

# **Přednášky z lékařské biofyziky**

**Biofyzikální ústav Lékařské fakulty  
Masarykovy univerzity, Brno**

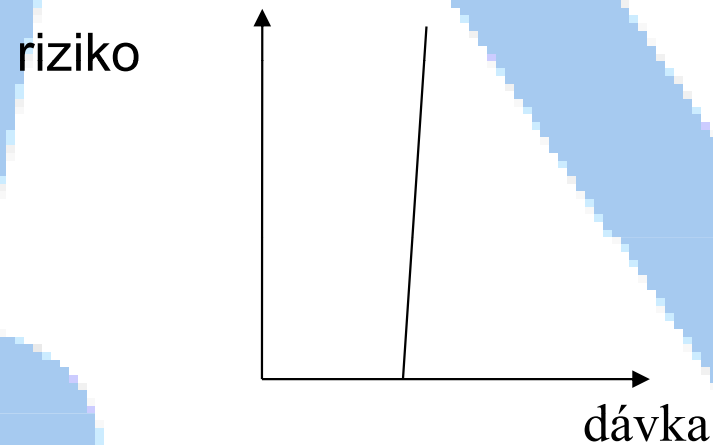
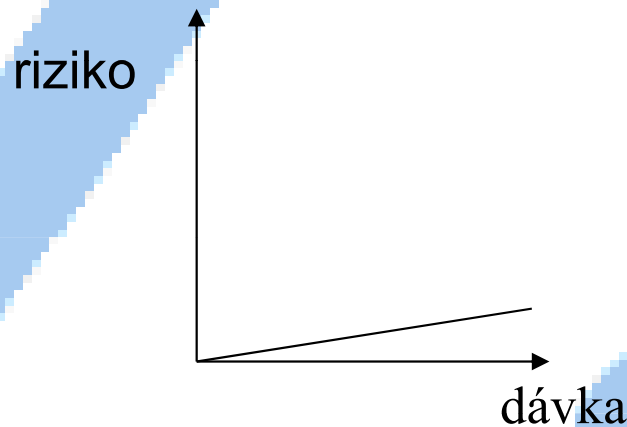
## **Pracovní rizika ve zdravotnictví**

# Rizika ve zdravotnickém zařízení

- Rizika plynou z působení fyzikálních, chemických a biologických činitelů
- Somatických: schopnost poškodit tělo exponovaného jedince
- Teratogenních: schopnost vyvolat poškození u exponovaného plodu
- Mutagenních: Mohou vyvolat poškození genetické informace zárodečných buněk
- Fyzikální činitelé: mechanické, elektrické, magnetické, ionizující i neionizující záření

# Charakteristika biologických účinků

- **Akutní** (účinky se objevují během krátké doby) a **pozdní** (účinky se objevují po delší době)
- **Deterministické** (existuje prahová dávka) a **stochastické** (neexistuje prahová dávka, riziko je úměrné dávce)



# Mechanická rizika

- Opatrnost v blízkosti pohybujících se objektů (centrifug, rtg přístrojů aj.)
- Při chůzi pod zavěšenými břemeny
- Při chůzi po kluzkých podlahách
- Při zdvihání těžkých břemen, pacientů apod. (bolest v zádech)

# Úrazy elektrickým proudem

- Podmínky umožňující úraz
  - DVA kontaktní body na těle, mezi nimiž existuje napětí, jsou nutné pro vznik úrazu (často může být jedním z těchto bodů kontakt se zemí).
  - Úrazy jsou často důsledkem „probíjení“ elektrického napětí.
- Faktory ovlivňující působení el. proudu na tělo
  - Druh zdroje elektrické energie
  - Velikost proudu a doba jeho působení
  - Zasažená část těla (kudy elektrický proud prochází)



# Velikost proudu

Vnitřní odpor lidského těla se pohybuje kolem  $500 \Omega$ .

Minimální odpor rukou a nohou je kolem  $1000 \Omega$ .

Odpor suché pokožky je značně individuální, avšak v průměru má hodnotu kolem  $100 \text{ k}\Omega$ . (Správně by měla být udána i kontaktní plocha.)

Odpor jakéhokoliv spojení s tělem závisí na velikosti kontaktní plochy, velikosti přitlaku, velikosti a délce trvání proudu i na vlhkosti pokožky.

Odpor se mění s časem, pokud je kůže pálena nebo perforována a v závislosti na fyziologických reakcích. Jestliže je proud dostatečně velký pro vyvolání poškození kůže, pak dochází k poklesu odporu během 5 až 10 sekund.

# Vliv druhu tkáně

- Tkáně se liší svým odporem vůči průchodu elektrického proudu. Nejmenší odpor má tkáň nervová, následována cévami, svaly, kůží, šlachami, tukovou tkání a kostí. Skutečná hodnota procházejícího proudu závisí na odporu různých tkání. To vysvětluje, proč je při úrazu elektrickým proudem tak často poškozována nervová tkáň, zatímco jiné tkáně zůstávají relativně neporušené.

# Prahové hodnoty proudu pro různé fyziologické účinky

(Uvažujeme střídavý proud o frekvenci 50 Hz)

- 1mA: práh vnímání
- 5 – 10 mA: maximální hodnota „neškodného“ proudu
- 10 – 20 mA: křečovitá svalová kontrakce („nelze se pustit“)
- 50 mA: bolest, omdlívání
- 100 – 300 mA: fibrilace komor (nekoordinované stahy svaloviny komor) vedoucí k nedostatečnému zásobení mozku či jiných orgánů krví – obvyklá příčina smrti při elektrickém úrazu.



# Jak zvýšit bezpečnost při práci s elektrickými zařízeními?

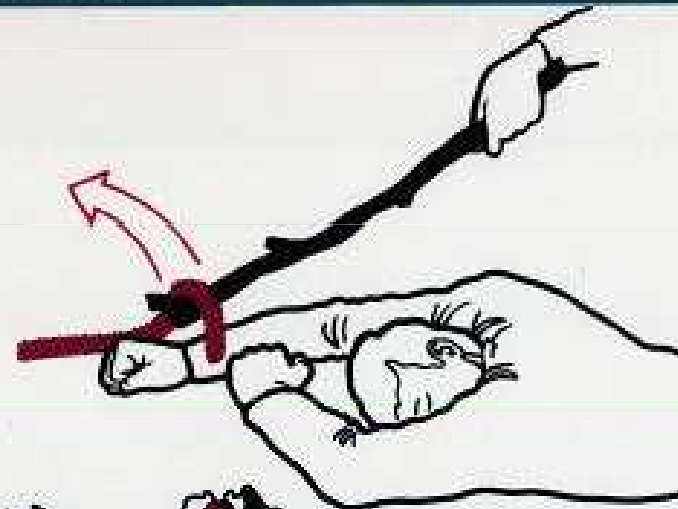
- Opatrné zacházení
- Chránit přívodní šňůry před teplem, vodou, alkoholem, šlapáním....
- Používat šňůry se třemi vodiči (s uzemněním)
- Nepoužívat poškozené zásuvky a vidlice, odřené kabely nebo zástrčky, které vidlici nedrží pevně.
- **Nikdy nevytahovat vidlici ze zástrčky tahem za šňůru**
- **Nepoužívat a okamžitě ohlásit každé zařízení, která dává elektrické rány nebo i jen slabě probíjí (mravenčení)**
- Nikdy nepřipojovat k síti zařízení, když se dotýkáme vodičů v kontaktu se zemí (např. konstrukce nemocničních postelí, vodoinstalace apod.)
- Nedotýkat se současně dvou různých elektrických zařízení, pokud jsou obě připojená k síti
- Při práci s elektrickými zařízeními nemít vlhké ruce, nebýt bosý. Podlahy musí být suché.
- Při používání defibrilátoru se nedotýkat pacienta, zejména míst pokrytých kontaktním gelem, a jeho postele. Kontrolovat zda v izolaci držadel elektrod nejsou trhliny
- Bezpečnost zařízení je nutno kontrolovat v pravidelných intervalech

# PRVNÍ POMOC PŘI ÚRAZU ELEKTRINOU

Jednejte rychle, klidně a účelně. V oživování vytrvejte, neboť většina postižených je mrtvá jen zdánlivě!

## Postup:

1. postiženého vyprostíme z dosahu elektrického proudu, aniž bychom při tom ohrozili sebe! Proto nejdříve
  - a) vypneme proud vypínačem, vytažením kabelu ze zásuvky, vyšroubováním pojistky;
  - b) odsuneme vodič nebo odtáhneme zasaženého, nejlépe elektrický proud navodivým materiálem - dřevem, provazem, oděvem;
  - c) nikdy se nedotýkáme holou rukou těla ani oděvu postiženého. Pracujeme, pokud možno, jednou rukou. Nezapomeňme, že postižený se sám nemůže pustit předmětu, který svírá pro svalovou křeč. Proto jej zajistíme tak, aby po přerušení proudu neupadl;
2. Zasaženého, pokud je v bezvědomí, ihned uložíme na záda, nejlépe na zem. Pokud nedýchá, zprůchodníme dýchací cesty. Zakloníme mu hlavu, povytáhneme jazyk a předsuneme dolní čelist.
3. Nezačne-li postižený dýchat, ihned zahájíme umělé dýchání! Současně se přesvědčíme o srdeční činnosti nahmatáním tepny na krku vedle průdušnice.
4. Není-li hmatný tep, zahájíme masáž srdce!
5. V oživování pokračujeme až do obnovení spontánního tepu či do příjezdu lékaře.



# Riziko spojené s magnetickým polem

- Do místnosti s přístrojem pro magnetickou resonanci nelze vstoupit:
  - S feromagnetickými předměty (stávají se z nich projektily)
  - S feromagnetickými implantáty
  - Kardiostimulátory, defibrilátory/kardiovertery, kochleárními implantáty
  - ....





# Ionizující záření

Carmel J Caruana, BioMedical Physics, Institute of Health Care, University of Malta

# Základy

- Ionizující elektromagnetické záření:  $f > 3 \cdot 10^{15}$  Hz tj.  $\lambda < 100$  nm (UV, rtg a gama), má dostatek energie pro ionizaci atomů tvořících naše tělo.
- Ionty způsobují tvorbu VOLNÝCH RADIKÁLŮ ( $H\cdot$ ,  $OH\cdot$  z vody) a vysoce chemicky reaktivních sloučenin, např.  $H_2O_2$ , které vyvolávají změny biologicky významných molekul, např. DNA, a vedou k biologickým účinkům jako je kancerogeneze a mutageneze.
- Čím vyšší je počet fotonů absorbovaných tělem a čím vyšší je energie těchto fotonů, tím vyšší je počet vytvářených volných radikálů, tím vyšší je riziko.

# Oblasti využití ionizujícího záření v nemocnicích

- Radiodiagnostika (rtg)
- Nukleární medicína
- Radioterapie
- Kostní denzitometrie
- Výzkum

# Interakce záření s tkáněmi

- Částice: Kinetická energie částic je ve tkáních zcela pohlcena.
- Fotony: Energie fotonů je buď zcela absorbována nebo jen zčásti – dochází k rozptylu.
- Čím vyšší je počet částic (fotonů) absorbovaných v těle a čím je vyšší energie každé částice (každého fotonu), tím vyšší je počet vytvořených volných radikálů atd., tím vyšší je dávka, tím vyšší je riziko.

# Rizika způsobená ionizujícím zářením

- Stochastická
  - Kancerogeneze: vznik rakoviny (riziko budoucího úmrtí na rakovinu se zvyšuje o 0,005% s každým mSv)
  - Mutageneze (změny genů v gametách)
- Deterministická
  - Zákaly oční čočky
  - Poškození kůže
  - Účinky na plod *in utero* (důležité u těhotných pracovníků v nemocnicích)



# Účinky záření na buňky

- Buňky jsou nejcitlivější během mitózy (buněčného dělení)
- Možné účinky záření na buňky:
  - Smrt buněk před mitózou nebo po ní
  - Opožděná nebo prodloužená mitóza
  - Abnormální průběh mitózy následovaný opravou
  - **Abnormální průběh mitózy následovaný replikací** – toto je velký problém, protože takto dochází k šíření poškození do dceřinných buněk. Důsledkem mohou být např. změny regulačních mechanismů, které vedou ke vzniku rakoviny.

# Radiosensitivita buněk

- Zákon Bergonieho a Tribondeaua: radiosenzitivita buněk je úměrná rychlosti dělení buněk (frekvenci mitóz) a nepřímo úměrná úrovni buněčné specializace (též 'diferenciace').
  - Vysoká citlivost: kostní dřeň, spermatogonie, buňky granulózní tkáně obklopující vajíčko
  - Střední citlivost: játra, štítná žláza, pojivová tkáň, cévní výstelka
  - Nízká citlivost: nervové buňky (mozek patří k nejméně citlivým orgánům!!)
- Čím mladší je pacient, tím je citlivější vůči záření, tím více opatrnosti je nutno v pediatrii (děti jsou vůči záření asi 3x citlivější než dospělí).

# Radiosensitivita (pro kancerogenezi, mutagenezi): tkáňový váhový faktor

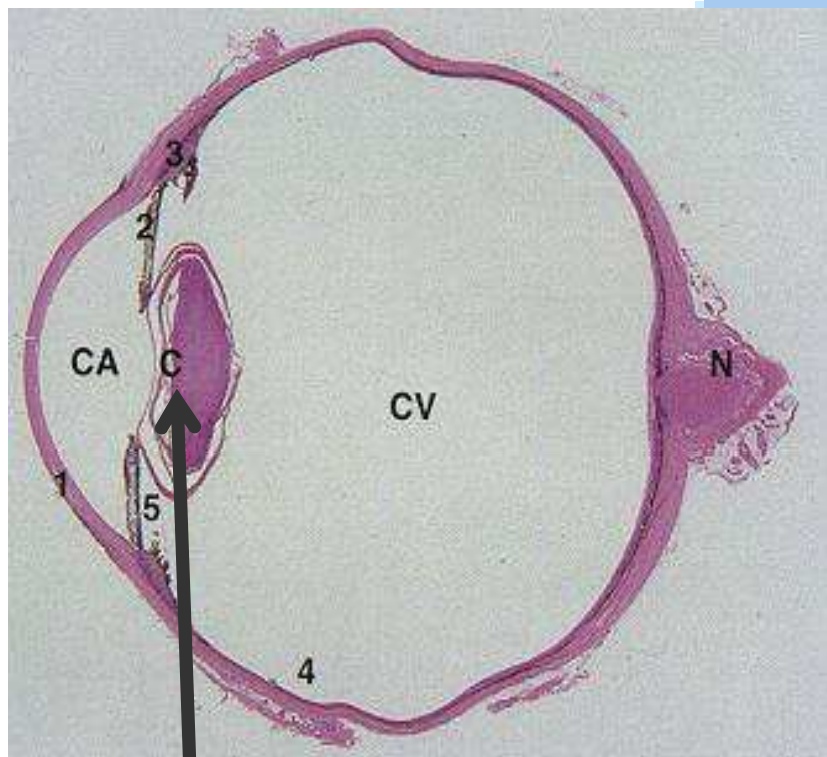
Tissue or organ	Tissue weighting factors, $w_T$
Gonads	0,20
Bone marrow (red)	0,12
Colon	0,12
Lung	0,12
Stomach	0,12
Bladder	0,05
Breast	0,05
Liver	0,05
Oesophagus	0,05
Thyroid	0,05
Skin	0,01
Bone surface	0,01
Remainder	0,05 (**) (***)

(\*\*) For the purposes of calculation, the remainder is composed of the following additional tissues and organs: adrenals, brain, upper large intestine, small intestine, kidney, muscle, pancreas, spleen, thymus and uterus. The list includes organs which

(Ref. 96/29/Euratom)

Sagitální řez okem:

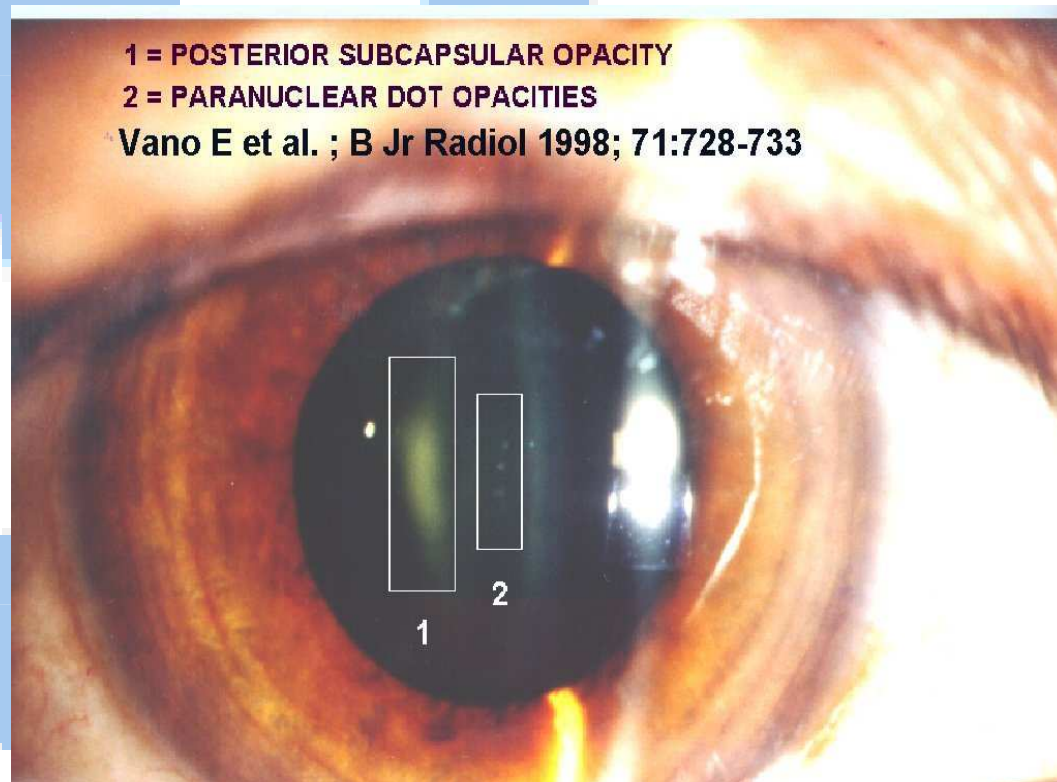
# Účinky na oči



From "Atlas de Histologia..." J. Boya

➤ Oční čočka je vysoce radiosenzitivní a navíc je obklopena vysoce radiosenzitivními kuboidními buňkami.

➤ Vznik zákalu čočky (katarakty)



1 = POSTERIOR SUBCAPSULAR OPACITY

2 = PARANUCLEAR DOT OPACITIES

Vano E et al. ; B Jr Radiol 1998; 71:728-733

# Profesní dávkové limity (legálně přípustné maximální dávky)

- Stanoveny ICRP (International Commission for Radiological Protection)
- Deterministické účinky: dávkové limity jsou nastaveny jako podprahové, aby byly deterministické účinky vyloučeny.
- Stochastické účinky: Nemohou být nulové! Profesní dávkové limity jsou nastaveny tak, aby riziko bylo srovnatelné s rizikem u jiných sociálně přijatelných zaměstnání nebo situací.
- *Dávkové limity NEJSOU bezpečné limity a pravidlo ALARA (As Low As Reasonably Achievable) se musí uplatňovat i u dávek pod těmito limity.*

# Minimalizace dávek z vnějších zdrojů

- Vyhybat se ionizujícímu záření jak to je možné
- Nikdy nevstupovat do dráhy svazku záření
- Minimalizovat „sílu“ zdrojů
- Pracovat s malými energiemi částic a vyššími energiemi fotonů
- Minimalizovat expoziční dobu - *zdarma*
- Maximalizovat vzdálenost (intenzita klesá se čtvercem vzdálenosti!) - *zdarma*
- Pokud vše ostatní selže, použít olověné stínění – *nejdražší řešení*

# Minimalizace dávek z vnitřních zdrojů

- Pocházejí od **otevřených** zdrojů (prášků, tekutin, plynů, které pronikly do těla)
- Minimalizovat aktivity a energie zdrojů
- Správné pracovní postupy: žádné pipetování ústy, rozlité tekutiny je nutno okamžitě likvidovat, utěrky na jedno použití, používání podnosů
- Osobní hygiena: vhodné oblečení (laboratorní pláště, přezůvky, rukavice, masky), umývání a monitorování rukou, oděvu a bot.
- Vhodné vybavení laboratoře: neabsorbující povrchy, speciální umyvadla, nádoby na radioaktivní odpad, přiměřená ventilace, dostupnost umyváren a sprch, pracovní boxy s laminárním prouděním vzduchu, pracovní boxy se zabudovanými rukavicemi z olovnaté gumy, instalované monitory dávek a zamoření
- U nás určeno tzv. atomovým zákonem a prováděcími předpisy



# Instalovaný měřič dávky

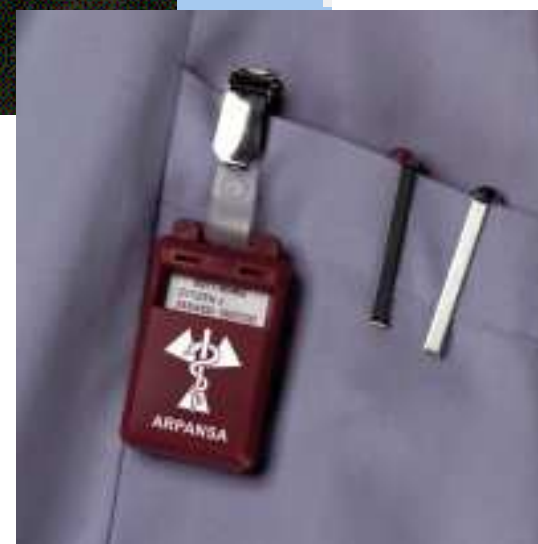
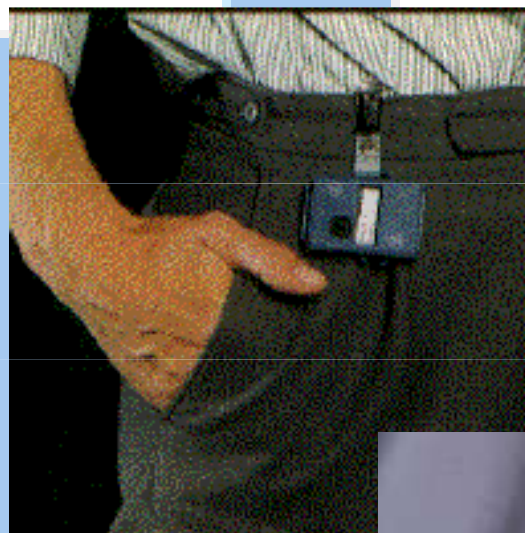




# Přenosné dozimetry (monitory zamoření)



# Osobní dozimetry



# Varovné symboly



**NEBEZPEČNÉ  
IONIZUJÍCÍ  
ZÁŘENÍ**



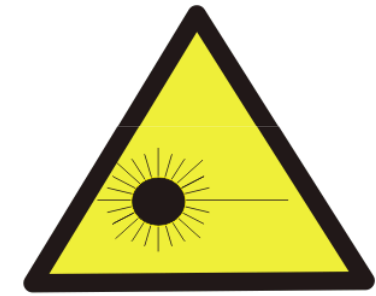
**SLEDOVANÉ PÁSMO  
SE ZDROJI  
IONIZAČNÍHO ZÁŘENÍ**

# Neionizující záření

- Laser
- Ultrazvuk (jiná přednáška)
- Ultrafialové záření
- Radiofrekvenční (RF – jiná přednáška)
  - Mikrovlny
  - Krátké vlny



# Lasery



POZOR  
LASEROVÉ  
ZÁŘENÍ

- Uplatňují se u zařízení: CT, MRI, radioterapeutické systémy, laserová chirurgie, korekce refrakčních vad, DVD, řada laboratorních přístrojů atd.
- Biologické účinky: tepelné a fotochemické poškození kůže, poškození sítnice (čočka může soustředit laserový svazek do velmi malého bodu), popálení rohovky
- Místnosti, kde se pracuje s laserem, musí být označeny
- Praktický trénink pracovníků
- Ochrana očí
- Jsou definovány maximální přípustné hladiny expozice

# Třídy laserů

- Lasery se dělí do tříd:
  - II (výkon do 1 mW),
  - IIIa (výkon do 5 mW)
  - IIIb (výkon do 500 mW).
- Chirurgie: Výkonové lasery třídy IV
- **Bezpečnost:**
  - Nálepky na laserech musí označovat třídu,
  - Pozor! Laserové záření nemusí být viditelné!
  - Od třídy IIIb též varování před poškozením očí fokusovaným paprskem
  - Třída I: Bezpečné, protože nemohou překročit maximální dovolený limit, výkon je velmi nízký, nebo je laser pod krytem (laserové tiskárny, CD mechaniky)
  - Třída II: nízkovýkonové lasery, mrknutí oka je dostatečnou ochranou (např. laserová ukazovátka)
  - Třída IIIA a IIIB: přímý dopad paprsku do oka je rizikový
  - Třída IV: vysoké výkony. Rizikový je pro oko i odražený paprsek.

# UV

- Zařízení se zdroji UV: spektrofotometry, počítače buněk, flow-cytometry, fototerapeutická zařízení, germicidní lampy, solária, kopírky atd.
- Zvýšená opatrnost – záření je neviditelné  
UV-A: 380 - 315 nm, UV-B: 315 - 280 nm, **UV-C: 280 - 190 nm**
- Biologické účinky: rakovina kůže, erytém, předčasné stárnutí kůže, zákaly oční čočky



# Dodatečné informace pro pracovníky ohrožené radiací

Carmel J Caruana, BioMedical Physics, Institute of Health Care, University of Malta



# Veličiny a jednotky týkající se záření 1

- Vnější zdroje: ABSORBOVANÁ DÁVKA – množství energie absorbované tkání o jednotkové hmotnosti. Jednotka  $\text{J}\cdot\text{Kg}^{-1}$  (gray, Gy). Čím je vyšší absorbovaná dávka, tím je vyšší množství vytvořených iontů a tím je vyšší i riziko.
- Vnitřní zdroje: ÚVAZEK ABSORBOVANÉ DÁVKY (committed absorbed dose) množství energie absorbované tkání o jednotkové hmotnosti za období 50 let (70 u dětí).

$$D_{T, R} = \frac{\textit{absorbovaná energie}}{m}$$

# Veličiny a jednotky týkající se záření 2

Efektivní dávka a úvazek efektivní dávky (jednotky Sv):

$$E = \sum w_T w_R D_{T,R}$$

$w_R$  = *váhový faktor záření*

$w_T$  = *tkáňový váhový faktor*

Váhový faktor záření je nutný, protože některé druhy záření představují větší riziko než jiné.  $\gamma$  a rtg (externí/interní) 1,  $\alpha$  (interní) 20.

Tkáňový váhový faktor je nutný, protože různé tkáně mají různou *radiosenzitivitu*.

Efektivní dávka je často označována jen jako dávka.

Jednotkou E je sievert Sv (často se používá mSv).

# Stínění

- Pro záření  $\alpha$  není nutné žádné, protože je pohlceno ve zrohovatělé vrstvě kůže
- Pro  $\beta$  obvykle postačuje 1 cm plexiskla
- Pro rtg/ $\gamma$  je nutné stínění (obvykle Pb)

$$t = \frac{1}{\mu} \ln \frac{E_I}{E_T}$$

$\mu$  = lineární koeficient útlumu stínícího materiálu

t = **tloušťka stínění** nutná pro snížení efektivní dávky z  $E_I$  na  $E_T$

Polotloušťka =  $0,693/\mu$

Tloušťka vrstvy zeslabující na 1/10 =  $2,303 / \mu$

# Staré jednotky

- 1 RAD = 0,01 Gy
- 1 REM = 0,01 Sv
- Faktor kvality = váhový faktor záření
- Roentgen (R): míra záření používaná pouze pro rentgenové záření a záření gama.

(Expozice - ozáření): V jednotlivém místě svazku záření je dáno poměrem  $q/m$ , kde  $q$  je celkový záporný (nebo kladný) náboj vytvořený v malém objemu vzduchu o hmotnosti  $m$ . Jednotkou expozice je coulomb na kilogram ( $C \cdot kg^{-1}$ ). Starší jednotkou expozice je rentgen (R):

$$1 R = 2,58 \cdot 10^{-4} C \cdot kg^{-1}$$



Webové stránky pro dodatečné informace o  
zdrojích záření a jeho účincích

European Commission (radiological protection pages):  
**[europa.eu](http://europa.eu)**

International Commission on Radiological Protection:  
**[www.icrp.org](http://www.icrp.org)**

World Health Organization: **[www.who.int](http://www.who.int)**

International Atomic Energy Agency: **[www.iaea.org](http://www.iaea.org)**

United Nations Scientific Committee on the Effects of  
Atomic Radiation: **[www.unscear.org](http://www.unscear.org)**



**Autor:**  
**Carmel J. Caruana**

**Překlad, obsahová  
spolupráce a grafická  
úprava:**

**Vojtěch Mornstein**

**Poslední revize: listopad 2018**

Carmel J Caruana, BioMedical Physics, Institute of Health Care, University of Malta