

Přednášky z lékařské biofyziky

Biofyzikální ústav Lékařské fakulty
Masarykovy univerzity, Brno

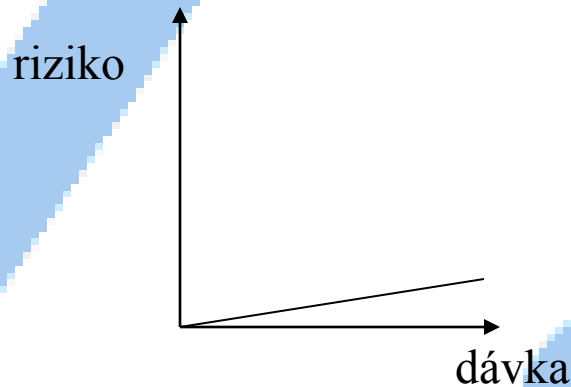
Pracovní rizika ve zdravotnictví

Rizika v nemocnici

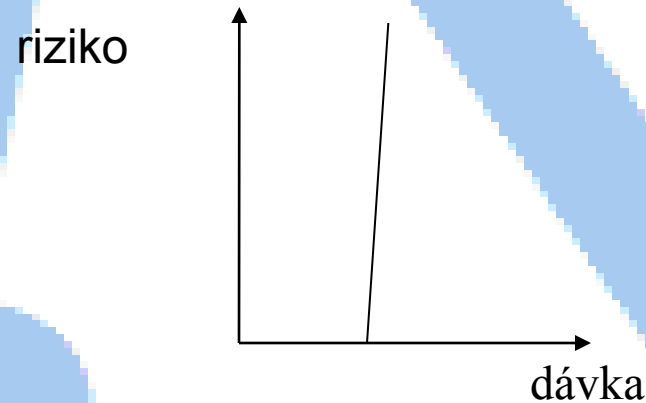
- Rizika plynou z působení fyzikálních, chemických a biologických činitelů
- Somatické činitele: schopnost poškodit tělo exponovaného jedince
- Teratogenní činitele: schopnost vyvolat poškození u exponovaného plodu
- Mutagenní činitele: Mohou vyvolat poškození genetické informace zárodečných buněk
- Fyzikální činitele: 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)



Stochastické účinky



Deterministické účinky

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 (potenciálový rozdíl), 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 500Ω .

Minimální odpor rukou a nohou je kolem 1000Ω .

Odpor suché pokožky je značně individuální, avšak v průměru má hodnotu kolem $100 \text{ k}\Omega$.

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

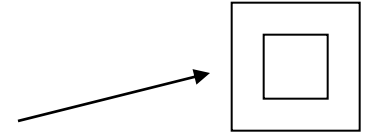
- Tkáně se liší svým odporem vůči průchodu elektrického proudu. Nejmenší odpor má tkáň nervová, následována cévami, svaly, kůží, šlachami, tukovou tkání a kostí. Skutečná hodnota procházejícího proudu závisí na odporu různých tkání. To vysvětluje, proč je při úrazu elektrickým proudem tak často poškozována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

Prahové hodnoty proudu pro různé fyziologické účinky

- 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, 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



SAFETY POINT

FIRST AID IN THE EVENT OF AN ELECTRIC SHOCK

1 If you have DISCONNECTED the electricity you must NOT touch the casualty if you do, the shock will be transferred to you.

2 Water is especially DANGEROUS and will conduct an electric shock to you. Make certain you cannot get shocked. DO NOT TOUCH the casualty with anything that can conduct the shock to you.

Remember that CURRENT CARRIES AWAY! It is important to not apply the first aid technique until you are safe.

3 Turn the plug out of the wall socket. Switch off the main source of electricity. Switch on any lighting outside the house. Close the switch off at the main.

4 If you cannot switch the electricity off you must pull it out. The casualty may have the source of the shock. STAY ON a wooden box or use any other thing that will not conduct electricity. If the casualty is leaning against the source the shock or a loop of the main cable during reconnection could kill the casualty again.

5 DO NOT attempt to pull the casualty off the power cable. Call the Fire Department for help. Call the Fire Department if the casualty has been struck by lightning. Call the Fire Department if the casualty has been struck by lightning.



6 Do NOT try the resuscitation as soon as you can. Do NOT get yourself close to the fire. If a person has been shocked by electricity call the Fire Department. Call the Fire Department. Call the Fire Department. Call the Fire Department.

FIRST AID REASSURANCE IN NEW YORK STATE

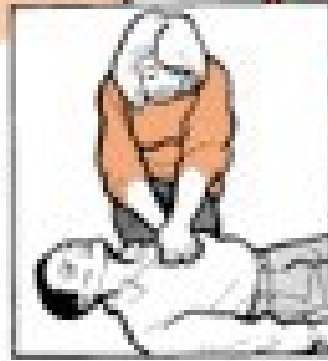
7 If the casualty is unconscious, check breathing and pulse and be prepared to resuscitate. Place casualty in recovery position. If you are satisfied that the casualty is breathing normally and has a normal pulse, do NOT attempt to move them. Call for a doctor if you are in doubt.



REASSURANCE should be given to the casualty. Do NOT attempt to move them. Call the Fire Department. Call the Fire Department. Call the Fire Department. Call the Fire Department.



The methods described in this leaflet shall be in accordance with current first medical practice and electrical safety procedures.



REASSURANCE should be given to the casualty. Do NOT attempt to move them. Call the Fire Department. Call the Fire Department. Call the Fire Department. Call the Fire Department.

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, kochleárními implantáty
 -





Ionizující záření

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

Základy

- Ionizující elektromagnetické záření: $f > 3 \times 10^{15} \text{ Hz}$ tj. $\lambda < 100 \text{ nm}$ (UV, rtg a gama), má dostatek energie pro ionizaci atomů tvořících naše tělo.
- Ionty způsobují tvorbu VOLNÝCH RADIKÁLŮ ($\text{H}\cdot$, $\text{OH}\cdot$ 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
- Radioimmunoassay
- 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 and Tribondeaua: radiosenzitivita buněk je úměrná rychlosti dělení buněk (frekvenci mitóz) a nepřímo úměrná úrovni buněčné specializace (též říkáme '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 3x citlivější než dospělí).

Radiosensitivita (pro kancerogenezi, mutagenezi): tkáňový váhový faktor

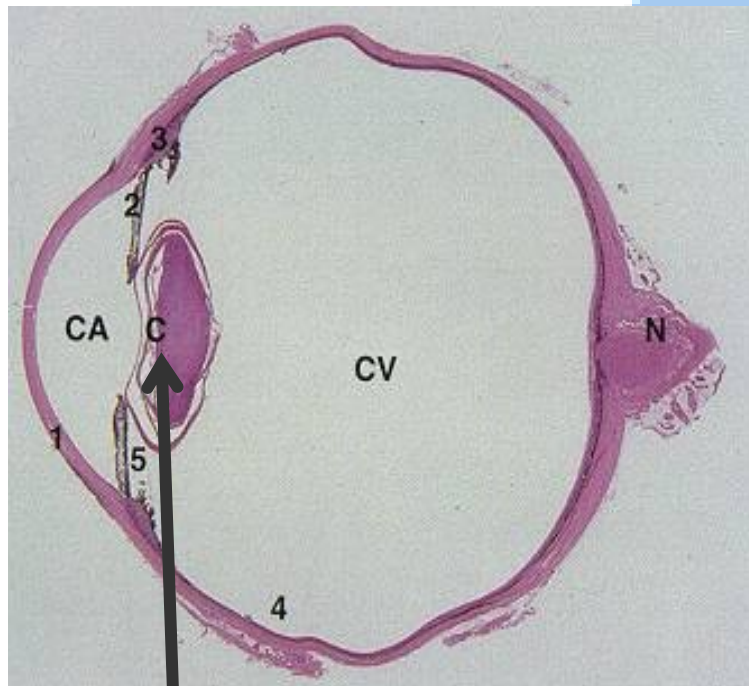
Tissue or organ	Tissue weighting factors, w_T
Gonads	0,20
Bone marrow (red)	0,12
Colon	0,12
Lung	0,12
Stomach	0,12
Bladder	0,05
Breast	0,05
Liver	0,05
Oesophagus	0,05
Thyroid	0,05
Skin	0,01
Bone surface	0,01
Remainder	0,05 (**) (***)

(**) 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)

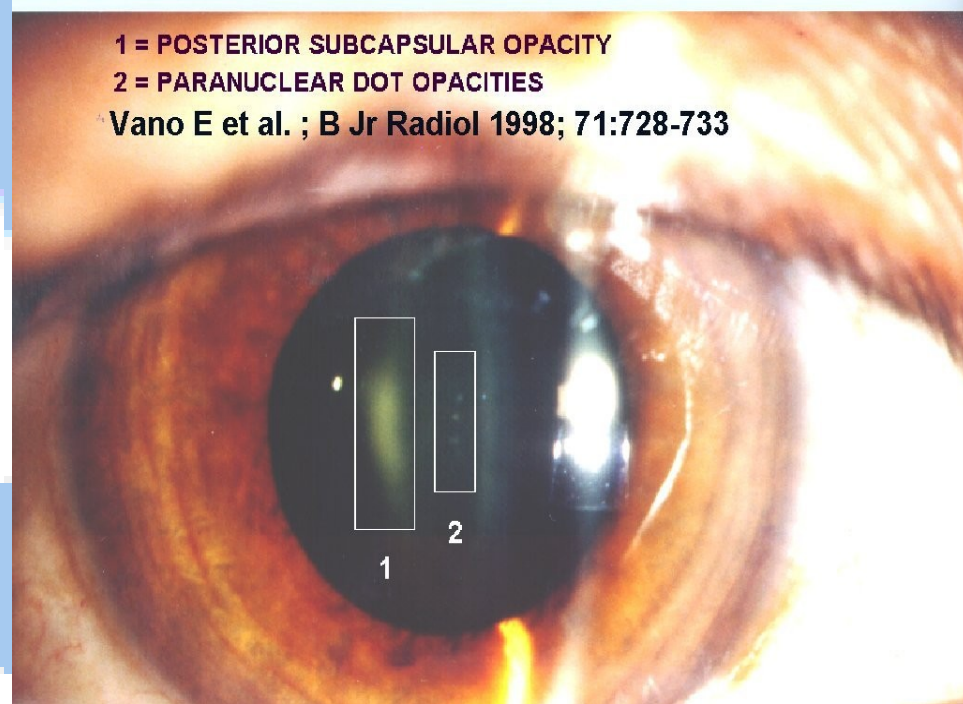
Účinky na oči

Sagitální řez okem:



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

➤ Vznik zákalu čočky (katarakty)



1 = POSTERIOR SUBCAPSULAR OPACITY
2 = PARANUCLEAR DOT OPACITIES
Vano E et al. ; B Jr Radiol 1998; 71:728-733

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

Profesní dávkové limity (legálně přípustné maximální dávky)

- Stanoveny ICRP (International Commission for Radiological Protection)
- Deterministické účinky: dávkové limity jsou 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 / 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

- Vyhýbat 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

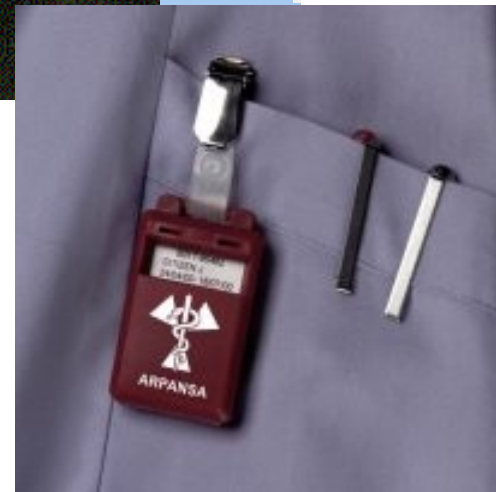
Instalovaný měřič dávky



Přenosné dozimetry (monitory zamoření)



Osobní dozimetry



Varovné symboly



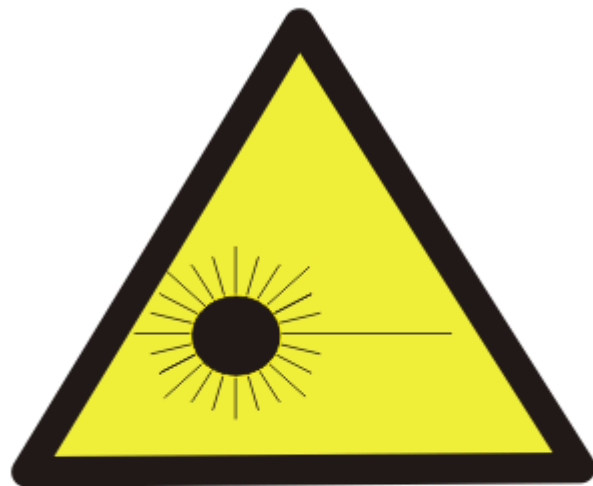
Neionizující záření

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



Lasery

- Uplatňují se u zařízení: CT, MRI, radioterapeutické systémy, laserová chirurgie, korekce refrakčních vad, DVDs, 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



**POZOR
LASEROVÉ
ZÁŘENÍ**

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

Osobní ochranné pomůcky

- Jakékoliv zařízení nebo přípravek určený k nošení nebo držení nějakou osobou za účelem ochrany proti jednomu nebo více zdravotním rizikům
- Směrnice 89/686/EEC



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 JKg^{-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).

$$D_{T,R} = \frac{\text{absorbávaná energie}}{m}$$

Veličiny a jednotky týkající se záření 2

Efektivní dávka a úvazek efektivní dávky (jednotky Sv):

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

w_R = váhový faktor záření

w_T = tkáňový váhový faktor

Váhový faktor záření je nutný, protože některé druhy záření představují větší riziko než jiné. γ a rtg (externí/interní) 1, α (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 α není nutné žádné, protože je pohlceno ve zrohovatělé vrstvě kůže
- Pro β obvykle postačuje 1 cm plexiskla
- Pro rtg/ γ je nutné stínění (obvykle Pb)

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

μ = 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 ($C.kg^{-1}$). Starší jednotkou expozice je rentgen (R):

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

Webové stránky pro dodatečné informace o zdrojích záření a jeho účincích

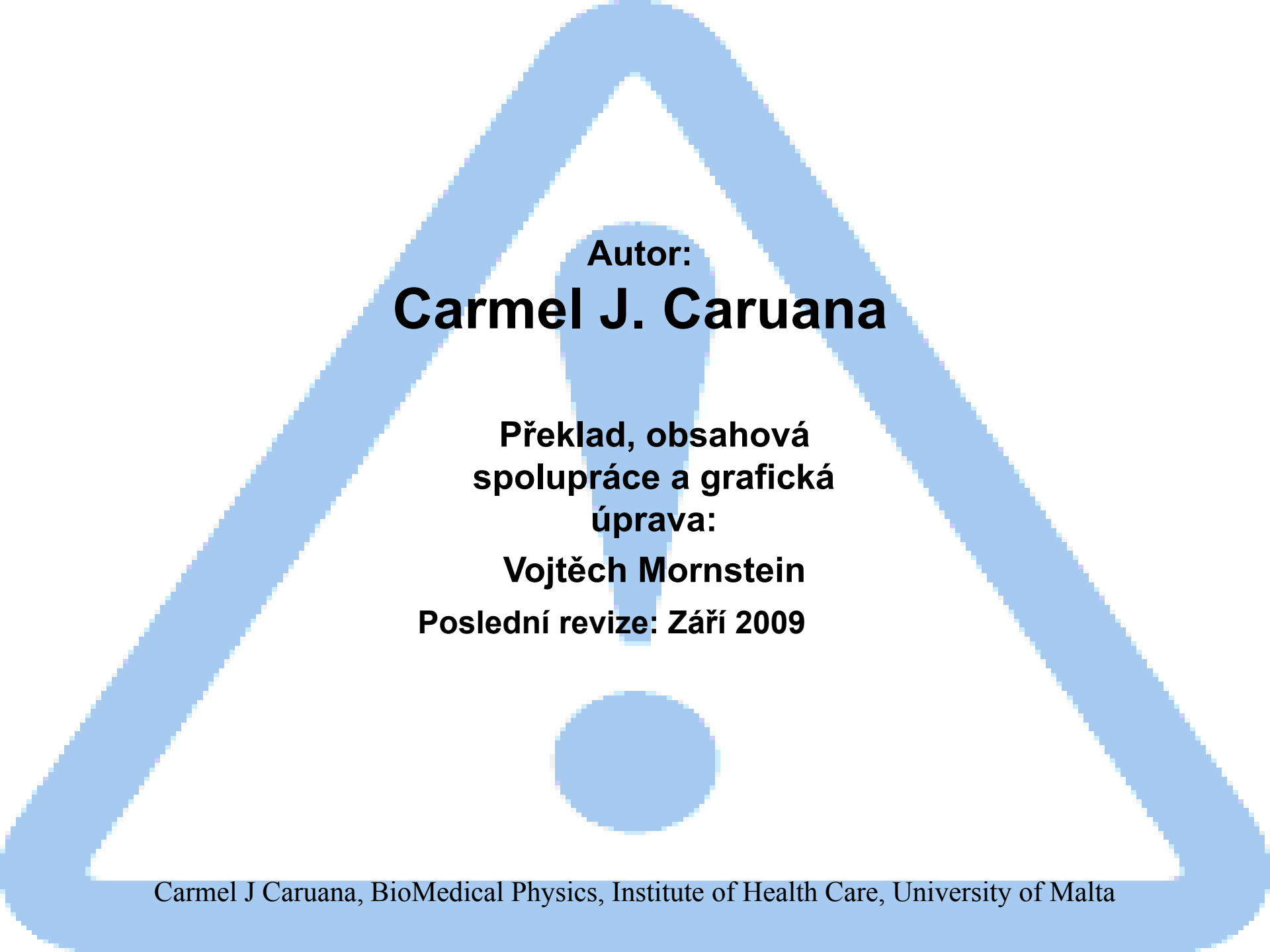
European Commission (radiological protection pages):
europa.eu

International Commission on Radiological Protection:
www.icrp.org

World Health Organization: **www.who.int**

International Atomic Energy Agency: **www.iaea.org**

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation: **www.unscear.org**



Autor:
Carmel J. Caruana

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

Vojtěch Mornstein

Poslední revize: Zář 2009