce – ohyb vlnění

Na každém rozhraní tkání se částečně se odrážejí a částečně procházejí dále. Odražené vlny jsou měničem zaregistrovány. Odraz vzniká na základě rozdílů v akustických impedancích tkání.

Akustická rychlost = rychlost pohybu kmitajících molekul prostředí.

Akustický tlak = tlak, kterým na sebe působí kmitající molekuly prostředí.

Koeficient přenosu  $D$  = poměr akustických tlaků prošlého a dopadajícího vlnění.

Koeficient odrazu  $R$  = poměr akustických tlaků odraženého a dopadajícího vlnění.

## KONTROLNÍ OTÁZKA



Proč je při vyšetřeních nutno používat kontaktní gely? <sup>29</sup>

## 8.4 Ultrazvuková zobrazení

Ultrazvukové zobrazení je díky své dostupnosti, levnosti, rychlosti a bezpečnosti nejvíce používaná zobrazovací metoda v medicíně. Je vhodná jen pro zobrazování měkkých tkání.

Módy zobrazení

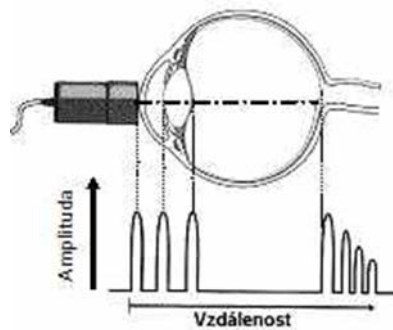
- A – mód – zobrazuje amplitudu signálu (Amplitude)
- B – mód – zobrazuje jas (Brightness), který odpovídá amplitudě signálu

<sup>29</sup>Aby se energie ultrazvuku netlumila ve vzduchu a procházela pouze „hmotným“ prostředím.

- statický (složený) – vytváření tomogramu je jednorázové
- dynamický – je schopen zobrazovat pohyblivé struktury pomocí sekvence statických snímků
- TM – mód – zaznamenává časový průběh pohybu zobrazených struktur
- CFM – mód – zobrazuje barevné mapování rychlosti toku (Color Flow Mapping)
- C – mód – zobrazení struktur v rovině kolmé ke směru šíření ultrazvuku v konstantní (Constant) vzdálenosti od sondy, prakticky není používán.
- kombinovaný (A+B, B+TM) – kombinace jednotlivých způsobů zobrazení je využívána velmi často.

#### 8.4.1 A-MÓD

- využívá pouze úzkého svazku např. z jednoho UZ měniče
- zobrazují se vzdálenosti mezi UZ sondou s jednotlivými odražejícími rozhraními tkání
- vzdálenost mezi odrazy (echy) od jednotlivých rozhraní tkání je úměrná jejich skutečným vzdálenostem
- amplituda přijatého signálu je úměrná echogenitě rozhraní (koeficientu odrazu)
- používán pro přesné měření vzdáleností, zejména v oftalmologii.



**Obrázek 12: Použití A-módu v oftalmologii**

[[www.med.muni.cz/biofyz/doc/lec-cs/tlak-gravitace-ultrazvuk-fin.ppt](http://www.med.muni.cz/biofyz/doc/lec-cs/tlak-gravitace-ultrazvuk-fin.ppt)]

#### 8.4.2 B-MÓD

- zobrazuje se tomogram
- jas bodů na obrazovce je úměrný echogenitě rozhraní (koeficientu odrazu)

Statické B-zobrazení

- používáno v 50. a 60. letech 20. století
- obraz příčného řezu vyšetřované oblasti v rovině dané osou svazku a směrem manuálního posunu sondy po povrchu těla

- rovinou řezu postupně procházejí jednotlivé paprsky ultrazvuku a přijatá echa se ukládají do paměti a následně se na obrazovce vytvoří záznam dvourozměrného obrazu
- velikost amplitudy echa je převedena na jas bodu, jehož poloha odpovídá poloze ve směru ultrazvukového paprsku – výsledný obraz se tak vzniká průchodem velkého počtu UZ svazků.

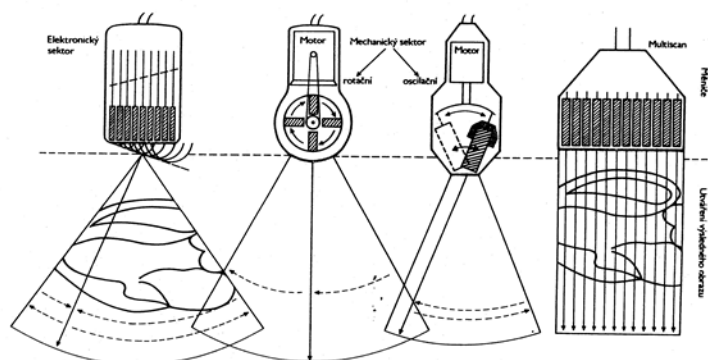
Dynamické B-zobrazení (dnes nejběžnější)

- vzniká opakovaným vytvářením obrazů v B-zobrazení rychlým vychylováním UZ svazku v reálném čase
- UZ sondy vytvářejí fokusační profil
  - elektronické x mechanické (historie)
  - sektorové x lineární.



**Obrázek 13: Zobrazení pomocí ultrazvuku v B-módu**

Elektronické sondy se skládají z mnoha piezoelektrických měničů, které jsou postupně aktivovány. Prostorová rozlišovací schopnost sonografů se zlepšuje s klesající vlnovou délkou (rostoucím kmitočtem) použitého UZ. Tyto vyšší kmitočty však hůře pronikají do hloubky tkání.



**Obrázek 14: Ultrazvukové sondy pro B-zobrazení [7]**

### 8.4.3 TM – MÓD

- obraz vytvářen časovým záznamem polohy bodů jediného UZ svazku obrazu v B-módu
- svazek opakovaně vysílán více jak tisíckrát za sekundu
- zachycení velmi rychlých dějů
- vyšetření srdce (echokardiografie).

Statická sonda zachycuje odrazy od pohybujících se struktur. Světlé body se pohybují vertikálně na obrazovce, horizontální posun záznamu je způsoben pomalou časovou základnou.

### 8.4.4 ECHOKONTRASTNÍ PROSTŘEDKY

- ke zlepšení kontrastu některých tkání
- zvyšují echogenitu proudící krve
- plynové mikrobubliny (průchod plicními kapilárami)
- používá se hlavně vzduch nebo těkavé uhlovodíky.

## 8.5 Využití Dopplerova jevu

Dopplerův jev

- spočívá ve změně kmitočtu mezi vysílaným a detekovaným vlněním
- zdroj a detektor vlnění se navzájem pohybují, nebo když se vlnění odráží od pohybujícího se objektu
- pro medicínu je nejdůležitější při odrazu ultrazvuku od pohybujících se erytrocytů
- využívá se při měření rychlosti toku krve nebo pro detekci a měření pohybu některých akustických rozhraní uvnitř těla (srdce plodu, stěny cév).

**K ZAPAMATOVÁNÍ**

Kmitočet přijímaného vlnění se

- snižuje, pokud se odražeč vzdaluje (registruje se méně vlnoploch)
- zvyšuje, pokud se odražeč přibližuje (registruje se více vlnoploch)

Rozdíl kmitočtů označujeme jako kmitočtový zdvih, pro nějž platí

$$\Delta f = \frac{2f_0 v \cdot \cos\varphi}{c}$$

Rozdělení dopplerovských průtokoměrů podle způsobu vysílání ultrazvuku

- průtokoměry se spojitou vlnou (CW, Continuous Wave) = UZ vysílán trvale jedním měničem a odražený signál přijímán druhým měničem, sonda tvořena dvěma samostatnými měniči,
- průtokoměry s pulsní vlnou (PW, Pulse Wave) = UZ vysílán v krátkých impulzech, střídání vysílání a příjmu ech, sonda tvořena jediným měničem.

**KONTROLNÍ OTÁZKA**

Vyberte nesprávnou odpověď: kontrastní látky pro ultrasonografii využívají: <sup>30</sup>

- a) útlum UZ v plynech      b) útlum UZ ve speciálních chemikáliích

**8.5.1 BAREVNÉ MAPOVÁNÍ TOKU - CFM MÓD**

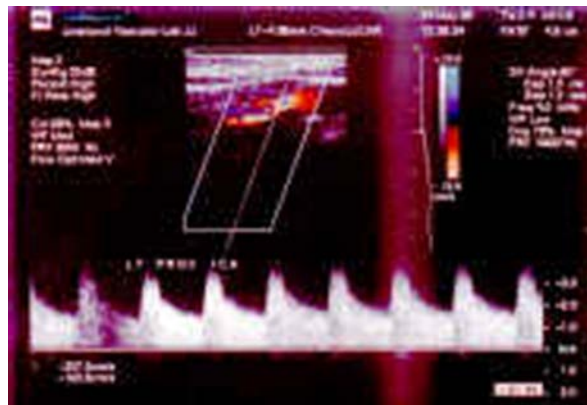
Ve dané oblasti obrazu je prováděna analýza odraženého signálu. Podle velikosti a smyslu (+/-) rozdílů kmitočtů jsou tyto elementy barevně kódovány.

Směr toku je označen barvou

- červenou = tok krve směrem k sondě, kladný kmitočtový zdvih
- modrou = tok krve od sondy, záporný kmitočtový zdvih
- žlutou = turbulence

<sup>30</sup>b)

- jas barvy pak určuje velikost rychlosti.



**Obrázek 15: Barevné mapování toku krve**

[[www.med.muni.cz/biofyz/doc/lec-cs/tlak-gravitace-ultrazvuk-fin.ppt](http://www.med.muni.cz/biofyz/doc/lec-cs/tlak-gravitace-ultrazvuk-fin.ppt)]



## KONTROLNÍ OTÁZKA

Co je to Dopplerův jev a k čemu se využívá? <sup>31</sup>

## 8.6 Ultrazuková denzitometrie

Rychlost šíření UZ závisí na hustotě a elasticitě prostředí, určuje se podílem změřené vzdálenosti a doby průchodu ultrazvuku kostí.

- využití pro diagnostiku osteoporózy, pomocí této metodiky však není osteoporóza definována
- založena na měření rychlosti UZ i na stanovení útlumu UZ v kosti
- poskytuje i informaci o struktuře kosti a její pružnosti
- malá přesnost a reprodukovatelnost měření
- nutnost přesné lokace hodnoceného místa (pomocí laseru)
- ultrazuková denzitometrie patní kosti v praxi ustupuje.

Místa pro měření

- přední strana kosti holenní
- zadní strana patní kosti

<sup>31</sup>Jev spočívá ve změně kmitočtu mezi vysílaným a detekovaným vlněním, která je daná buďto rozdílnou vzájemnou rychlostí vysílače a přijímače, nebo odrazem vlnění od pohybujících se předmětů. Ve zdravotnictví se využívá např. k měření rychlosti toku krve.

Pro denzitometrii se využívají také rentgenové metody, UZ metody klinicky od 90. let 20. stol.

## 8.7 Příprava pacienta na vyšetření ultrazvukem

U většiny UZ vyšetření (ledviny, štítná žláza, povrchové tkáně, vyšetření cév) není příprava nutná.

Speciální příprava pak u:

UZ břicha:

- 2 dny před bezsezbytková strava, hodně tekutin (nesycených)
- v den vyšetření nalačno
- s naplněným močovým měchýřem.

UZ horního břicha

- v den vyšetření na lačno
- k vyšetření žlučníku, žlučových cest je nezbytné lačnit 12 hodin.

UZ dolního břicha

- s naplněným močovým měchýřem,
- deflatulentia v případě plynatosti.

UZ renálních a pánevních tepen

- nenadýmavá strava
- s předstihem přípravky k omezení plynatosti.

Před veškerými intervencemi pod UZ kontrolou

- na lačno
- laboratorní vyšetření krve
- analgosedace ARO lékařem v případě potřeby.

### KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaké jsou kontraindikace ultrazvukového vyšetření? <sup>32</sup>

---

<sup>32</sup>Doposud nejsou žádné známy.

## 9 MAGNETICKÁ REZONANCE – PRINCIP, INDIKACE A KONTRAINDIKACE, PŘÍPRAVA K VYŠETŘENÍ



### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Magnetická rezonance je dnes nejpokročilejší zobrazovací metodou, již běžně dostupnou i v menších nemocnicích. V této kapitole budou vysvětleny fyzikální principy metody, používané kontrastní látky a podrobněji rovněž příprava pacienta na vyšetření MR.

---



### CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- popsat princip zobrazování magnetickou rezonancí,
  - připravit pacienta na vyšetření magnetickou rezonancí.
- 



### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

Magnetická rezonance, stavba atomu, magnetický moment, precesní pohyb, relaxace T1 a T2

---

### 9.1 Historie magnetické rezonance

- 1921: sledování energetických stavů elektronů (Stern, Gerlach)
- 1924: jaderný spin (Pauli)
- 1946: první detekce NMR signálu (Stanford, Harvard)
- 1946: zavedení chemického posuvu
- 1957: první spektrometry v Evropě
- 1962: první spektrometr u nás (Tesla Brno)
- 70. léta: zavádění počítačů do procesu, první supravodivý magnet
- 1971: objev rozdílnosti relaxačních časů
- 1973: první MR řez dvou trubic naplněných vodou
- 1974: první MR řez živého organismu (laboratorní myš)

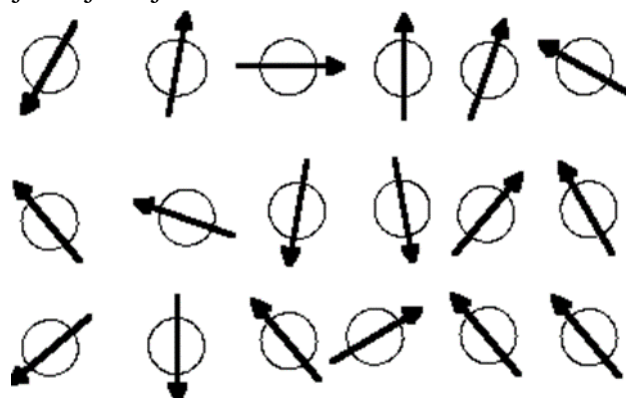


- 1976: první obraz z NMR spektrometru (lidský prst)
- 1977: první vyšetření člověka pomocí NMR – tomogram hrudníku (R. Damadian)
- 1981: první komerční MR tomograf < 0,2 T
- 1985: komerční MR tomograf 1,5 T
- 1987: MR angiografie, zobrazení toku krve bez kontrastních látek
- 1987: zobrazení srdečního cyklu v reálném čase
- 1988: MR angiografie
- 1992: funkční MR

## 9.2 Princip magnetické rezonance

Za nepřítomnosti vnějšího magnetického pole jsou magnetické momenty jader atomů tkání neuspořádané, tedy:

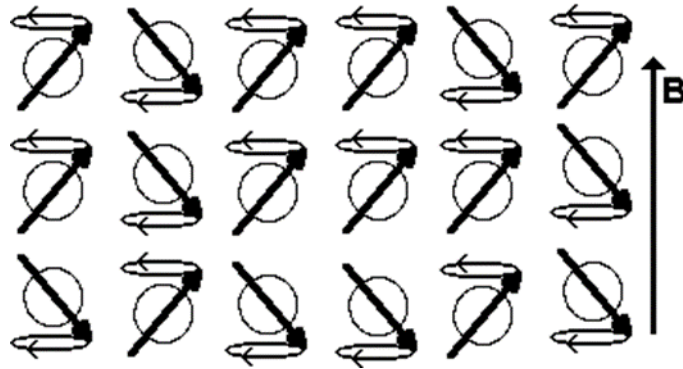
- vektorový součet magnetických momentů jader je nulový
- energie všech jader je stejná.



Obrázek 16: Neuspořádané magnetické momenty [7]

Je-li atom vložen do stacionárního a homogenního magnetického pole

- jeho elektrony začnou obíhat okolo myšlených vektorů magnetické indukce statického pole a vykonávat tzv. precesní pohyb
- tento pohyb způsobí vznik malého magnetického „protipole“ v jádře
- to působí proti vnějšímu přiloženému poli
- magnetické pole v jádře je tak celkově menší než vnější přiložené pole
- jádra budou mít snahu orientovat svůj vlastní magnetický moment ve (nižší energii, >50 %) nebo proti (<50 %) směru B
- tato změna vyvolá kroutivý moment, který způsobí tzv. precesi jader
- kmitočet tohoto pohybu se nazývá Larmorův.



**Obrázek 17: Precesní pohyb [7]**

Aby se (v těle pacienta) dostala jádra z nižšího energetického stavu do stavu s vyšší energií, musí být na ně vyslány radiofrekvenční impulsy s kmitočtem rovným kmitočtu precesního pohybu, k čemuž slouží vysílací cívky (proto hovoříme u MRI o rezonanci).

Současně dochází k fázovému sladění precesního pohybu jader a

- vektor longitudinální magnetizace se orientuje do opačného směru.
- vektor transverzální magnetizace začíná rotovat v rovině xy.



### KONTROLNÍ OTÁZKA

Která vlastnost tkání je klíčová pro její rozlišení v obraze? <sup>33</sup>

## 9.3 Zobrazování pomocí magnetické rezonance

Po ukončení vysílání radiofrekvenčních impulsů s kmitočtem rovným kmitočtu precesního pohybu dochází k návratu vektorů magnetizace do základních stavů.

Návrat do základního stavu (relaxace) je provázen emisí kvant elektromagnetické energie, která jsou detekována pomocí přijímacích cívek = signál nukleární magnetické rezonance (NMR). Tento signál je relativně silný a je charakteristický pro různé tkáně.

Návrat do základního stavu:

- vyzářením kvanta  $E = \text{rezonančního signálu}$
- relaxací T1, T2.

<sup>33</sup>Pro rozlišení tkání je klíčový kmitočet precesního pohybu jader (Larmorův).

Rozlišujeme dva relaxační časy:

- T1 (longitudinální) = čas potřebný pro návrat vektoru longitudinální magnetizace do základního stavu. V biologickém prostředí: 150 až 2000 ms.
- T2 (transverzální) = 2x až 10x kratší než T1. Vektor transverzální magnetizace po uplynutí tohoto času mizí.

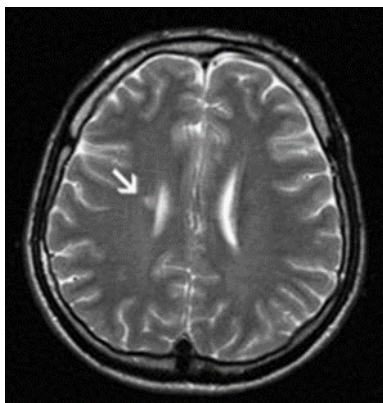
## K ZAPAMATOVÁNÍ



K získání prostorového rozlišení se používají gradienty (nárůsty) magnetického pole. Gradient ve směru podélné osy pacienta umožňuje identifikovat signály přicházející z různých transverzálních řezů. Podobně lze aplikovat gradienty v jiných směrech.

Magnety

- permanentní (do hodnoty  $B = 0,3 \text{ T}$ )
- elektromagnety
- magnety se supravodivým vinutím cívek (do hodnoty  $B = 10 \text{ T}$ , chlazeny heliem)
- v praxi  $B = 1-3 \text{ T}$ , Slezská nemocnice 1,5 T
- gradienty magnetického pole (řádově mT/m) se získávají přidavnými cívkami.



Obrázek 18: Snímek získaný pomocí MR

## KONTROLNÍ OTÁZKA



Jakou velikost magnetické indukce mají obvyklé MR přístroje v nemocnici? <sup>34</sup>

<sup>34</sup>Obvykle 1,5 T.

## 9.4 Kontrastní látky pro MR

Při vyšetření může být aplikovaná kontrastní látka do žíly, protože některé paramagnetické atomy mohou zesílit MR signál.

Kontrastní látky používané pro MR

- obsahují nejčastěji sloučeniny gadolinia, také manganu nebo železa
- nejznámější = Gd-DTPA
- neobsahují jód, riziko alergické reakce nízké
- nepoškozují ledviny, podávají se v malých dávkách (cca 10–30 ml)
- v těle se míchá s plasmou, vstupuje do extracelulární kapaliny
- vylučuje se močí, poločas vyloučení 1 – 1,5 hod.

## 9.5 Příprava pacienta na vyšetření MR

- doba MR vyšetření je většinou 20 až 50 minut
- speciální příprava není nutná
- před vyšetřením je vhodná hydratace
- před nitrožilní aplikací kontrastní látky nemusí být lačný
- přítomnost kovových implantátů (kovové svorky, dlahy, kloubní náhrady, kardiostimulátory, neurostimulátory, defibrilátory) může být kontraindikací, ne však vždy
- vyšetření MR je dosti hlučné, ochrana pacienta tlumiči a sluchátky.

Součástí vyplněné žádanky o vyšetření:

- alergická anamnéza
- potvrzení o nepřítomnosti magnetizovatelných předmětů v těle
- vyšetření sérové hladiny kreatininu.

Provedení vyšetření

- většinou v poloze vleže na zádech
- magnetizační cívka na vyšetřovanou oblast
- při vyšetření břicha a hrudníku se aplikuje břišní pás pro detekci dechových pohybů
- vyšetření dětských pacientů se provádí v celkové anestezii (omezení pohybových artefaktů).

**KONTROLNÍ OTÁZKA**



Jaké jsou kontraindikace pro vyšetření na MR? <sup>35</sup>

---

---

<sup>35</sup>Přítomnost kovových implantátů v těle.

# 10 NUKLEÁRNÍ MEDICÍNA – ZÁKLADNÍ METODY, POUŽITÍ



## RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Fyziologický nebo patologický stav tkáně nebo orgánu má vliv na jeho chování k radionuklidům aplikovaným do organismu. Detekce tohoto rozdílného chování je podstatou nukleární medicíny. Budou popsány základní detekční principy - gamakamery, systémy SPECT, PET a aplikace radiofarmak.

---



## CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- charakterizovat atomové jádro,
  - principy detekce radionuklidů,
  - orientovat se v metodách nukleární medicíny.
- 



## KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

stavba atomu, scintigrafie, SPECT, PET, radiofarmaka

---

Nukleární medicína je vzhledem k fyzikální podstatě svých metod a k používané přístrojové technice obor interdisciplinární. Vedle lékařů, sester a laborantek, zde pracují v týmové spolupráci i odborníci dalších profesí – fyzici, elektrotechnici, radiochemici a farmaceuti.

Nukleární medicína se zabývá diagnostikou a terapií pomocí radioaktivních izotopů v otevřené formě, aplikovaných do vnitřního prostředí organismu.

## 10.1 Radionuklidy

Charakteristika atomového jádra

- protonové (atomové) číslo  $Z$  = počet protonů

- nukleonové (hmotnostní) číslo  $A$  = celkový počet nukleonů v jádře
- neutronové číslo  $N = A - Z$ , udávající počet neutronů v jádře
- izotop = při stejném počtu protonů obsahuje různý počet neutronů
- nuklidy = atomy, které mají stejné číslo protonové i nukleonové
- izobary = nuklidy, které mají stejné nukleonové číslo, ale různé protonové číslo
- izotony = nuklidy o stejném počtu neutronů v jádře.

## DEFINICE



Radionuklidy = nuklidy, které jsou schopné samovolné radioaktivní přeměny. Každý radionuklid má svůj charakteristický druh přeměny a poločas rozpadu.

---

## K ZAPAMATOVÁNÍ



Radionuklidy aplikované do organismu zde zanechávají „stopy“, které jsou různé v různých tkání, orgánech a také s ohledně na fyziologickou nebo patologickou funkci tkáně nebo orgánu. Toto je podstatou nukleární medicíny.

---

Rozlišujeme

- kvantitativní metody – sledují intenzitu záření radionuklidů v organismu
- kvalitativní metody – sledují prostorové rozložení radionuklidů v organismu.

Radionuklidy se také používají k výrobě radiofarmak nebo je jejich rozložení v organismu sledováno přístroji.

## KONTROLNÍ OTÁZKA



Jakými čísly jsou popisovány atomy a jejich jádra? <sup>36</sup>

---

## 10.2 Přístrojová technika

Přístroje schopné zobrazit rozložení radioaktivních látek v těle se vyvíjely již od objevení radioaktivity v roce 1896. Původně to byly málo účinné GM detektory, později citlivější scintilační detektory.

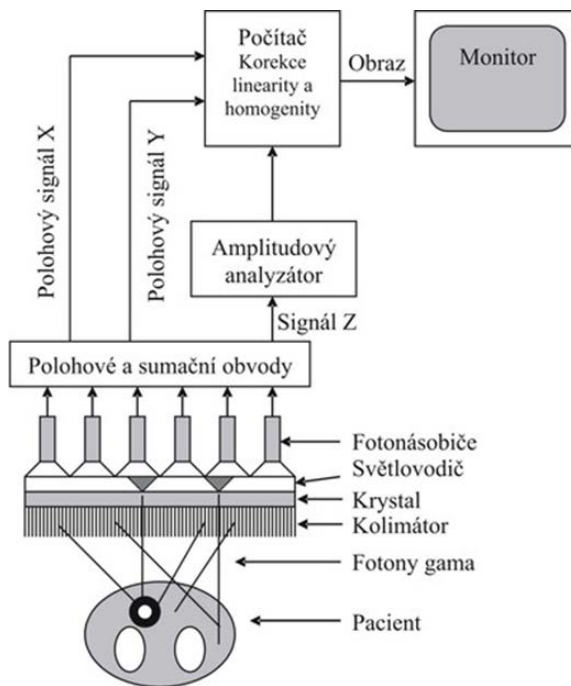
<sup>36</sup>Jedná se o protonové (atomové) číslo  $Z$ , nukleonové (hmotnostní) číslo  $A$ , neutronové číslo  $N$

Od 80. let 20. století první tomografické přístroje pro nukleární medicínu

- jednofotonová (SPECT) emisní tomografie
- pozitronová (PET) emisní tomografie
- dnes také hybridní PECT/CT a PET/CT přístroje.

### 10.2.1 SCINTIGRAFIE

Scintigrafie se realizuje pomocí scintilačních kamer = gamakamer. Pomocí nich zobrazujeme rozložení (distribuci) radioindikátoru v organismu.



**Obrázek 19: Scintilační kamera (podle [17])**

Základem scintilačního detektor je luminiscenční scintilační krystal.

Scintilační jev

- při pohlcení ionizačního záření se ve scintilačním krystalu excitují elektrony (dostanou se na vyšší energetickou hladinu)
- při následné deexcitaci (návratu, ztrátě energie) vysílají fotony viditelného světla
- tyto slabé záblesky světla jsou převedeny do fotonásobiče
- ve fotonásobiči se viditelné světlo transformuje na elektrický impuls
- elektrický impuls se zesiluje a dále analyzuje.

Využití pro měření radioaktivity radiofarmak nebo biologických materiálů v těle pacienta.

Scintigrafické zobrazovací systémy



- planární (dvojměrný obraz) – gamakamera,
- tomografické (příčné řezy) – SPECT, PET.

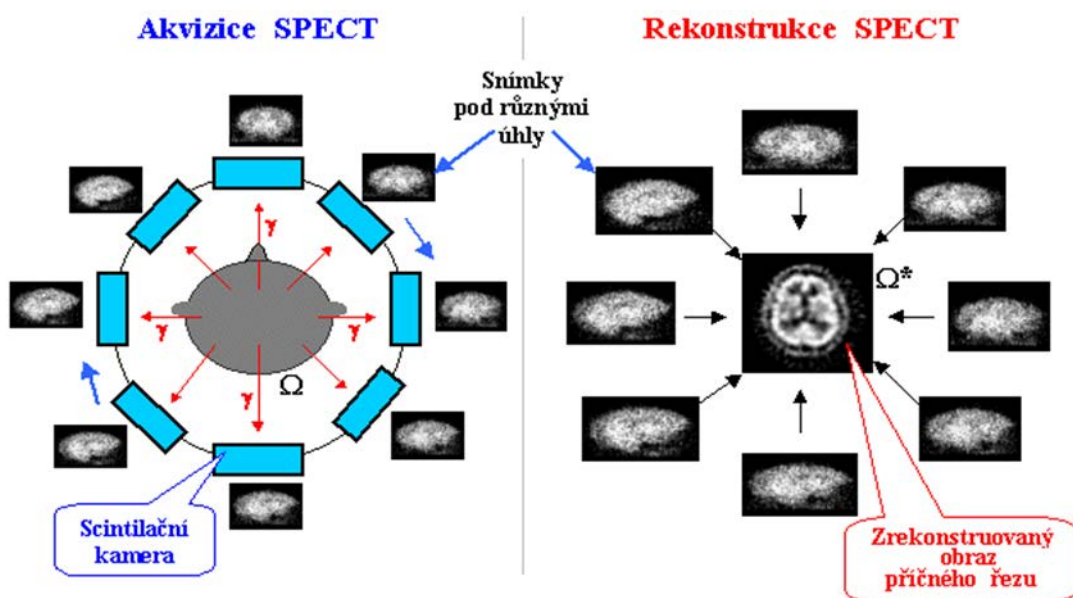
### 10.2.2 SPECT

SPECT (Single Photon Emission Computerized Tomography) využívá scintilačních kamer k rekonstrukci obrazu rozložení radiofarmaka v těle pacienta:

- scintilační kamera rotuje kolem těla pacienta
- snímá scintigrafické obrazy z různých úhlů
- pomocí počítačové rekonstrukce vytváří obrazy příčných řezů
- pomocí počítačové grafiky lze pak zkonstruovat i prostorové obrazy rozložení radioindikátoru v orgánech uvnitř těla
- radiofarmakum = záření  $\gamma$  (nejčastěji  $^{99m}\text{Tc}$ ).

V rovině tomografického řezu se pořizuje série několika scintigrafických snímků pacienta z různých směrů:

- jedné nebo několik scintilačních kamer
- otáčení kolem pacienta v malých úhlech
- oproti planární scintigrafii vyšší kontrast snímků a možnost kvantifikace radiofarmaka ve tkáni
- dlouhá doba vyšetření.



Obrázek 20: Princip SPECT (podle [17])

Při SPECT je foton záření gama z radiofarmaka v těle pacienta po průchodu olověným kolimátorem zachycen detektorem otáčejícím se kolem těla pacienta. SPECT je tedy zdokonalením planární scintigrafie.

## 10.2.3 PET

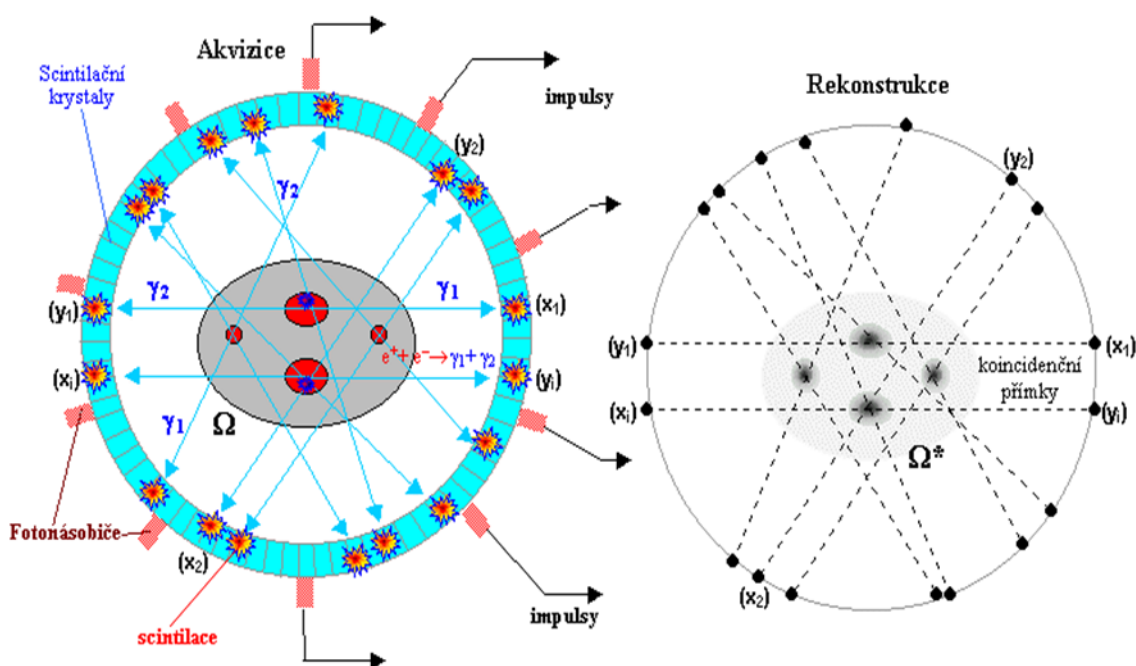
PET (Positron Computerized Tomography) detekuje fotony záření  $\gamma$  vylétající z těla vyšetřovaného pacienta v protilehlých směrech ( $180^\circ$  v každé rovině). Toto záření vzniká při tzv. anihilaci.



### K ZAPAMATOVÁNÍ

Anihilace = reakce elektronu a pozitronu (antičástice elektronu) při které vzniká dvojice fotonů (záření  $\gamma$ ), které následně odlétají opačnými směry a každý má energii 511 keV. Tyto fotony  $\gamma$  záření se pak detekují scintilačními detektory umístěnými okolo pacienta. Positrony mají před vznikem anihilace dolet jen asi 2 mm. Přesnost metody je tak značná. Jsou ale detekovány pouze fotony, ke kterým byl zachycen i jejich párový foton. Počítačovou rekonstrukcí se pak vytvářejí obrazy příčných řezů.

U PET se využívá tzv. elektronická kolimace, umožňující získávat rozřešení radiofarmaka v těle bez použití klasických kolimátorů. Je založena na uvěřeném faktu, že šíření kvant ionizujícího záření nastává vždy ve dvojicích (anihilace) v přesně daných směrech. Tato znalost umožňuje vybírat ke zpracování jen kvanta záření v požadovaném směru. Nastane-li anihilace jinde a jeden z anihilačních fotonů není zachycen, systém tento impuls nezaznamená jako validní.



Obrázek 21: Princip PET (podle [17])

### Radiofarmaka využívaná při PET

- pouze pozitronová radiofarmaka obsahující  $\beta^+$  zářič s velmi krátkým poločasem rozpadu (nejvýše desítky minut)

- nejčastěji izotop  $^{18}\text{F}$  (poločas rozpadu 109 minut) ve formě 18-fluorodeoxyglukózy (FDG)
- ta se přeměňuje na glukózu
- je více vycytávána v metabolicky aktivnějších tkáních (nádory a jejich metastázy)
- dále  $^{11}\text{C}$ ,  $^{13}\text{N}$ ,  $^{15}\text{O}$
- k výrobě se používá lékařský cyklotron.

#### Vlastnosti

- diagnostická přesnost
- prostorová rozlišovací schopnost
- vyšší detekční účinnost oproti SPECT
- radiofarmaka využívají prvků, které jsou v metabolismu běžně přítomny
- velká technická náročnost PET a vysoká cena přístroje.

## 10.2.4 ROZDÍLY MEZI SPECT A PET

### SPECT

- foton záření  $\gamma$  vychází z radionuklidu radiofarmaka v organizmu
- foton záření  $\gamma$  vstupuje do scintilačního detektoru olověným kolimátorem
- pro získání tomografického obrazu (řezu) se detektor (detektory) otáčí kolem těla pacienta
- vylepšení planární scintigrafie.

### PET

- principiálně tomografická metoda
- využívá se pozitronových radiofarmak obsahujících radionuklid s  $\beta^+$  rozpadem
- fotony vznikají anihilací a pohybují se opačnými směry
- na výstupu z detektorů můžeme v definovaném časovém intervalu registrovat dva impulzy, náležející fotonům vzniklým při téže anihilaci
- není olověný kolimátor
- využívá se elektronické kolimace a detektory se neotáčejí kolem pacienta.

## ŘEŠENÁ ÚLOHA



Jaký je rozdíl mezi metodami PET a SPECT z hlediska použití kolimátorů?

Při SPECT přicházejí do scintilačního detektoru fotony, které prošly kolimátorem. Při PET jsou prstencem detektorů bez kolimátoru zaznamenávány dvojice fotonů vzniklé při téže anihilaci.

---

## 10.2.5 HYBRIDNÍ SYSTÉMY

Principy nukleární medicíny

- vynikají v zobrazování fyziologických funkcí
- zaostávají v zobrazování anatomických struktur.

Vznikly tedy hybridní SPECT/CT a PET/CT přístroje, umožňující spojení funkčního nukleárně medicínského vyšetření a anatomického CT obrazu.

### Hybridní systém SPECT/CT

- SPECT a počítačový tomograf (CT) v jednom přístroji
- provoz ve dvou režimech:
  - nízkodávkový = koriguje SPECT obrazy na zeslabení záření  $\gamma$  ve tkáni, dává morfologické CT obrazy s nízkým rozlišením
  - plnohodnotný = CT obrazy s vysokým rozlišením, ale vyšší efektivní dávka ionizující záření pacientovi.

### Hybridní systém PET/CT

- PET a počítačový tomograf (CT) v jednom přístroji
- výsledné obrazy obsahují informaci o metabolické aktivitě tkání a současně i o anatomických poměrech.

## 10.3 Diagnostické metody

Diagnostika

- in vivo
- in vitro

Při diagnostice in vivo

- aplikuje se intravenózně nebo perorálně radioaktivní látka – tzv. radioindikátoru či radiofarmaka
- aplikovaná radioaktivní látka vstoupí do metabolismu organismu
- fyziologicky či patologicky se látka hromadí v určitých orgánech a jejich částech
- následně se vylučuje či přeskupuje
- pomocí citlivých detektorů se toto záření měří a zjišťuje jeho distribuce
- informace o anatomickém obrazu i o funkci orgánu
- základní vyšetření pomocí tomografické gamakamery SPECT a PET.

Při diagnostice in vitro

- ze vzorků odebraných pacientům nejčastěji stanovují hladiny hormonů
- radiosaturační analýza (RIA slouží ke zjišťování koncentrace složitých biologických látek v krevním séru – hormonů, tumorových markerů a jiných biologicky významných látek.

Z hlediska komplexnosti a interpretace scintigrafického vyšetření můžeme rozlišovat:

- kvalitativní (vizuální) scintigrafie
- kvantitativní scintigrafie
  - relativní kvantifikace
  - absolutní kvantifikace.

### KONTROLNÍ OTÁZKA



Co jsou to hybridní systémy? <sup>37</sup>

## 10.4 Terapeutické metody

Terapeutické metody nukleární medicíny spočívají v léčebné aplikaci radioaktivních látek = terapeutických radiofarmak. Jejich podáním lze dosáhnout vysoké radiační dávky cíleně v určitém orgánu či patologické tkáni s minimálním poškozením okolí. Jako terapeutická radiofarmaka se používají převážně beta zářiče.

V terapeutických aplikacích nukleární medicíny se využívá selektivního vychytávání radiofarmaka specifickou tkání. Nabité částice emitované z radioaktivních jader ionizují atomy léčené tkáně a způsobují poškození DNA v jádrech buněk, a tím jejich zničení. Toto je zároveň i princip radioterapie – léčby zářením.

Terapeutické metody nukleární medicíny se používají např. pro

- nemoci štítné žlázy (hyperthyreodismus, thyreotoxikosa, struma, karcinom) – radiofarmakum radiojód <sup>131</sup>I
- kostní metastázy (léčba bolesti) – stroncium <sup>89</sup>Sr-Metastron, samárium <sup>153</sup>Sm-EDTMP
- radionuklidová synovektomie (kolenní klouby) – yttrium <sup>90</sup>Y-koloid
- cystický craniopharyngeom – <sup>90</sup>Y-koloid
- maligní výpotky – <sup>90</sup>Y-koloid.

<sup>37</sup>Umožňují spojení nukleárně medicínského vyšetření a anatomického CT obrazu, tedy SPECT+CT nebo PET+CT.



## KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaké jsou například nenádorové indikace pro radioterapii? <sup>38</sup>

---



## K ZAPAMATOVÁNÍ

Terapeutický přístup metod nukleární medicíny odlišný od všech metod radioterapie. Při radioterapii je nutno znát lokalizaci nádoru. Při aplikaci radiofarmaka je nutno znát biologické vlastnosti nádoru. Lokalizaci není nutné znát a radiofarmakum tak může působit i v dosud skrytých ložiscích.

---

## 10.5 Radiofarmaka

Radiofarmaka jsou léčiva, která obsahují jeden nebo více atomů radionuklidu. Chemické složení radiofarmaka určuje kinetiku jeho metabolických procesů. Obsažený radionuklid je možno detekovat

- zevně (scintigrafickými metodami)
- v odebraných vzorcích biologický tekutin (krev, moč).

U terapeutických aplikací působí záření radionuklidu na buňky tkáně, v němž se radiofarmakum akumuluje.

Fyzikálně jsou radiofarmaka vlastně otevřenými zářiči se všemi důsledky. Základními vlastnostmi jsou:

- poločas rozpadu a počáteční aktivita při podání pacientovi,
- energie záření,
- druh záření.

Radiofarmaka lze rozdělit na

- diagnostická
  - nutná pro scintigrafická vyšetření
  - radionuklidy jsou  $\gamma$  zářiče
  - např.  $^{99m}\text{Tc}$ , gallium  $^{67}\text{Ga}$ , radiojód  $^{131}\text{I}$ ;

---

<sup>38</sup> Léčba patních ostruh, zánětlivé nebo degenerativní choroby pohybového aparátu.

- terapeutická
  - využívají se k vnesení zářiče do místa léčené léze, nejčastěji nádoru
  - zvolené radionuklidy jsou  $\beta$  zářiče
  - malý dosah (milimetry), ale vysoká energie záření.

Účinnost terapie radiofarmaky lze zvýšit podáním tzv. radiosenzibilizátorů, Jedná se o některá cytostatika (např. mytomycin nebo cisplatina). Mají však nežádoucí toxické účinky.

## 11 RADIOTERAPIE. NÁDOROVÁ TERAPIE.



### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Náplní této kapitoly je významná metoda nádorové i nenádorové léčby – radioterapie. Je popsáno dělení na jednotlivé metody a jejich specifické použití. Dále je popsán proces plánování léčby a nežádoucí účinky, který jsou pacienti vždy vystaveni. V praxi má radioterapie celou řadu metod. Náplní této kapitoly je popsat tyto metody a dále se podrobněji seznámit s nežádoucími účinky radioterapie na jednotlivé tkáně a orgány a posoudit riziko poškození podle tolerance orgánů.

---



### CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- orientovat se v metodách radioterapie,
  - znáš postup plánování léčby,
  - popsat různé radioterapeutické přístupy,
  - znát toleranční dávky orgánů a posoudit riziko poškození,
  - uvědomit se potenciální škodlivé účinky radioterapie.
- 



### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

radioterapie, brachyterapie, stereotaxe, plánování, radiační objemy, ozařovací plán, radioterapie nádorová a nenádorová, účinky záření, toleranční dávka

---

Léčení nádorových onemocnění se opírá o tři hlavní metody:

- chirurgie
- chemoterapie
- radioterapie.

Tyto hlavní terapeutické postupy se často kombinují.



## 11.1 Rozdělení radioterapie

- základní metoda léčby zhoubných nádorů (podstoupí asi 50-70 % pacientů)
- i pro léčbu některých nenádorových onemocnění
- založena na účincích ionizujícího záření na živou tkáň.

Cílem = selektivní likvidace nádorového ložiska při co nejmenším poškození okolních zdravých tkání.

Základní rozdělení radioterapie

- zevní (externí ERT, teleterapie TRT)
  - zdroj záření mimo tělo ozařovaného pacienta
  - zpravidla ve vzdálenosti 80-100 cm od těla
- brachyradioterapii (brachyterapie BRT)
  - zdroj záření zaveden do těsné blízkosti ložiska nebo přímo do orgánu nebo tkáně.

Obě metody se používají samostatně nebo se v indikovaných případech vzájemně kombinují. Nejčastější způsob radioterapie je ozařování kolimovaným svazkem pronikavého záření z vnějšího ozařovače. Provedení dvěma způsoby:

- nádorové ložisko se ozařuje kolimovaným svazkem z více směrů tak, aby průsečík svazků byl lokalizován do místa tumoru,
- celková dávka rozdělí do většího počtu menších denních dávek, aplikovaných po dobu 3-5 týdnů a biologický účinek na nádorovou tkáň je pak zpravidla vyšší než na zdravou tkáň, protože je zpravidla citlivější k záření než tkáň zdravá.

Nezbytným předpokladem je rovněž moderní přístrojové vybavení pracoviště a erudovaný tým lékařů, fyziků a radiologických asistentů.

V radioterapii rozeznáváme léčbu

- kurativní
- adjuvantní
- neoadjuvantní
- paliativní
- nenádorovou.

### **Kurativní radioterapie**

- snaha o vyléčení nemocného i za cenu dočasného snížení kvality života
- dávky záření se pohybují na hranici tolerance tkání většinou 60 Gy
- počítá se se vznikem pozdních komplikací.

## Adjuvantní radioterapie

- „zajišťovací“ radioterapie
- cílem je zničit předpokládaná zbytková mikroskopická ložiska např. po radikálním chirurgickém zákroku
- snížení rizika recidivy onemocnění
- aplikované dávky jsou nižší než u kurativní terapie.

## Neoadjuvantní radioterapie

- cílem je zmenšení nádoru např. před chirurgickým zákrokem nebo zmenšení rozsahu operačního výkonu.
- aplikována současně s chemoterapií
- využívá se ve vybraných indikacích, např. u karcinomu rekta.

## Paliativní radioterapie

- pouze zmírňuje nebo zpomaluje nevléčitelný proces
- cílem je zlepšení kvality života
- nežádoucí účinky této léčby nesmějí zhoršit celkový stav nemocného.
- konečná etapa paliativní terapie = symptomatické terapie; jde hlavně o léčbu analgetickou.

## Nenádorová terapie

- onemocnění pohybového ústrojí (ostruha patní kosti, bolestivé artrózy kolenních a ramenních kloubů, „tenisový loket“)
- onemocnění kůže a měkkých tkání (vředy, axilární zánět potních žláz)
- onemocnění hypofýzy (nezhoubné nádory)
- onemocnění nervové soustavy (neuralgie po pásovém oparu, fantomové bolesti)
- oční onemocnění (exophthalmus při onemocnění štítné žlázy)
- různé záněty, ulcerace
- léčba má symptomatický a analgetický efekt, který je obvykle poměrně rychlý a přetrvává relativně dlouhou dobu.



## KONTROLNÍ OTÁZKA

Co je cílem radioterapie? <sup>39</sup>

---

<sup>39</sup>Selektivní likvidace nádoru při minimálním poškození okolních zdravých tkání

## K ZAPAMATOVÁNÍ



Radiosenzibilizátory = látky, které zvyšují biologický účinek záření.

Radiomimetika = látky působící stejně jako radioaktivní záření na určité fáze buněčného cyklu (např. některá cytostatika).

Synchronizátory = látky, které zdrží buňky v určité fázi buněčného cyklu. Po odeznění účinku jsou všechny buňky ve stejné fázi a společně citlivé k ozáření.

Senzibilizátory hypoxických buněk = látky, které na sebe snadno váží elektrony a tím dojde k fixaci volných radikálů a zabránění reparačních pochodů.

---

## KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaké druhy léčby v radioterapii rozeznáváme? <sup>40</sup>

---

## 11.2 Zevní radioterapie

- konformní radioterapie (3D-CRT) = standardní metoda léčby
- ozařuje se přesně nepravidelný cílový objem – možno zvýšit radiační dávku bez poškození okolních tkání
- nutnost pečlivé předradiační přípravy a plánování za použití jiných zobrazovacích vyšetření (CT, MR, PET)

Radioterapie s modulovanou intenzitou (IMRT – *Intensity Modulated Radiation Therapy*) je vylepšením 3D-CRT (průběžně se upravuje intenzita svazku záření). Použití – nádory ORL oblasti, prostaty, báze lební, mozku, gynekologické a pánve.

Adaptivní (dynamická) radioterapii (ART) umožňuje

- individuálně vyhodnotit a upravit změny vznikající v cílovém objemu v reálném čase
- ověřit dávku záření dodanou do cílového objemu s dávkou naplánovanou
- upravit denní dávku k zajištění naplánované dávkové distribuce v průběhu léčby
- radioterapie řízená dávkou (DGRT – Dose Guided Radiotherapy).

Stereotaktická radioterapie a radiochirurgie

---

<sup>40</sup> Rozeznáváme kurativní, adjuvantní, neoadjuvantní, paliativní a nenádorovou léčbu.

- stereotaxe = lokalizace cílového objemu pomocí jiné zobrazovací metody (CT, MR)
- minimální dávka záření mimo cílový objem
- časování dávky při stereotaktické radioterapii do několika frakcí
- dávky při stereotaktické radiochirurgii jednorázová
- vhodné i k ozáření větších intrakraniálních a extrakraniálních nádorů
- fixace pomocí rámu nebo masky (stereotaktická radioterapie).

## 11.3 Typy ozařovacích přístrojů

### radioizotopové ozařovače

- obsahují aktivní radioizotop, např. kobalt  $^{60}\text{Co}$  nebo cesium  $^{137}\text{Cs}$
- dnes využití při paliativní a nenádorové radioterapii
- postupně vyřazovány z provozu;

### terapeutické rentgenové přístroje

- pro léčbu karcinomů kůže, paliativní a nenádorová terapie
- maximální dávka je absorbována na povrchu těla kůže;

### gama nůž (Leksellův)

- skládá se z až několika stovek kobaltových zdrojů  $^{60}\text{Co}$
- prostorové uspořádaných je do polokoule;

### X nůž

- lineární urychlovač se zařízením upravujícím tvar výstupního ozařovacího svazku
- možno použít jak k radiochirurgii, tak i k stereotaktické radioterapii;

### CyberKnife

- lineární urychlovač velmi malé hmotnosti umístěný na robotickém rameni
- při změně polohy těla se zastaví ozařování a zaměří opět přesně cílové ložisko;

### TomoTherapy

lineární urychlovač se kolem pacienta otáčí po vrstvách

záření používá k ozáření i k provádění kontrolního CT.

### 11.3.1 BRACHYTERAPIE

Spočívá v ozařování z krátké vzdálenosti.

- vysoké dávky záření v místě aplikace, rychlý poklesem do jejího okolí
- vhodná léčba pro malé, dobře přístupné a ohraničené nádory (např. počáteční stadia karcinomu rtu, jazyka, tváře, prostaty, penisu, anu)
- nevhodná pro rozsáhlé nádory či umístěné v blízkosti kritických citlivých tkání (kosti, nervy, velké cévy)
- někdy invazivní provedení, nutná anestézie
- ve srovnání se zevní radioterapií umožňuje aplikovat větší dávku záření za kratší dobu
- používána pro dosycení dávky do cílové oblasti nádoru k dávce ze zevní radioterapie (boost).

Brachyterapie se podle způsobu umístění radionuklidového zářiče v těle pacienta dělí na:

- intrakavitární = aplikátor je umístěn do tělní dutiny, ze které nádor vychází (např. gynekologické nádory)
- intraluminární = aplikátor je umístěn do lumen trubicového orgánu (např. nádory plic, jícnu, žlučových cest, rekta)
- intersticiální = radionuklid zaveden přímo do ložiska nebo lůžka nádoru
- povrchovou = aplikátory jsou umístěny na povrch kůže nebo sliznic.

### KONTROLNÍ OTÁZKA



Jak rozdělujeme radioterapii z hlediska polohy zářiče? <sup>41</sup>

---

### KONTROLNÍ OTÁZKA



Co je to brachyterapie? <sup>42</sup>

---



## 11.4 Časové rozložení dávky

Použije-li se namísto jednorázové velké dávky její časové rozložení na jednotlivé dílčí dávky, jedná se o tzv. frakcionaci. Jednotlivé dávky mohou být různě velké.

- nádorové tkáně mají nižší regenerační schopnost než buňky zdravých tkání
- frakcionace tak umožňuje zdravým tkáním regeneraci

<sup>41</sup>Rozdělení na zevní (externí) a brachyterapii.

<sup>42</sup>Jedná se o ozařování z krátké vzdálenosti.

- maximální účinek na nádorovou tkáň a minimální na zdravé tkáně
- je třeba aplikovat vyšší celkovou dávku než při jednorázovém ozáření
- rozdělení dávky dáno empiricky nebo matematickými radiobiologickými modely
- optimální frakce = dávka 2 Gy, 1 x denně, 5 x za týden.

Rozlišují se různá frakcionační schémata:

Standardní frakcionace (normofrakcionace)

- dávka 1,8 Gy-2 Gy na frakci
- 5 frakcí za týden
- celková dávka do 60-70 Gy.

Hypofrakcionace = snížení počtu frakcí za týden (méně než 5)

- aplikují se vyšší jednotlivé dávky
- celková dávka aplikované radioterapie je obvykle nižší
- nejčastěji se používá v paliativní léčbě
- pozdní nežádoucí účinky.

Hyperfrakcionace = zvýšení počtu frakcí na den (2 - 3, pauza mezi frakcemi minimálně 6 hodin)

- aplikují se nižší jednotlivé dávky (1,15 Gy)
- celková doba trvání radioterapie stejná
- výhodná u rychle proliferujících nádorů
- nebezpeční akutní reakce zdravých tkání
- nízká pozdní toxicita.

Akcelerovaná radioterapie

- zkrácení celkové doby ozařování
- zamezení akcelerované repopulace klonogenních nádorových buněk.

Protrahovaná radioterapie

- prodloužení celkové doby ozáření
- jednotlivá dávka nižší.

Normofrakcionovaná akcelerace

- jedna frakce za den
- dávka na frakci je vyšší
- celková doba léčby je stejná
- vyšší toxicita.

## KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaká je nejběžnější frakcionace dávky? <sup>43</sup>

---

### 11.5 Plánování radioterapie

Cílem radioterapie je

- zničení nádorové tkáně
- minimálním poškození zdravých tkání.

V praxi radioterapii předchází vždy náročný proces plánování, který optimalizuje tyto dva protichůdné požadavky a jehož výsledkem je tzv. ozařovací plán.

Výchozími údaji jsou podrobné tomografické (dříve rentgenové) snímky ozařované oblasti:

- přesná lokalizace, velikost a tvar nádorové tkáně
- anatomicko-denzitní rozložení hustot tkání a umístění orgánů.

Podpůrné systémy

- nutné pro správné naplánování léčby ionizačním zářením
- například simulátory, plánovací a verifikační systémy.

Simulátory

- lokalizují cílový objem a ověřuje ozařované pole.
- diagnostický rentgenový přístroj, napodobuje ozařovací podmínky
- nastavitelné parametry pro simulaci různých ozařovačů.

Plánovací systém

- software, který na CT obrazech umožňuje provést naplánování ozáření
- počítá intenzitu záření pro různé tkáně cílového objemu.

Verifikační systém

- ověřuje správnost ozáření pacienta
- počítač, který srovnává aktuální nastavení ozařovače s nastavením podle ozařovacího plánu.

---

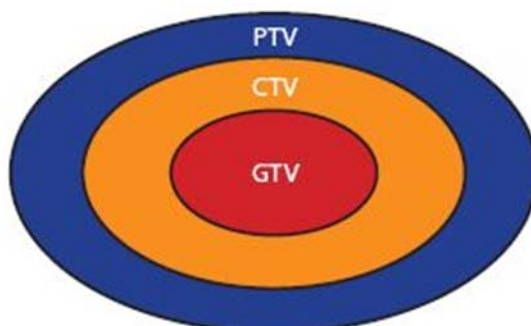
<sup>43</sup>Dávky 2 Gy, 1 x denně, 5 x za týden.

Plánování sestává z několika na sebe navazujících kroků:

- zajištění výchozích tomografických údajů o nádoru (lokalizace nádoru, lůžka nádoru, spádových lymfatických uzlin)
- lokalizace nádoru na simulátoru
- plánování na CT
- plánování s plánovacím systémem
- plánování s MR, biologické plánování s PET/CT
- simulace na simulátoru
- první nastavení na ozařovači
- verifikace.

V plánování se používají následující objemy v cílové tkáni:

- objem nádoru (GTV – Gross Tumor Volume) – demonstrovatelný nádor
- klinický cílový objem (CTV – Clinical Target Volume) = GTV + lem mikroskopického šíření nádoru
- plánovací cílový objem (Planning Target Volume PTV) = CTV + lem zahrnující fyziologické změny polohy CTV (při dýchání, polykání aj.) a chyby při polohování pacienta
- ozářený objem (Irradiated Volume) – objem tkání, které obdrží významnou dávku ve vztahu k normální tkáňové toleranci.



**Obrázek 22: Plánovací objemy podle doporučení ICRU (International Commission on Radiation Units and Measurements)**



### **K ZAPAMATOVÁNÍ**

Pro tvarování výsledného ozařovacího pole se používají klínové filtry, kompenzátory, aj.

---



## KONTROLNÍ OTÁZKA



Jaké jsou plánovací objemy a k čemu slouží? <sup>44</sup>

---

### 11.6 Klinické problémy radioterapie

Časné postradiační syndromy

- časté, ne však významné a brzy odeznívají
- radiační dermatitida, změny na sliznicích, poruchy krve tvorby
- postradiační syndrom (únava, ospalost, poruchy spánku, bolesti hlavy).

Pozdní následky

- vzácné, ale závažné i život ohrožující
- radiační pneumonitis, postižení srdce, edémy, riziko sekundárních malignit
- možnosti léčby značně omezené
- nutná prevence.

### 11.7 Nežádoucí účinky radioterapie

Především kurativní léčba je provázena vedlejšími a nežádoucími účinky. Ty se dělí z různých hledisek na

- celkové a místní
- akutní, pozdní a velmi pozdní
- somatické a psychické.

**Vedlejší účinky celkové**

- účinky na krvetvorné orgány
- erytrocyty, trombocyty jsou poměrně radioresistentní
- granulocyty jsou k ozáření citlivější
- lymfocyty jsou k ozáření nejcitlivější, snížení imunity.

**Vedlejší účinky místní**

- nejhůře snášeno ozařování břicha.

---

<sup>44</sup>Vymezuji prostory kolem ozařovaného objemu při plánování radioterapie. Slouží také ke kvantifikaci rizika ozáření zdravých tkání.

### Vedlejší účinky akutní

- vznik zánětů (kůže, štítná žláza, oči, uši, dutina ústní a nosní, hrtan, jícn plíce, srdce, žaludek a duodenum, tenké a tlusté střevo, konečník, játra, ledviny, močový měchýř, pohlavní orgány, pohlavní orgány, mozek, mícha)

### Vedlejší účinky pozdní

- vznikají po latenci od 6 měsíců až do několika let
- vznikají pomalu možnost záměny s recidivou nádoru.

### Velmi pozdní účinky záření

- genetické změny
- indukce sekundární malignity.



### KONTROLNÍ OTÁZKA

Jaký druh bílých krvinek je k ozáření nejcitlivější? <sup>45</sup>

---



### DEFINICE

Toleranční dávka jednotlivých tkání a orgánů je nejvyšší dávka záření, která ještě nepůsobí jejich nevratné změny.

---

Toleranční dávky

- oči – poškození rohovky přechodné po 30 Gy/3 týdny, trvalé po 50 Gy/5 týdnů
- plíce – od 30 Gy
- srdce – od 45 Gy
- ledviny – od 20 Gy/5 týdnů
- mužské pohlavní orgány – trvalá sterilita od 5 - 6 Gy
- ženské pohlavní orgány – trvalá sterilita od 6 - 13 Gy
- mozek – od 50 Gy
- mícha – tolerance se zvyšuje od krční po bederní – od 45 Gy/10 cm.

Orgány a tkáně se podle citlivosti k záření dělí do tří tříd.

- orgány I. třídy – jejich radiační poškození může vést k úmrtí jedince

---

<sup>45</sup>Jedná se o lymfocyty.

- orgány II. třídy – jejich poškození vede k úmrtí výjimečně
- orgány III. třídy – jejich poškození ke smrti nevede.

Orgány I. třídy

- játra, kostní dřeň, ledviny, mozek, mícha, plíce, srdce, střeva, plod, žaludek;

Orgány II. třídy

- chrupavky, jícen, kosti, kůže, močový měchýř, močovody, nadledviny, oko, periferní nervy, pohlavní orgány, rektum, slinné žlázy, štítná žláza, ucho, ústní dutina;

Orgány III. třídy

- cévy, děloha, lymfatické uzliny, pochva, prs, svaly.

**KONTROLNÍ OTÁZKA**



Co je to toleranční dávka tkání? <sup>46</sup>

---

**KONTROLNÍ OTÁZKA**



Do kolika tříd se dělí orgány a tkáně podle citlivosti k záření? <sup>47</sup>

---

<sup>46</sup>Nejvyšší dávka záření, která ještě nezpůsobí nevratné změny tkání.

<sup>47</sup>Dělí se do tří tříd.

## 12 SPECIFIKA VYŠETŘENÍ DĚTSKÝCH PACIENTŮ



### RYCHLÝ NÁHLED KAPITOLY

Zobrazovací techniky u dětí se výrazně neliší od běžných zobrazovacích metod používaných u dospělých pacientů. Přesto zde existují určitá specifika, především s ohledem na další snížení radiační zátěže.

---



### CÍLE KAPITOLY

Po prostudování této kapitoly budete umět:

- specifikovat zvláštnosti pediatrického zobrazování
  - zvolit šetrné vyšetřovací postupy.
- 



### KLÍČOVÁ SLOVA KAPITOLY

neonatální radiologie, pediatrická radiologie, polohovací systémy, fixační systémy

---

Děťští pacienti

- nejsou malí dospělí
- nutné počítat s radiační zátěží a rizikem karcinogeneze
- mají specifické choroby.

Rozlišujeme

- neonatální radiologii
- pediatrická radiologii.

Snaha nahradit RTG vyšetření MR nebo UZ. Použití pouze neionických kontrastních látek.

Pro eliminaci pohybu dětí se používají tzv. polohovací systémy.



Obrázek 23: Polohovací systémy [<http://www.yorkxraymaine.com>]

## LITERATURA

- [1] [www.sujb.cz](http://www.sujb.cz) [cit. 2019-12-21]
- [2] <http://astronuklfyzika.cz/DetekceSpektrometrie.htm> [cit. 2019-12-25]
- [3] Navrátil L., Rosina J. a kol.: Medicínská biofyzika, Grada, 2005.
- [4] Rosina J., Kolářová H., Stanek J.: Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů, Grada, 2006.
- [5] Hálek J. a kol.: Biofyzika pro bakaláře, II. vydání Olomouc 2002.
- [6] Hrazdára I. a kol.: Biofyzikální principy lékařské přístrojové techniky, MU Brno 1999.
- [7] Hálek, J. Elektronické texty přednášek z Lékařské biofyziky, dostupné na síti UP Olomouc F:\Software\HALFYZ
- [8] Hrazdára I., Mornstein V. Lékařská biofyzika a přístrojová technika. Neptun Brno, 2001.
- [9] SEIDL, Z. a kol. Radiologie pro studium i praxi. Praha: Grada Publishing, 2012. ISBN 978-80-247-4108-6.
- [10] Šiffnerová H. Radioterapie I. Jihočeská univerzita, České Budějovice 2007, dostupné z [[http://www.zsf.jcu.cz/structure/departments/kra/informace-pro-studenty/ucebni\\_texty/studijni-obor-radiologicky-asistent](http://www.zsf.jcu.cz/structure/departments/kra/informace-pro-studenty/ucebni_texty/studijni-obor-radiologicky-asistent)]
- [11] Šiffnerová H. Radioterapie II. Jihočeská univerzita, České Budějovice 2007, dostupné z [[http://www.zsf.jcu.cz/structure/departments/kra/informace-pro-studenty/ucebni\\_texty/studijni-obor-radiologicky-asistent](http://www.zsf.jcu.cz/structure/departments/kra/informace-pro-studenty/ucebni_texty/studijni-obor-radiologicky-asistent)]
- [12] Šiffnerová H. Radioterapie III. Jihočeská univerzita, České Budějovice 2007, dostupné z [[http://www.zsf.jcu.cz/structure/departments/kra/informace-pro-studenty/ucebni\\_texty/studijni-obor-radiologicky-asistent](http://www.zsf.jcu.cz/structure/departments/kra/informace-pro-studenty/ucebni_texty/studijni-obor-radiologicky-asistent)]
- [13] Tůma S. Konvenční radiologie. Jihočeská univerzita, České Budějovice 2007, dostupné z [[http://www.zsf.jcu.cz/structure/departments/kra/informace-pro-studenty/ucebni\\_texty/studijni-obor-radiologicky-asistent](http://www.zsf.jcu.cz/structure/departments/kra/informace-pro-studenty/ucebni_texty/studijni-obor-radiologicky-asistent)]
- [14] Nekula J. Vybrané kapitoly z konvenční radiologie. Ostrava: Ostravská univerzita, Zdravotně sociální fakulta, 2005.
- [15] Nekula J. Radiologie. 3.vyd. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2005.
- [16] Metzner J. Radiační ochrana, studijní texty. 2011
- [17] <http://astronuklfyzika.cz/Scintigrafie.htm> [cit. 2020-01-01]
- [18] Eisner T. Úloha radiologického asistenta při angiografických výkonech. Bakalářská práce. Jihočeská univerzita v Českých Budějovicích. Zdravotně sociální fakulta, 2007
- [19] Vomáčka, J. Zobrazovací metody pro radiologické asistenty. Olomouc: Univerzita Palackého v Olomouci, 2015. Odborná publikace. ISBN 978-80-244-4508-3.
- [20] Rozina J, a kol. Biofyzika - Pro zdravotnické a biomedicínské obory. Praha: Grada, 2021, 304 s.

























## **SHRNUTÍ STUDIJNÍ OPORY**

Blahopřejeme, došli jste až na konec této studijní obory. Pokud jste průběžně a samostatně odpovídali na kontrolní otázky, měli byste mít dobrou představu o tom, které pasáže si ještě musíte zopakovat.

Doporučuje pro samostudium zvolit i některou doporučenou literaturu.



## PŘEHLED DOSTUPNÝCH IKON

	Čas potřebný ke studiu		Cíle kapitoly
	Klíčová slova		Nezapomeňte na odpočinek
	Průvodce studiem		Průvodce textem
	Rychlý náhled		Shrnutí
	Tutoriály		Definice
	K zapamatování		Případová studie
	Řešená úloha		Věta
	Kontrolní otázka		Korespondenční úkol
	Odpovědi		Otázky
	Samostatný úkol		Další zdroje
	Pro zájemce		Úkol k zamyšlení

Název: **Radiologie a nukleární medicína**

Autor: **Ing. David Korpas. Ph.D.**

Vydavatel: Slezská univerzita v Opavě  
Fakulta veřejných politik v Opavě

Určeno: studentům SU FVP Opava

Počet stran: 106

Tato publikace neprošla jazykovou úpravou.