



**UNIVERZITA KARLOVA V PRAZE**  
**3. LÉKAŘSKÁ FAKULTA**



Klinika pracovního a cestovního lékařství

**Zuzana Klimešová**

**Nemoci způsobené ionizujícím zářením**  
*Diseases Caused by Radiation*

*Bakalářská práce*

Praha, březen 2009

Autor práce: Zuzana Klimešová

Studijní program: Veřejné zdravotnictví

Bakalářský studijní obor: Specializace ve zdravotnictví

Vedoucí práce: Doc. MUDr. Evžen Hrnčíř, CSc.

Pracoviště vedoucího práce: Klinika pracovního  
a cestovního lékařství

Datum a rok obhajoby: září 2009

## **Prohlášení**

Prohlašuji, že jsem předkládanou práci zpracoval/a samostatně a použil/a jen uvedené prameny a literaturu. Současně dávám svolení k tomu, aby tato bakalářská práce byla používána ke studijním účelům.

V Praze dne 20. Června 2009

Zuzana Klimešová

## **Poděkování**

Na tomto místě bych ráda poděkovala Doc. MUDr. Evženu Hrnčířovi CSc., MBA za hodnotné rady, návrhy a čas, který mi věnoval při řešení bakalářské práce.

## **OBSAH**

<b>1. ÚVOD .....</b>	<b>- 10 -</b>
<b>2. IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ OBECNĚ .....</b>	<b>- 11 -</b>
2.1. Definice ionizujícího záření.....	- 11 -
2.2. Druhy ionizujícího záření.....	- 11 -
2.2.1. Korpuskulární záření.....	- 11 -
2.2.2. Nekorpuskulární záření .....	- 13 -
<b>3. ZDROJE IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ .....</b>	<b>- 15 -</b>
3.1. Přírodní zdroje ionizujícího záření .....	- 15 -
3.2. Umělé zdroje ionizujícího záření .....	- 16 -
<b>4. PŮSOBENÍ IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA BUŇKU, TEORIE O ÚČINCÍCH IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ .....</b>	<b>- 18 -</b>
<b>5. ÚČINKY A VLIV IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA ČLOVĚKA .....</b>	<b>- 21 -</b>
5.1. Nestochastické (deterministické) účinky .....	- 21 -
5.1.1. Akutní nemoc z ozáření .....	- 21 -
5.1.2. Vliv ionizujícího záření na kůži.....	- 24 -
5.1.3. Vliv ionizujícího záření na spermiogenezi.....	- 26 -
5.1.4. Vliv ionizujícího záření na zárodečný epitel.....	- 26 -
5.1.5. Vliv ionizujícího záření na krvetvorbu.....	- 27 -
5.1.6. Vliv ionizujícího záření na jednotlivé orgány .....	- 28 -
5.1.7. Pozdní projevy nemoci z ozáření.....	- 29 -
5.2. Stochastické účinky ionizujícího záření.....	- 31 -
5.2.1. Ionizující záření a jeho vliv na vznik některých nádorů .....	- 31 -
5.2.2. Genetické účinky ionizujícího záření .....	- 33 -

<b>6. OCHRANA PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM.....</b>	<b>- 37 -</b>
<b>7. ZÁVĚR .....</b>	<b>- 40 -</b>
<b>8. SOUHRN .....</b>	<b>- 41 -</b>
<b>9. SUMMARY.....</b>	<b>- 43 -</b>
<b>10. SEZNAM POUŽITÉ LITERATURY:.....</b>	<b>- 45 -</b>

# 1. Úvod

Bakalářskou práci na téma Nemoci způsobené ionizujícím zářením jsem si vybrala díky zájmu o danou problematiku, se kterou jsme se setkala již při studiu biofyziky v prvním ročníku na 3. lékařské fakultě. Nemoci způsobené ionizujícím zářením spadají do nemocí z povolání, což je právní termín, který označuje onemocnění uvedené v seznamu nemocí z povolání vznikající nepříznivým působením biologických, fyzikálních, chemických, fyzikálně-chemických či jiných škodlivých vlivů. Podmínkou je vznik nemoci za podmínek uvedených v seznamu, nařízení vlády č. 290/1995 Sb. Ionizujícím zářením se zabývá Atomový zákon (Zákon č.18/1997 Sb., o mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (Atomový zákon) a o změně a doplnění některých zákonů. Ve znění zákona č. 13/2002 sb.), který upravuje způsob využití ionizujícího záření, podmínky výkonu činnosti, které souvisí s jeho využitím a systém ochrany osob a životního prostředí. Dále upravuje výkon státní správy a dozoru při využívání jaderné energie při činnostech, které vedou k ozáření, také podmínky, které zajišťují bezpečné nakládání s radioaktivním odpadem a nakonec zvláštní požadavky pro zajištění občanskoprávní odpovědnosti za škody v případě jaderných škod.

## **2. IONIZUJÍCÍ ZÁŘENÍ OBECNĚ**

### **2.1. Definice ionizujícího záření**

Ionizující záření je tok hmotných částic nebo fotonů elektromagnetického záření, které mají schopnost ionizovat atomy prostředí nebo excitovat jejich jádra. Vzniká jako průvodní jev jaderných procesů (u rentgenového záření procesů odehrávajících se v elektronovém obalu atomů). Při těchto procesech se dostává jádro (nebo obal) atomu do excitovaného stavu a stává se energeticky nestabilní. Stabilní stav získá právě vyzářením energie ve formě částic nebo fotonů elektromagnetického záření (9).

### **2.2. Druhy ionizujícího záření**

#### **2.2.1. Korpuskulární záření**

##### **Záření alfa**

Záření alfa je přímo ionizující záření, které je tvořeno částicemi alfa (dvěma protony a dvěma neutrony). Zdrojem jsou těžké radionuklidy, které při průchodu prostředím silně ionizují a ztrácejí tak rychle svoji energii. Tím je dosah záření alfa velmi omezený na několik mikrometrů až milimetrů. Částice nepronikají horní vrstvy kůže, zde je však vysoká hustota ionizace. Ke stínění je postačující například silnější papír.



### **Záření beta**

Záření beta je tvořeno rychlými elektrony, částicemi beta, které jsou lehčí a mají až dvěstěkrát větší dolet než částice alfa. Záření vzniká přeměnou radionuklidů jak přírodních, tak umělých. Dolet ve vzduchu je v desítkách metrů. V tkáních dolet činí až desítky milimetrů, u těžkých materiálů jednotky až desítky milimetrů.

### **Neutronové záření**

Je vysoce pronikavý proud letících neutronů reagujících s atomovými jádry. Nevyskytuje se v prostředí. Vzniká zdroji ionizujícího záření, jako jsou například jaderné reaktory, jaderné exploze, neutronové generátory a jiné zdroje. Není nositelem elektrického náboje, a proto neztrácí energii při ionizaci atomů(11).

### **Pozitrony a tvorba elektron-pozitronových párů**

Pozitrony jsou kladné částice, tzv. antičástice k elektronu. Ve vakuu jsou pozitrony stabilní. Pokud se setkají s elektronem, tak zaniknou a vznikají dva pozitivní fotony. Tvorba elektron-pozitronových párů se uplatňuje při vysokých energiích záření gama a u absorpčních materiálů s vysokým protonovým číslem. Dochází k tomu, že v blízkosti atomového jádra nebo jiné částice se energie elektromagnetického záření zcela přemění na částice elektron a pozitron s kinetickými energiemi  $E_e$  a  $E_p$ . Přítomnost jádra nebo třetí částice je nutná k převzetí části hybnosti fotonu, protože součet hybností vzniklého páru elektron-pozitron je menší. Rozdělení kinetických energií mezi elektron a pozitron je libovolné (2).

## **2.2.2 Nekorpuskulární záření**

### ***Záření gama***

Záření gama je elektromagnetické vlnění, jehož původ bývá nejčastěji jaderný, vzniká radioaktivním rozpadem radionuklidů, velmi často spolu se zářením alfa nebo beta. Jedná se o nepřímé záření, poněvadž při průchodu prostředím se uvolňují elektricky nabitě částice a gama záření jim předává dostatečnou energii k ionizaci. Jeho dosah je několik set metrů ve vzduchu, např. při výbuchu jaderných zbraní. V pevných látkách jako je například půda či beton je dolet řádově až desítky centimetrů(1).

### ***Rentgenové záření***

RTG záření je elektromagnetické vlnění, které vzniká přeměnou energie na energii elektromagnetického záření díky rychle se pohybujícím elektronům, které dopadají na povrch kovových elektrod. Na základě vlnové délky rozlišujeme dva typy RTG záření, a to měkké, které má větší vlnovou délku a tvrdé, jehož vlnová délka je menší. Podle způsobu vzniku dále rozlišujeme záření brzdné, které vzniká zpomalováním pohybu elektronů dopadajících velkou rychlostí na povrch kovu. Vyzařují se elektromagnetické vlny vznikající změnou rychlosti elektronů a brzděním jejich pohybu vzájemným působením atomy kovu. Frekvence elektromagnetických vln se spojitě mění, spektrum brzdného záření je tudíž spojitě. Spektrum čárové se vyskytuje u

charakteristického záření, které souvisí s energetickými změnami atomů kovu, získané působením dopadajících elektronů.

### ***Kosmické záření***

Jedná se o tok částic, které dopadají na celý povrch země z kosmu, konkrétně z mezihvězdného prostoru a Slunce. Rozlišujeme dva druhy kosmického záření, a to primární a sekundární. U primárního záření se jedná především o protony, které mají největší zastoupení, heliony, elektrony a jádra těžkých prvků. Intenzita záření liší dle zeměpisné šířky, aktivity slunce a především nadmořské výšky. Sekundární kosmické záření má tvrdou složku tvořenou převážně mezony, protony, neutrony a jádru lehkých prvků. Měkká složka je tvořena elektrony, pozitrony a fotony o vysoké energii. Ochranou před zářením je atmosféra země, i když část záření jí prochází. Riziko pro člověka představují pouze kosmické lety.

## **3. Zdroje ionizujícího záření**

### **3.1. Přírodní zdroje ionizujícího záření**

Mezi přírodní zdroje ionizujícího záření patří již zmíněné kosmické záření, dále radioaktivita hornin, vody a atmosféry.

Radioaktivita hornin a země je zajišťována především radionuklidy draslíku, které jsou nejrozšířenější. Dále se jedná o thoriové, uranové radionuklidy a mnoho jiných. Jejich koncentrace v půdě je závislá na původu půdy, na zemědělském využití a kultivaci, klimatu, hydrologických podmínkách a lokalitě. Kaliové radionuklidy jsou nejrozšířenější a mají největší aktivitu oproti ostatním radionuklidům. Thorium proniká do půdy jen málo a spíše se vyskytuje u hornin, které hůře podléhají erozi. Uran je více obsažen v horninách, které podléhají erozi snadněji a lépe prochází do spodních vrstev půd. Radionuklidy představují riziko v kontaminaci a vnějším ozáření člověka. U radioaktivity stavebních materiálů záleží právě na druhu použitého materiálu, protože se liší ve vodivosti záření. Navíc uvnitř staveb bývá vyšší koncentrace záření než na vnějším prostranství, vzhledem ke kumulaci v prostorách. Nejméně výhodné je z hlediska rizika záření beton, železo a stavby s ním. Nejvýhodněji se jeví jako stavební materiál dřevo.

Radioaktivita vody vzniká následkem kontaktu vody a horniny. Ve vodě se rozpouští nerostné suroviny a dochází tak ke kontaminaci. Kumulace je především na dně vod a nejvyšší koncentrace je dosažena především u vod minerálních a lázeňských.

Radioaktivita atmosféry, kterou způsobuje především radon a jeho dceřiné produkty se mění na základě různých hledisek, například během dne, podle ročních období, nadmořské výšky, slunečním zářením, klimatickým stavem apod(4).

### **3.2. Umělé zdroje ionizujícího záření**

K umělým zdrojům radioaktivity patří, jaderné zbraně a jejich testování v atmosféře, jaderné havárie, lékařské využití ionizujícího záření, předměty běžného užívání a využití záření například v průmyslu, zemědělství a jaderné energetice, která souvisí s těžbou v uranových dolech a manipulací s radioaktivním palivem aj(5).

Lékařské využití ionizujícího záření má nejvyšší zastoupení z expozice. A to vzhledem k tomu, že se využívá v radiologii k diagnostice, kde je značná část populace ozářena.

Jaderné zbraně a jaderné havárie jsou taktéž producentem významného množství ionizujícího záření. Toto množství kulminovalo v roce 1962, kdy se SSSR a USA nejvíce podíleli na radioaktivním spadu testováním zbraní. Tento spad se podílí na vnitřním i vnějším ozáření a je zastoupen ve větším množství na severní polokouli, vzhledem k lokalizaci testování.

Profesionální ozáření je spjato s objevením RTG záření a radioaktivity jako takové. Dnes je nejvyšší profesionální ozáření zaznamenáno u radiologů a pracovníků, kteří přicházejí do kontaktu s jadernými reaktory, urychlovači částic a jinými zdroji. Dále pak u osob pracujících v oblasti těžby uranu a rud. Předměty běžného užívání mají význam jako zdroje ionizujícího záření. Jedná se především o svítící barvy, které se používají při výrobě hodin, kouřové detektory požárů, které jsou zdrojem alfa

záření. Zdrojem jsou i v menší míře televizory a některá značení  
východů v budovách(4).

## 4. Působení ionizujícího záření na buňku, teorie o účincích ionizujícího záření

Tyto některé z teorií o účincích ionizujícího záření neodpovídají přesné realitě, avšak umožňují jednoduše vysvětlit experimentální zkušenosti, které se zakládají na vztahu mezi účinkem a dávkou. Při průchodu ionizujícího záření tkání dochází ke srážení s jejími molekulami a atomy a tím ke ztrátám energie ionizujícího záření. Tyto ztráty závisí na náboji a energii záření, dále na hmotnosti a také hustotě tkáně. Dříve se předpokládalo, že místo, kde je tkáň poškozena radiací, je jen místo zásahu, což je oblast, kde byla energie ionizujícího záření odevzdána tkáni. O tom vypovídá **tzv. zásahová teorie**. Dnes již víme, že oblast radičního poškození není pouze v daném místě odevzdání energie(6).

Různé části buňky jsou různě citlivé na ozáření a například u elektronů, kde prochází každou buňkou zároveň mnoho drah. Zde nemůžeme posoudit pouze ztrátu energie, právě kvůli různé citlivosti složek buňky na ionizující záření. Například nejcitlivější je chromozomální DNA, mnohem méně citlivá je cytoplasma. Pokud pomíneme přímé poškození buňky definované teorií přímého účinku, dochází i k poškození účinkem nepřímým, popsaným **tzv. radikálovou teorií**. Jedná se o reakce jako je excitace (přechod elektronů na vyšší energetické hladiny), disociace či ionizace (přeměna neutrálních částic v ionty) a to mimo oblast zásahu ionizujícího záření. **Teorie nepřímého účinku** je tedy založena na předpokladu, že uvolněné protony

proniknou do protoplazmy a vzniknou iontové páry. Výsledný účinek záření na protoplazmu je zprostředkovaný jinou molekulou. K této reakci dochází především ve vodě (živé organismy obsahují 60-80% H<sub>2</sub>O), kde vznikají volné vodíkové (.H) a hydroxylové(.OH) radikály a produkty rozkladu vody (H<sub>2</sub>O<sub>2</sub>, HO<sub>2</sub>, H<sub>2</sub>O<sub>4</sub> aj. ). Při reakci za přítomnosti kyslíku vznikají reaktivní formy peroxylových radikálů (HO<sub>2</sub>). Těmito radikály dochází k destrukci či poškození DNA. Pokud dávka záření není vysoká, může být DNA opraveno buněčnými enzymy. Oprava může proběhnout ale i chybně, což vede k mutaci chromozomu či genu. Čím větší je dávka, tím větší je pravděpodobnost vzniku chromozomální aberace. U velmi vysokých dávek ionizujícího záření dochází k vzniku buněk, které se nemohou dělit, nebo jsou zcela destruovány. Po expozici záření mohou vzniknout odchylky od normálu například ve zpoždění buněčného dělení, což se po určité době upraví. Vyšším stupněm poškození je chybné dělení buňky a následně a vznik nadprůměrně velkých buněk. Po ještě vyšším ozáření se vyskytují tzv. agonální buňky u kterých je poškození ireverzibilní a záhy odumírají. Nejvyšším stupněm poškození je samotná smrt buňky. Nejvíce citlivé buňky jsou ty, které se nejrychleji dělí. Na základě této skutečnosti se využívá záření v medicíně při léčbě nádorů, jejichž buňky mají právě vlastnost rychlého dělení a proliferace.

Vliv ionizujícího záření při buněčném dělení je různý. Záleží na stupni diferenciaci buněk. Nejcitlivější je především jádro (hl. chromatin), které je až 25x citlivější než protoplazma. Ve většině případů platí, že čím více je buňka specializovaná, tím více je náchylná k poškození. Také buňka na počátku buněčného dělení se vyznačuje vyšší citlivostí, než například buňka v metafázi. Citlivost stoupá od telofáze až k buněčnému dělení. Při ozáření buňky v interfázi, kdy se syntetizuje DNA, může dojít ke



zpomalení, přerušení, nebo k úplnému zrušení syntézy. Nejmenší možné poškození je zpomalení nebo až zástava dělení, což se projevuje růstovým útlumem. V případě chybného průběhu mitotického dělení může vzniknout například defektní buňka s dvěma jádry. Pozorované změny na chromozomech jsou například typu zlomů a ztráty jejich částí, kde může být porušena buď jedna ze dvou sesterských chromatid, neboli chromatidové zlomy, nebo chromozomové zlomy, kdy jsou poškozeny obě sesterské chromatidy. Dále anomálie typu anafázových mostů z dicentrických fragmentů, kdy vzniká mikronukleus(6).

Porucha na buněčné úrovni v období mezi děleními buňky se vyznačuje shlukováním hmoty jádra, ztlušťuje se jaderná membrána a vznikají malé dutinky v jádře - vakuolizace. Dále dochází k poškození mitochondrií(10).

## **5. ÚČINKY A VLIV IONIZUJÍCÍHO ZÁŘENÍ NA ČLOVĚKA**

### **5.1. Nestochastické (deterministické) účinky**

Tyto deterministické účinky mají tzv. dávkový práh. Vznik onemocnění je většinou podmíněn jednorázovému ozáření. Dávka musí dosáhnout prahové velikosti, jinak onemocnění nevznikne. Jako příklad lze uvést akutní nemoc z ozáření.

#### **5.1.1. Akutní nemoc z ozáření**

Akutní nemoc z ozáření vzniká po ozáření vysokými dávkami ionizujícího záření. Jedná se o fyzikálně-chemické, biologické a morfologické patologické změny. Projevy onemocnění závisí na době a způsobu expozice, ionizační hustotě a schopnosti průniku záření. Postiženy jsou různé systémy, převážně gastrointestinální, nervový a hematopoetický. Nemoc probíhá ve čtyřech stádiích(8).

*První stadium* s počátečními příznaky se nazývá prodromální fází. Vyznačuje se nespecifickým rázem. Kupříkladu nauzeou, zvracením, nechutenstvím, celkovou nevolností a slabostí, suchem v ústech, bolestmi hlavy, popřípadě průjmem, pokud jsou dávky velmi vysoké. Průjmy jsou způsobeny poškozením střevní sliznice. Dále poruchami spánku, depresemi, neklidem, žízní, přechodným vzestupem tělesné teploty. Celkové příznaky jsou způsobeny katabolity z poškozených buněk. Délka

trvání prvního stadia bývá od několika málo hodin až po 3 dny(9,12).

*Druhé stádium* je nazýváno latentní fází, poněvadž je bezpříznakové. Trvá obvykle 3-4 týdny a závisí na dávce ionizujícího záření. Čím vyšší dávka je, tím se toto stadium zkracuje. Může se stát, že při velmi vysokých dávkách je toto období bez příznaků vynecháno, resp. splyne s třetím stádiem. Charakteristickými projevy v této fázi je ústup nebo zmírnění veškerých projevů z prvního stadia, což nastává díky obranným mechanismům organismu, které však nezajistí vyléčení. Nepříznivými známkami této fáze je její krátké trvání a rychle se rozvíjející leukopenie a trombocytopenie(9,12).

*Třetí stádium* je již opět s klinickými příznaky, kdy se nemoc plně rozvíjí. Zde záleží také na velikosti dávky, která je přímo úměrná s množstvím obtíží. Vzniká horečka jako reakce na rozvoj infekce, krvácivé projevy například v dutině ústní, gastrointestinální poškození kvůli zánětlivým změnám na sliznicích a mikroorganismy pronikají přes střevní stěnu kvůli nedostatečné funkci střevní mikroflóry. Dalšími projevy jsou krvácivé průjmy a hemoragická diatéza s různými lokalizacemi. Nebezpečí selhání gastrointestinálního traktu je v hemoragických průjmech, kdy pacient ztrácí tekutiny a hrozí dehydratace. Dále selhávají ledvinné a jaterní funkce. Postižen je také kardiovaskulární systém, jehož selhávání se projevuje poruchami jako je tachykardie, extrasystoly až ke konečnému selhávání srdce. Pacient ztrácí hmotnost také v důsledku sníženého příjmu nebo úplného vynechání příjmu potravy. Disfunkční je i kostní dřeň, kde vzniká porucha tvorby krevních buněk. Následuje tak anemie, leukopenie, trombocytopenie. Nemocní často umírají na

některé z těchto život ohrožujících příznaků nebo na infekční onemocnění vzniklá v důsledku změn jako je například pneumonie. Toto stadium trvá několik týdnů až měsíců a léčbou lze snížit výskyt projevů a úmrtnost. Nelze však zamezit přechodu onemocnění do chronického stádia(9,12).

*Čtvrté stadium* je obdobím rekonvalescence, kdy ustupují příznaky nemoci. I po expozici smrtelné dávky záření je možné přežití, často však dochází k přechodu do chronického stádia nemoci, o které bude pojednáno níže(9,12).

Akutní nemoc z ozáření má 3 formy a to formu dřevnou-krevní, střevní a nervovou.

*Krevní (dřevná) forma akutní nemoci z ozáření* vzniká typicky po celotělovém ozáření dávkou asi 3-5 Gy (ve volném prostoru). Hraniční příznaky se mohou projevit po dávce 1-2 Gy. Doba latence je týden až měsíc. Čím menší je dávka, tím později se příznaky nemoci objeví(6).

Onemocnění lze rozdělit do několika období:

- období nespecifických příznaků, kdy je přítomna nauzea, zvracení, bolesti hlavy a skleslost
- období latence, ve kterém dochází k ústupu příznaků a organismus a krevní elementy zvládají doposud svoji funkci
- období vlastního onemocnění kdy dochází k sepsi organismu díky nedostatečné funkci imunitního systému
- období rekonvalescence - pokud dávka není příliš velká, nastupují po 6-8 týdnech známky pomalého postupného zlepšování, ze zachovalé frakce kmenových buněk, pokud nebyla postižena výživa kostní dřeně účinkem na drobné cévy, dochází

k regeneraci a k doplnění vypleněných kompartmentů funkčních buněk

*Střevní forma onemocnění* se vyznačuje krvavými průjmy vzniklými na základě poškození epitelu sliznice střev. Riziko spočívá v dehydrataci, rozvratu rovnováhy metabolismu, ztráty velkého množství krve, ileu či perforaci střeva. Doba latence je asi jeden týden, přičemž příznaky se objevují při ozáření dávkou 6-15 Gy. Tato forma onemocnění je vždy letální, tudíž se nestihne vyvinout hematologická forma onemocnění(6).

*Nervová forma onemocnění* je podmíněna poruchou orientace a zmateností. Může dojít ke křečím až následnému bezvědomí(6).

### **5.1.2. Vliv ionizujícího záření na kůži**

Vliv ionizujícího záření závisí na jeho konkrétním druhu, velikosti dávky, časovém rozložení dávky, energii částic a velikosti ozářeného pole. Byla definována prahová erytémová dávka, která u osmdesáti procent ozářených vyvolá do jednoho měsíce zřetelný pozdní erytém a u dvaceti procent nevyvolá žádnou viditelnou kožní reakci. Faktor časové rozložení dávky je důležitý, protože čím je ozáření více časově rozložené, tím je účinek menší. Důležité je i rozložení místní, resp. čím větší je plocha postižení, tím horší průběh onemocnění má. Velké ložisko totiž není natolik příznivě ovlivňováno okolím, jako je tomu u malého ložiska. Odolnost kůže proti ionizujícímu záření je jiná na různých místech těla. Nejvíce citlivé jsou oblasti na přední části krku, v loketních a kolenních jamkách. Lépe je na tom oblast ploch končetin, šíje, břicha, kůže, prsů, tváře, zad a plosek

chodidel. Po ozáření kůže dávkou přibližně 3 Gy vzniká první stupeň poškození, který se projevuje erytémem objevujícím se již po několika hodinách, nejpozději do několika dnů. Doba trvání zarudnutí je kolem 24 hodin. Vzniká na podkladě rozšířených cév vyplavením látek, které se uvolňují z destruovaných kmenových buněk pokožky. Poté nastává ústup erytému na různě dlouhou dobu s následným návratem pozdního erytému objevujícím se nejčastěji po třetím týdnu od ozáření. Erytém nyní zasahuje do hlubších vrstev kůže a nazýváme jej radiační dermatitis I. stupně. Patofyziologicky se jedná o uzavření cév trombem, čímž se rozšíří kolaterál. Vzniká zánět s exsudátem. Tento sled prvotního a pozdního erytému je zachován v případě ozáření relativně malými dávkami. U vysokých dávek se radiační dermatitis vyskytne během pár minut a střídavě mizí a znovu se objevuje. Přidružuje se epilace a to nejčastěji ve třetím týdnu po ozáření. Opět záleží na dávce. Do 3 Gy není ztráta ochlupení trvalá, na rozdíl od ozáření dávkou 6-10 Gy. Radiační dermatitida II. stupně vzniká expozicí dávkám 15-20 Gy. Je charakteristická výskytem puchýřků na kůži. Exsudát ze zánětu se v nich hromadí a může dojít k infekci a mokvání. Tento stupeň radiační dermatitis se buď zahojí a pokožka se obnoví, nebo dojde k místnímu odumření tkáně a vytvoří se vřed, který je charakteristický pro radiační dermatitidu III. stupně. Vředy vzniklé následkem expozice se velmi špatně hojí vzhledem k místnímu poškození cév. Zahojí-li se však pokožka, je velmi tenká a náchylná k mikrobiální infekci, dále je citlivá na fyzikální a chemickou zátěž. Často převládají degenerativní změny nad reparativními, v cévách se hromadí hyalinní hmota kvůli které nedochází k výměně plynů a živin mezi krví a tkáněmi. V tomto případě je na místě chirurgická léčba(6).

Dále po ozáření dávkou vyšší než 1,5-2 Gy může vzniknout zákal oční čočky, který řadíme k pozdním nenádorovým onemocněním. Čočka je orgán na ionizující záření velmi citlivý a její zakalení může vzniknout buď po jednorázovém ozáření, nebo po dlouhodobém ozáření. Dochází k poškození epiteliálních buněk. V čočce se neustále pomalu tvoří vlákna a ozářením je tato funkce narušena a dochází k tvorbě tečkovitých či síťovitých zákalků.

### **5.1.3. Vliv ionizujícího záření na spermiogenezi**

Ozáření pohlavních žláz může vyvolat neplodnost nebo genetické změny-mutace pohlavních buněk. U potomka se následně může vyskytnout genetická odchylka. Poškození může být buď funkční, nebo ve formě tvarového defektu. Poškození ionizujícím zářením se liší u mužů a u žen. Muži jsou k ionizujícímu záření náchylnější a při dávce 0,1-0,3 Gy dochází většinou k oligospermii. U dávky 0,5-2 Gy nastává aspermie u 100% jedinců. V průběhu několika let často dochází k regeneraci. Ženy, které jsou méně vnímavé po ozáření dávkou do 1,5 Gy nemají poruchu fertility, avšak záleží na věku ozářené osoby. Pokud je mladá žena ozářena dávkou 2,5-8 Gy, dochází ke sterilitě až v sedmdesáti procentech. U starších žen je tomu ve všech případech a to natrvalo(6).

### **5.1.4. Vliv ionizujícího záření na zárodečný epitel**

Poškození plodu je závislé na stáří plodu-na počtu doposud vyvinutých buněk. V období od 3. do 8. týdne těhotenství je plod nejcitlivější ke vzniku malformací orgánů. V období 8. - 25. týdne těhotenství je vysoké riziko vzniku mentální retardace. Po

ozáření od 4. týdne stáří plodu je až třikrát vyšší riziko vzniku nádorového onemocnění během průběhu života, než při ozáření osob v dospělosti(6).

#### **5.1.5. Vliv ionizujícího záření na krvetvorbu**

Ionizující záření, které je dostatečně silné, má za následek pancytopenii. Mezi dávkou ionizujícího záření a hematologickými změnami platí přímá úměra. Tedy čím vyšší je dávka ionizujícího záření, tím jsou i hematologické změny větší a tím je rychlejší jejich vznik a následně pomalejší jejich vymizení. Po vysokých dávkách ozáření jsou patrné změny erytrocytů. Především snížení jejich počtu, které se projevuje nejčastěji mezi 3. - 8. týdnem po ozáření (dle závažnosti případu). Snížení retikulocytů rovněž klesá a to nejčastěji v 8. - 12. týdnu po expozici ionizujícímu záření, kdy regenerují erytrocyty. Přítomna je i leukopenie, která je diagnostickým ukazatelem nemoci z ozáření. Počet lymfocytů se upravuje nejčastěji do 12. týdne po ozáření. Změny jsou patrné i na vzhledu leukocytů a to převážně na neutrofilech a lymfocytech. Závažná je i snížená tvorba protilátek a jiných plazmatických bílkovin, mikrofágů, makrofágů a gama globulinů, která vede k imunobiologickému selhání organismu. Změny na kostní dřeni mohou být patrné už na konci prvního týdne po ozáření. Lymforetikulární řada je prvotně zmnožena a následně utlumena. K regeneraci dřene dochází po 1 - 3 týdnu po ozáření. K absolutní úpravě krvetvorby dochází nejčastěji do 16. týdne po expozici. Vliv ionizujícího záření na trombocyty se projevuje snížením jejich počtu, což může vyústit až v hemoragický syndrom(13).



### **5.1.6. Vliv ionizujícího záření na jednotlivé orgány**

#### ***Plíce***

Vznik tzv. radiační pneumonitidy. Výskyt fibrinózních exsudátů, které mohou, ale nemusí obsahovat polynukleární leukocyty a deskvamují buňky. Nastává atrofie tkáně a dochází k prosáknutí pojiva edémem. Výskyt hemoragií bývá u osob zemřelých do čtrnácti dnů po ozáření. Dále je přítomen fibrinózní a hemoragický exsudát v plicních sklípcích a rozvíjí se nekróza tkáně. Prahovou dávkou je 5 Gy(6).

#### ***Gastrointestinální trakt***

Nejprve zduření sliznice, výskyt petechií a to již po několika dnech po ozáření. Následuje vznik vředů vázaných na lymfatickou tkáň stěny střevní a odumírání tkáně. V tenkém střevě vzniká po vysoké expozici ionizujícímu záření zánět šířící se do tlustého střeva. Při postižení je patrný výskyt pablán a vředovitě rozpadlý povrch. Pokud se sliznice zhojí, funkce střeva je zachována, avšak sliznice je tenká a s menší produkcí hlenu(6).

#### ***Játra***

Může dojít až k nekróze, častěji je však přítomna pouze tuková degenerace. Typické jsou zvětšené Kupferovy buňky kvůli nadměrné přítomnosti pigmentu. Znán je i zvýšený odtok žluče již po expozici malým dávkám(6).

## **Ledviny**

Nacházíme krevní výrony, zvětšení epiteliálních buněk ledvinných kanálků. Může dojít i k infiltraci monocyty či plazmatickými buňkami(6).

## **Mozek**

Výskyt petechií(6).

## **Kůže**

Epilace, krvácivý syndrom, dermatitis a popáleniny(6).

## **Mužské a ženské pohlavní buňky**

Změny v morfologii a počtu buněk. Úbytek buněk zárodečných a zmnožení Sertoliho buněk. U žen je porušeno vyzrávání folikulů ve vaječnicích(6).

## **Kostní dřeň**

Kostní dřeň spolu s lymfatickými uzlinami jsou postiženy hypoplazií až aplazií krvetvorné tkáně. Dochází ke zmnožení celé retikulární řady, zmenšení sleziny a až k absenci lymfocytů. Ve slezině vznikají atypické retikulocyty a dochází ke krevním výronům(6).

### **5.1.7. Pozdní projevy nemoci z ozáření**

Jejich vznik je podmíněn dlouhodobými a opakovanými expozicemi malých dávek ionizujícího záření. Příčinou je buď vnitřní, nebo vnější ozáření v malých dávkách, popřípadě obojí,

ale po dlouhou dobu. Jinou příčinnou variantou je vznik chronického onemocnění z akutního onemocnění, kdy u pacienta v rekonvalescenci nedošlo k uzdravení. Dochází k nespecifickým projevům onemocnění. Diagnóza se stanovuje obtížněji, než je tomu u akutní formy onemocnění. K projevům chronické nemoci z ozáření patří například změny v krevním obrazu, zvýšení či snížení počtu krevních elementů, časté infekce, poruchy sexuálních funkcí, kožní projevy - chronická radiační dermatitida, psychoneurotické obtíže, neurovegetativní příznaky jako změny krevního tlaku, labilita pulzu aj., dále hemoragický syndrom, orgánové změny postihující nejčastěji srdce a žaludek a CNS. Nemoc se může vyvinout až do obrazu akutní nemoci z ozáření. V chronické fázi se mohou často vyskytnout i leukémie, ateroskleróza, útlum kostní dřeně, nádorová onemocnění aj. K chronickým onemocněním lze i částečně zařadit zkrácení délky života exponovaného člověka, které je však připsáno hlavně nádorům a leukémiím vedoucím k letálnímu konci. Zkrácení délky života může být způsobeno i poškozením pojiv a jemného cévního systému, což vede k poškození orgánů a jejich následnému selhávání například při infekčním onemocnění či traumatu(7).

*(Pozn. U radiační dermatitidy rozlišuje dva typy projevů. Atrofický typ se vyznačuje hladkou a tenkou epidermis, výraznou teleangiektazií, vznikem vředů, depigmentací a hyperpigmentací. Hypertrofický typ se vyznačuje silnější epidermis, výraznými kožními záhyby, hyperkeratózou v určitých místech, kde se může vyskytnout i karcinom. Dříve se toto onemocnění vyskytovalo především u velmi dlouho pracujících radiologů.)*

## **5.2. Stochastické účinky ionizujícího záření**

Stochastické, somatické nebo dědičné účinky jsou založené na změnách v organismu, jako jsou např. mutace, vznik nádoru, pro které platí bezprahový vztah mezi dávkou a účinkem. Stačí i minimální dávka ionizujícího záření, aby onemocnění vzniklo, avšak s množstvím dávky záření se pravděpodobnost vzniku nemoci zvyšuje.

### **5.2.1. Ionizující záření a jeho vliv na vznik některých nádorů**

#### ***Zhoubná onemocnění krvevorného systému***

Mezi tyto onemocnění patří leukémie, při nichž dochází k funkčním nedostatkům leukocytů, které se hromadí v těle např. v některých orgánech. Leukémie dělíme na akutní a chronické a dále na lymfoidní a myeloidní (AML, CML, ALL, CLL). U CLL se však vliv ionizujícího záření neprokázal. Příčina vzniku leukémie není známá, avšak prokazatelný vliv má mimo virů a chemických látek právě ionizující záření, které vyvolává vznik především leukémií akutních. Leukémie vzniká po ozáření kostní dřeně, která je u dospělého člověka především v malých kostech končetin. Rizikovost ozáření je různá dle pohlaví a věku. Například děti a starší lidé nad padesát let jsou k následkům způsobených ionizujícím zářením citlivější než populace ve věku od deseti do padesáti let. Také muži jsou senzitivnější než ženy. Doba latence leukémie je asi 10 let. Mezi další onemocnění krvevorného systému patří například plazmocyatomy, jejichž doba latence je 35 let a lymfocyatomy(5).

### ***Rakovina plic a průdušek***

Karcinom plic a průdušek vzniklá v důsledku inhalace prachových částic obsahujících radioaktivní látky, které se uchycují na epitelu bronchů. Na jejím vzniku se podílejí hlavně alfa zářiče, dceřinné produkty rozpadu radonu. Tyto zářiče mají dolet pouze několik milimetrů, avšak do plic se dostávají spolu s prachem. Popsány byly především případy u horníků pracujících v uranových a rudných dolech a ze studií v Hirošimě a Nagasaki. Výskyt karcinomu plic byl v minulosti také diagnostikován u pacientů, kteří byli ozařováni RTG při léčbě kostních zánětů v páteřní oblasti. Senzitivita jedinců k onemocnění karcinomu plic se zvyšuje u osob starších padesáti let a k její iniciaci ionizujícím zářením může neblaze přispět kouření a zvyšovat tak morbiditu či zhoršovat průběh onemocnění(10).

### ***Rakovina prsu***

Mléčná žláza je velice citlivá k ozáření, zvláště pak u adolescentních a mladých žen. Nádor má dobu latence asi 8 až 25 let, šíří se z mlékovodů a infiltruje okolní tkáň, může také metastazovat. Karcinom prsu byl popsán například u žen postižených TBC, jehož příčinou bylo velmi časté RTG vyšetření. Pacientky byly ozářeny dávkami 0,5-70 Gy. Další případy byly zaznamenány po léčbě zánětů prsů terapeuticky pomocí RTG záření. Další známé případy jsou popsány u ozářených žen z Nagasaki a Hirošimy(6).

## ***Rakovina štítné žlázy***

Štítná žláza je orgán k ionizujícímu záření velmi vnímavý. Vstřebává jód i jeho radioaktivní formu, čehož je využíváno i v léčbě rakoviny štítné žlázy. Zvýšený výskyt tohoto onemocnění byl zaznamenán v Hirošimě a Nagasaki, dále u Marshallových ostrovů, kde obyvatelé požívali stravu pozitivní na zamoření spadem z jaderných zbraní. Latentní doba rakoviny štítné žlázy se odhaduje v průměru na 5 až 6 let. Léčba je často úspěšná, protože většina nádorů je nezhoubných a je možné je odstranit operativně(6).

## ***Kostní sarkomy***

Kostní sarkom je vzácné onemocnění, které bylo popsáno u pracovníků ve výrobě hodin. Pracovní činnost zahrnovala psaní číselníků a docházelo k nanášení barvy, která obsahovala radium. Nevědomostí pracovníci zaostřovali štětce s barvou rty a polykali tak radioaktivní radium, které se ukládalo v kostech a způsobilo tak kostní sarkomy. Dávka byla odhadnuta na 50 Gy a více s latentní dobou až 40 let. Jiné případy byly popsány u osob léčených na TBC po druhé světové válce v Německu, které byly léčeny intravenózními dávkami radia(6).

### **5.2.2. Genetické účinky ionizujícího záření**

Genetické účinky ionizujícího záření jsou významnou skupinou, která zapříčiňuje postižení potomstva ozářených jedinců. Odhad pravděpodobnosti genetického poškození v závislosti na dávce záření je ale možný jen zprostředkovaně, jelikož nemáme k dispozici primární údaje o postižení populací lidí.

Mutace, které vznikají na základě genetických změn, lze rozdělit podle lokace v buňce. Pokud jsou genetické mutace přítomné na chromozomech, označujeme je jako chromozomové mutace. Při nich se může snižovat nebo zvyšovat počet chromozomů anebo se mění jejich tvar. Dále jsou známé mutace bodové (adice, substituce, delece aj.), gametické mutace, při kterých dochází k poškození gamet a somatické mutace, které postihují somatickou buňku.

Důsledky mutací jsou velice různorodé, což lze uvést na příkladě lidské genetiky. Lidská zygota může v důsledku své nepříznivé genetické struktury zaniknout velmi časně, a to v období před nebo časně po implantaci do děložní sliznice matky. Tento typ poškození se manifestuje jako porucha fertility páru, která uniká ovšem v jednotlivých případech zjištění, protože porucha reprodukce se týká jediného periodického cyklu. V jiných případech dojde k vývoji zárodka, ale těhotenství končí potratem. Podíl genetických faktorů na spontánních potratech nejde přesně identifikovat, avšak není zanedbatelný. O tom svědčí častý nález chromozomových aberací u abortivních plodů (asi 20-50% abortů. Podobně se podílí genetická složka na perinatální úmrtnosti a na hrubých vrozených malformacích, které ovlivňují přežití jedince. Asi 0,4 až 1% ze všech narozených dětí je nositelem chromozomových aberací, které jsou rozpoznatelné současnými metodami. Často jsou tyto aberace provázeny mentální a fyzickou retardací a jsou pak dále přenášeny na potomstvo(6).

Významnou kategorií genetických změn jsou genetické mutace, při kterých dochází ke změně na určitém lokusu, což může vést od lehkých odchylek až k letálnímu konci postiženého jedince. Uplatňuje se zde dominantní, recesivní dědičnost, nebo dědičnost vázaná na pohlaví(6).

Mutace mohou ovlivnit vyhlídky na přežití a další propagaci potomstva. Ve sledu generací se může mutovaný gen eliminovat, a to kvůli tomu, že skýtá určitou nevýhodu pro život jedince. Za neměnných zevních podmínek se v populaci ustaluje rovnovážný stav genové frekvence jako výsledek dvou protichůdných tlaků, mutačního a selekčního. Pro modelovou situaci platí, že každá mutace vede v průměru k jedné genetické smrti. Genetickou smrtí se rozumí přerušení propagace genu v důsledku předčasné smrti, snížené fertility jedince nebo ztráty předpokladů pro získání partnera nebo rodičovskou funkci. Důležitá je okolnost, že důsledky mutací jsou rozloženy na řadu dalších generací. Perzistence mravného genu v populaci se odhaduje v průměru na 40 generací(6).

Důležitý je správný průběh proteosyntézy, a pokud se tak neděje, jedná se nejčastěji o substituce, delece a adice, které zapříčiňují vznik onemocnění na genetickém podkladě. Takovýmto onemocněním je například srpkovitá anémie, jejíž vznik je podmíněn nahrazením kyseliny glutamové aminokyselinou valinem. Vzniká abnormální forma tzv. hemoglobinu S, která je špatně rozpustná a vznikají erytrocyty srpkovitého tvaru, které hemolyzují rychleji, než nepostižené červené krvinky. Na vznik mutací se podílí vliv vlnové délky záření, dávka záření, hmotnost aj. faktory(3).

Genové mutace rozlišujeme u člověka na gametické a somatické, dle typu buňky. Gametické mutace vzniklé v gametách jsou díky nim přenášeny na potomky. Z gamety vzniká zygota a ta se manifestuje u nově vznikajícího organismu. Somatické mutace vznikají v somatických buňkách. Liší se i tím, že se nepřenáší na další generace. Pouze pokud byly postiženy



buňky, ze kterých vzniká zárodečný epitel pohlavních žláz. Nejčastěji vyskytujícími se genovými mutacemi jsou substituce (transverze, tranzice), kdy nastává záměna bazí a následkem toho dochází ke změně genetického kódu v tripletu bazí. Hydratace, jejímž příkladem je denaturace DNA. Dále tautomerní změny bazí, deaminace vznikající nejčastěji vysokými dávkami ionizujícího záření a v neposlední řadě i adice a delece. Adice je včlenění nadbytečného páru nukleotidů. Následkem toho dochází k posunu čtecího rámce. Delecí rozumíme ztrátu jednoho nebo více nukleotidů. Čtecí rámec je posunut a zkrácen. Genové mutace mohou vést k letálnímu konci organismu, nebo pokud je abnormální gen schopný se reprodukovat při dělení buňky, mutace se uplatňuje i v dalších generacích. Genomové i chromozomální aberace mohou být příčinou infertility(2).

## 6. OCHRANA PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM

### ***Fyzikální ochrana***

*Vzdálenost:* při ochraně vzdáleností se uplatňuje skutečnost, že dávka záření klesá se čtvercem vzdálenosti od zdroje.

*Čas:* čím delší dobu se člověk vyskytuje v blízkosti zdroje ionizujícího záření, tím je radiační zátěž vyšší.

*Stínění:* pro každý druh záření jsou různá nejefektivnější stínění

-Stínění gama a X záření- jsou nutné materiály s velkou hustotou, mezi takové materiály patří například olovo, olovnaté sklo a plech, beton např. s barytem, wolframem aj.

-Stínění beta záření- postačující jsou lehké materiály typu plexiskla a jiné materiály s nízkým protonovým číslem.

-Stínění alfa záření- jako ochrana postačí oděv, papír či tenká folie z plexiskla(15).

### ***Biologická ochrana***

Biologická ochrana proti ionizujícímu záření spočívá v podávání látek, které se podílejí na zvyšování rezistenci proti záření. Je tomu tak u vitaminů, bílkovin, hormonů a jiných látek.

### ***Chemická ochrana***

Označuje se tak ochrana radioprotektivy, což jsou chemické látky, které se podávají 30-60 minut před ozářením, jejich účinek trvá 3-4 hodiny. Účinná dávka záření se může

podáním radioprotektiv snížit maximálně na polovinu, většinou však méně .

Ochrana před vnitřním ozářením spočívá při jednom úkonu ve zpracování co nejmenší dostačující aktivity radioaktivní látky. Omezit rozptyl radioaktivního materiálu a to vřazováním alespoň dvou bariér a dodržovat předepsaný režim práce zahrnující zejména nošení ochranného oděvu, očistu a monitorování při práci a jejím ukončení. Riziko vnitřního ozáření vzniká při možné expozici záření inhalací, ingescí, přes kůži či poraněním s následnou kumulací v cílových orgánech(15).

### ***Radiační ochrana na pracovišti s expozicí ionizujícím záření***

Radiační ochrana spočívá v samotném uspořádání pracoviště, které musí být uzpůsobené k práci s ionizujícím zářením. V případě havárie musí být pracoviště schopno rychlé dekontaminace všech pracovníků a pracovního prostředí. Pracoviště jsou na základě výše rizika zařazena do tzv. kategorií I.-IV.(16).

### ***Práce s radioaktivními odpady***

Radioaktivní odpad je takový odpad, který obsahuje radioaktivní látky a vzniká při výrobě či užívání zdrojů ionizujícího záření. Tyto odpady jsou nežádoucí v životním prostředí a pro jejich manipulaci a uchovávání jsou stanoveny zvláštní náležitosti, které jsou dány zákonem o jaderných odpadech(16).

## ***Ochrana při diagnostice a terapii zářením***

Tato ochrana je vysoce důležitá, vzhledem k tomu, že se v dnešní době na expozici zářením tyto zdroje podílí největší mírou.

### ***Ochrana legislativou***

Zákon č. 18/1997 Sb., O mírovém využívání jaderné energie a ionizujícího záření (Atomový zákon) a související normy a předpisy, který stanovuje pravidla pro práci s ionizujícím zářením, radiační ochranu aj.

Státní ústav jaderné bezpečnosti (SÚJB) kontroluje bezpečnost zdrojů ionizujícího záření. Dohlíží na jejich činnost a provádí inspekce na pracovištích.

Ochrana pracovníkem, který musí být přítomen na každém pracovišti s ionizujícím zářením. Tento pracovník dohlíží na radiační ochranu, zabývá se dokumentací a pravidelně se školí v SÚJB.

Technicko-fyzikální úsek (TFÚ) je zavedený na větších pracovištích nukleární medicíny a provádí metodiku ochrany před ionizujícím zářením(17).

## 7. ZÁVĚR

Nemoci způsobené ionizujícím zářením řadí se mezi nemoci z povolání jsou závažné, avšak v poslední době jich díky zvýšené bezpečnosti a prevenci ubývá. Ráda bych zmínila kromě nemocí, které ionizující záření způsobuje, i jeho přínos, který je dle mého názoru velice významný, a to především ve zdravotnictví, kde má své místo například v oblasti diagnostiky a radiologie v podobě RTG a radioterapie. Za zmínku stojí metody, jako jsou radioimunoanalýza, která slouží k detekci nejrůznějších látek tělu vlastních i cizích. Radiofarmaka, která mají široké spektrum využití, od diagnostiky, přes stopovací vlastnosti až k terapii. Dále se ionizující záření v medicíně využívá k léčbě nádorových onemocnění a ke sterilizaci. Mimo tuto oblast má však i využití v potravinářství, kde ničí nežádoucí mikroorganismy, plísně aj., či zemědělství, lesnictví a v jiných odvětvích. Ionizující záření je jistě oblast, která se vyznačuje nebezpečností, avšak jeho přínosy dle mého názoru několikanásobně převyšují rizika.

## 8. SOUHRN

Ionizující záření je záření, které při průchodu hmotným prostředím způsobí ionizaci. Rozlišujeme záření přímé a nepřímé. Přímé je tvořeno nabitými částicemi-elektrony, částicemi alfa, protony, které ionizují prostředí přímo. Nepřímé záření je tvořeno neutrony, RTG a gama zářením, které ionizují prostřednictvím sekundárních efektů vyvolaných při průchodu nepřímo.

Účinky ionizujícího záření lze rozdělit dle několika hledisek, nejpoužívanější je však rozdělení na účinky stochastické a nestochastické (deterministické).

### ***Biologické účinky ionizujícího záření nestochastického:***

- Akutní nemoc z ozáření
- Akutní lokální poškození
- Pozdní nenádorová onemocnění
- Poškození plodu

### ***Biologické účinky ionizujícího záření stochastického:***

- Maligní nádory
- Genetické změny

Zdroje ionizujícího záření můžeme rozdělit dle původu vzniku na přírodní a umělé. Mezi přírodní zdroje patří například kosmické záření, dále radioaktivita hornin, vody a atmosféry. Mezi umělé lze zahrnout ionizující záření využitá ve zdravotnictví, zemědělství, jaderné energetice, malé množství ionizujícího

záření je obsaženo i v předmětech běžného užívání, např. v televizích aj.

Ochranou před ionizujícím zářením by měla být co možná nejnižší míra expozice. Při expozici záleží na vzdálenosti od zdroje záření, čase expozici záření a stínění. Vliv ionizujícího záření lze omezit i některými farmaky-radioprotektivy aj.

Ochranu před ionizujícím zářením upravuje Atomový zákon č. 18/1997 Sb.

## 9. SUMMARY

Ionizing radiation is a kind of radiation, which causes by way through of environmental determinants the ionisation. We can distinguish the ionizing radiation on direct and indirect. The direct radiation is formed by charged particle – electrons, Alpha particle, protons, which are ionizing a medium direct. The indirect radiation is formed by neutrons, X-ray and gamma radiation. They are ionizing through the secondary effects, which are evoked indirect by way through.

The effects of the ionizing radiation we can distribute in several aspects. The distribution of effects in stochastic and in deterministic is most widely used.

### ***The biological effect of stochastic ionizing radiation:***

- Acute disorder from radiation
- Acute local damage
- Belated benign tumour
- Foetal damage

### ***The biological effect of deterministic ionizing radiation:***

- Malignant tumours
- Genetic changes

The sources of ionizing radiation we can distribute of way genesis in natural and synthetic sources. The natural sources are formed by cosmic radiation, radioactivity of minerals, water and atmosphere. The synthetic sources are formed by the ionizing



radiation, which can be used in health service, agriculture and nuclear energetic. We can find a modicum of radiation in the subjects we use every day, for example in the television set etc.

The protection in face of the ionizing radiation would be the least degree of the irradiance. It depends on the distance from the source of radiation and on the time of irradiance and shielding. The influence of the ionizing radiation can be restricted by some pharmaceuticals. The atomic law No. 18/1997 governs the protection in face of the ionizing radiation.

## 10. Seznam použité literatury:

1. DRÁŠIL, V. *Účinky radioaktivního záření při explozích nukleárních zbraní*. 1. vyd. Praha 2 : Československá společnost pro šíření politických a vědeckých znalostí, 1958. 27 s.
2. FELTL, D., CVEK, J. *Klinická radiobiologie*. 1. vyd. Havlíčkův Brod : Tobiáš, 2008. 105 s.
3. FERMUTH, F. *Účinky záření a chemických látek na buňku a organismus*. Praha : Státní pedagogické nakladatelství, n. p., 1981. 272 s.
4. HUŠÁK, V. *Zdravotnická rizika ionizujícího záření a ochrana před ním*. 1. vyd. Olomouc : Rektorát Univerzity Palackého v Olomouci, 1992. 57 s.
5. JANDL, J., PETR, I. *Ionizující záření v životním prostředí*. 1. vyd. Praha 1 : Nakladatelství technické literatury, n.p., 1988. 200 s.
6. KLENER, V. a kol. *Hygiena záření*. 1. vyd. Praha 1 : Avicem, zdravotnické nakladatelství, 1988. 472 s.
7. MAZÁK, Jaroslav, et al. *Nemoc z ozáření*. 1. vyd. Praha : Naše vojsko, nakladatelství, národní podnik, 1962. 159 s.
8. MYSLIVEČEK, M., HUŠÁK, V., KORANDA, P. *Nukleární medicína I.* Olomouc : Univerzita Palackého v Olomouci, 2000. 123 s.
9. NAVRÁTIL, L., ROSINA, J. a kol. *Medicínská biofyzika*. 1. vyd. Praha : Grada Publishing, a.s., 2005. 524 s.
10. NEUMEISTER, K. *Paprsky smrti a naděje*. Jiří Zámečník. 1. Auflage. Praha 1 : Státní zdravotnické nakladatelství, n. p., 1969. 156 s.

11. RAMEŠ, M. *Radioaktivní záření a lidský organismus*. 1. vyd. Praha : Naše vojsko, nakladatelství, národní podnik, 1957. 118 s.

12. ROSINA, J., KOLÁŘOVÁ, H., STANEK, J. *Biofyzika pro studenty zdravotnických oborů*. 1. vyd. Praha: Grada Publishing, a.s., 2006. 232 s.

13. SKALKA, M. *Škodlivé účinky záření na živé bytosti a možnosti ochrany a léčení*. Praha 2 : Československá společnost pro šíření politických a vědeckých znalostí, 1958. 29 s.

14. SLOUKA, V. *Biologické účinky záření*. 1. vyd. Praha : Orbis , 1959. 112 s.

15. Ústav nukleární medicíny 1.LF UK a VFN Praha. *Nukleární medicína*. 3. přeprac. vyd. Jilemnice : Gentiana Jilemnice, 2000. 146 s.

16. <http://www.astronuklfyzika.cz/Fyzika-NuklMed.htm>

17. [http://www.sujb.cz/docs/Z18\\_1997Sb.pdf](http://www.sujb.cz/docs/Z18_1997Sb.pdf)

## Vyjádření k bakalářské práci z preventivního lékařství

**Název práce:** Nemoci způsobené ionizujícím zářením  
(Diseases Caused by Radiation)

**Zpracovatelka:** Zuzana Klimešová, studentka 3. ročníku bakalářského studia veřejného zdravotnictví 3.LF UK,

**Školitel:** Doc. MUDr. Evžen Hrnčíř, CSc., MBA, Klinika pracovního a cestovního lékařství 3.LF UK

### Charakteristika práce:

Předkládaná bakalářská práce je souborným sdělením, které má rozsah celkem 46 stran, v seznamu použité literatury jsou uvedeny celkem 17 citací (z toho 2 citace jsou činěny odkazem na webové stránky). Součástí práce nejsou žádné tabulky ani obrázky.

Práce přináší základní informace o ionizujícím záření a o jeho působení na organismus a dále o preventivních opatřeních, která mohou být při ochraně před tímto faktorem realizována.

Předkládaná práce nemá věcné chyby. Je ovšem nutné upozornit, že problematika, kterou se tato práce zabývá, je velmi obsáhlá a složitá, a to nejen ze zdravotnického, ale i z fyzikálního hlediska, takže ta sdělení, která práce obsahuje, jsou jenom velmi stručným a relativně povrchním shrnutím malé části známých skutečností. Určitým problémem je i to, že ani mezi radiology nejsou na některé věci totožné názory, takže (pakliže nejsou zmiňovány všechny názorové alternativy), není snadné hodnotit některá z deklarovaných tvrzení z věcného hlediska. Členění předkládané bakalářské práce do jednotlivých kapitol je (po některé změně realizované v průběhu jejího vyhotovení) správné a logické, i když některé poznatky jsou (vzhledem k tomu, že určité části se mírně překrývají) zmiňovány duplicitně – byť netotožným způsobem a z jiného pohledu. Jedinou věcnou výtka mám vůči kapitole 5.2.2., která je více než genetickým účinkům ionizujícího záření věnované jeho působení na genom buňky.

Z formálního hlediska nemá práce žádné závažné nedostatky. Je otázkou, zda část údajů by v ní nemohla být prezentována názorněji v podobě tabulek nebo grafů.

Souhrnně je možné uvést, že jde o pečlivě vypracovanou bakalářskou práci na téma, jehož význam se v poslední době sice snižuje, ale stále zůstává důležitým. Některé údaje, které jsou v této práci obsaženy, by mohly být použity k výuce.

Celkově konstatuji, že studentka 3. ročníku bakalářského studia veřejného zdravotnictví Zuzana Klimešová prokázala, že dokáže shromáždit, uspořádat a ve velmi kvalitní písemné formě prezentovat řadu informací o problematice ionizujícího záření a o jeho působení na lidské zdraví a o opatřeních realizovaných při ochraně proti tomuto nepříznivému faktoru. Její spolupráce se mnou jako se školitelem byla velmi dobrá.

### Souhrnné zhodnocení:

Předložená práce splňuje požadavky kladené na bakalářskou práci studenta bakalářského studia veřejného zdravotnictví a umožňuje studentce Zuzaně Klimešové vykonat státní rigorosní zkoušku z preventivního lékařství. Bude-li tato bakalářská práce při zkoušce správně prezentována a obhájena, doporučuji klasifikovat ji jako výbornou.

V Praze dne 3.9.2009

  
Doc. MUDr. Evžen Hrnčíř, CSc., MBA