

OCHRANA OSOB PŘED IONIZUJÍCÍM ZÁŘENÍM V MÍRU

Ing. Milan HEŘT, mjr. MUDr. Zoltán REFKA

Vojenský ústav hygieny, epidemiologie a mikrobiologie v Praze

(náčelník: plk. Vladimír Kotlář, CSc.)

Mírové využívání zdrojů ionizujícího záření nabývá stále větší důležitosti. Jsou to i zdravotníci, kteří nacházejí stále nové aplikace tohoto záření v diagnostice i v terapii. Současně se vyvíjejí i poznatky o nepříznivých účincích záření na osoby a o ochraně proti nim.

Předmětem tohoto sdělení je dát základní informaci o soudobém přístupu hygieniků k radiační ochraně a o připravovaných zdokonaleních v hygienických předpisech [1, 2, 5] vojenské zdravotnické veřejnosti. Vojenští zdravotníci přicházejí do styku se zářením sami pracovní (rentgenologická nebo nukleárně medicínská diagnostika, event. kožní terapie), indikují výkony s použitím jmenovaných zdrojů a hodnotí jejich výsledky. Někteří lékaři pečují o pracovníky z pracovišť se zdroji ionizujícího záření — buď preventivně, nebo při léčení nemocí z povolání. Stojí za zmínku, že tři čtvrtiny pracovišť se zdroji ionizujícího záření v ČSLA mají medicínský charakter.

Již dlouho je známo, že ionizující záření působí na lidský organismus jako škodlivina [4]. Výskyt a intenzita poškození zdraví (zdravotní újma) roste s dávkou*). Systém limitování dávek [1, 2, 5] je proto principem ochrany před ionizujícím zářením. Lze jej shrnout do tří bodů:

1. Každé použití zdrojů záření musí být zdůvodněno přínosem pro lidskou společnost. Vždy se musí předem zvážit, zda tohoto přínosu nemůže být dosaženo jinými méně rizikovými postupy.

2. Ozáření osob musí být vždy tak nízké, jak je rozumně dosažitelné.

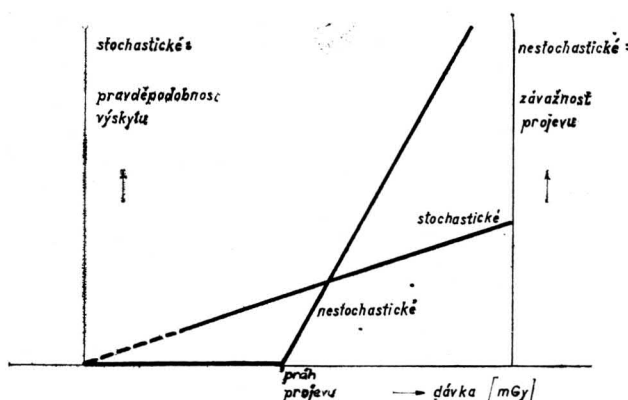
3. Při využívání zdrojů záření (až na předem stanovené výjimky) nesmí ozáření jednotlivců překročit závazné limity.

Přínos použití zdrojů záření musí být vždy prokazatelný. Před zavedením jakéhokoliv pracovního postupu (i lékařského) s použitím zdrojů ionizujícího záření musí být zváženy alternativy bez použití těchto zdrojů.

Snižovat ozáření osob, jak je to rozumně dosažitelné, znamená optimalizovat ochranu. Váží se růst nákladů na ochranu před zářením a úspora zdravotní újmy ozářením způsobené. Optimalizace se bude vztahovat i na lékařskou expozici pacientů při diagnostice i terapii, o tom blíže v některém dalším sdělení.

Optimalizovaná ochrana v některých případech není dostačující. Proto jsou stanoveny limity ozáření jednotlivých osob, které nesmějí

být překročeny, i kdyby náklady na ochranu překročily optimální hodnotu. Limity ozáření jsou stanoveny se zřetelem na dvojí charakter radiobiologické odezvy. Jsou to účinky nestochastické a stochastické, rozdíl mezi nimi schematicky znázorňuje obrázek 1.



Obr. 1. Schéma závislosti stochastických a nestochastických účinků na dávce ionizujícího záření

Nestochastické účinky mají zřetelný práh, tj. začínají se projevovat až po překročení určité dávky. Se zvyšováním dávky roste jejich závažnost; při celotělovém ozáření dochází k nemoci ze záření a při dalším zvýšení dávky k smrti jedince. Vzniklé poškození je vždy na úrovni molekulární (subcelulární), vede k smrti buňky — buď lytické, nebo mitotické — ale projeví se navenek poškozením celých orgánů nebo tkání. Mezi nestochastické účinky zařazujeme především nezhoubná poškození kůže (dermatitidy), zákal oční čočky, buněčný útlum kostní dřeně, poškození zárodečných buněk v gonádách či poškození plodu v těle matky. Může jít o projevy časné (při jednorázovém ozáření vysokou dávkou), nebo i chronické (při dlouhodobé expozici ionizujícímu záření). V mírové praxi jsou nestochastické účinky vzácným jevem, vyskytující se převážně jako důsledek havarijních stavů nebo nedodržování pracovních předpisů.

Stochastické účinky jsou hlavním problémem ochrany před zářením v míru. Jak naznačuje obr. 1, vztah dávky a odezvy (účinku) je zde bezprahový, pro účely ochrany před zářením se předpokládá, že má lineární průběh. Se zvyšováním dávky roste tedy radiobiologická odezva přímo úměrně. Závažnost projevu

*) Dávka je energie ionizujícího záření pohlcená v jednotce hmotnosti. Udává se v grayích ($1 \text{ Gy} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$). Stará jednotka $1 \text{ rad} = 0,01 \text{ Gy}$.

však na dávce nezávisí, radiobiologickou odezvou je zde pravděpodobnost výskytu škodlivého účinku. U jednotlivce nelze předpovědět, zda k poškození dojde, ale dá se vypočítat pravděpodobnost, s jakou jev nastane ve větší skupině jedinců ozářených stejným způsobem. Jde vždy o pozdní účinky, na prvním místě zhoubné nádory (poškození somatické) a dále hereditární poškození (genetické).

Jak bylo řečeno v úvodu, zdravotní újma je vždy funkcí dávky ionizujícího záření. Radiobiologická odezva však závisí nejen na dávce, ale i na druhu působícího záření. Zjednodušeně: účinek záření záleží na tom, kolik energie záření předává na délkovou jednotku své dráhy, tedy jak hustě předává energii. Tuto skutečnost odráží v ochraně před zářením zavedený jakostní faktor Q , jímž se násobí dávka D , aby výsledný součin byl přímo úměrný radiobiologické odezvě, tedy nepříznivým účinkům záření. Součin $D \cdot Q$ se nazývá **dávkový ekvivalent H** ($H = D \cdot Q$)*. K rutinním výpočtům H se používá následujících hodnot jakostního faktoru [zjednodušeně z[2]]:

Tab. 1

Druh záření	Q
X, gama, beta	1
tepelné neutrony	2,3
neutrony mimo tepelných, protony	10
částice alfa a částice s více náboji	20

V dávkovém ekvivalentu se posuzuje působení jakéhokoliv záření na organismus, v této veličině se vyjadřují dávkové limity.

Medicína využívá především záření X (přístroje rtg) a záření gama, s malými výjimkami se bude počítat $Q=1$ a $H=D$. Přesto stojí za povšimnutí změna hodnot Q v porovnání s dosud platnou vyhláškou [3]: např. pro částice alfa se Q zdvojnásobuje z 10 na 20.

Dávkové limity pro osoby jsou stanoveny tak, aby byly vyloučeny nestochastické účinky ionizujícího záření a zdravotní újma z účinků stochastických byla omezena na společensky přijatelnou úroveň.

Podle vztahu osob k využívání zdrojů záření jsou stanoveny rozdílné limity pro pracovníky a pro jednotlivce z obyvatelstva. Pracovníci přicházejí do styku se zářením v souvislosti s výkonem svého povolání bez ohledu na to, zda zdroje záření přímo používají či nikoliv. Toto rozdělení je přejato již z vyhlášky [3], kde se rozlišují „nejvyšší přípustné dávky“ pro pracovníky a „mezí dávky“ pro jednotlivce z obyvatelstva.

Pro většinu orgánů a tkání je práh projevu nestochastických škodlivých účinků vyšší než 0,5 Sv. Proto se dávkový ekvivalent 0,5 Sv (500 mSv) stává ročním limitem pro ozáření většiny orgánů a tkání pracovníků [1, 2]. Výjimkou je oční čočka, pro niž platí limit 150 mSv za rok. Roční limity H pro pracovníky se tedy značně liší od dosud platných nejvyšších přípustných dávkových ekvivalentů na jednotlivé orgány a tkáně. Upouští se od čtvrtletního limitování dávkového ekvivalentu, to platí i pro limitování z hlediska účinků stochastických.

Limit celotělového dávkového ekvivalentu je určen společensky přijatelným rizikem stochastických účinků. Jeho dosavadní hodnota pro pracovníky 50 mSv (5 rem) zůstává zachována. Při celotělovém rovnoměrném ozáření tato hodnota nesmí být překročena. Bezpečnostní předpisy připouštějí jen několik výjimek [2].

Stejný limit 50 mSv za rok pro pracovníky platí i při nerovnoměrném ozáření těla nebo jeho částí. V tom případě se limit vztahuje k nově zavedenému pojmu **efektivní dávkový ekvivalent H_E** . Je to součet příspěvků jednotlivých orgánů a tkání k celkovému riziku vzniku pozdních stochastických účinků somatických a genetických u ozářeného jednotlivce.

$$H_E = \sum_T H_T \cdot w_T \quad (1)$$

H_T ... průměrná hodnota dávkového ekvivalentu v orgánu či tkáni T

w_T ... váhový faktor pro orgán či tkáň T

$\sum_T$... značí součet přes všechny orgány či tkáně zahrnuté do výpočtu

Váhové faktory w_T jsou odvozeny od koeficientů rizika stochastických účinků. Pohybují se v rozpětí 0,03—0,25 a jejich hodnota je vlastně mírou radiosenzitivity orgánů (tkání) z hlediska tvorby zhoubných nádorů a v případě gonád též hereditárního poškození.

Celkový roční limit dávkového ekvivalentu pro pracovníka vyjadřují tři vztahy:

$$H_E = \sum_T H_T \cdot w_T \leq 50 \text{ mSv} \quad (2)$$

$H_T \leq 500 \text{ mSv}$ pro jakýkoliv jednotlivý orgán T mimo oční čočku (3)

$H \leq 150 \text{ mSv}$ pro oční čočku (4)

Vztahy (2), (3) a (4) se nazývají **primární limity pro pracovníky**. Limity pro jednotlivce z obyvatelstva jsou (až na oční čočku) desetkrát nižší.

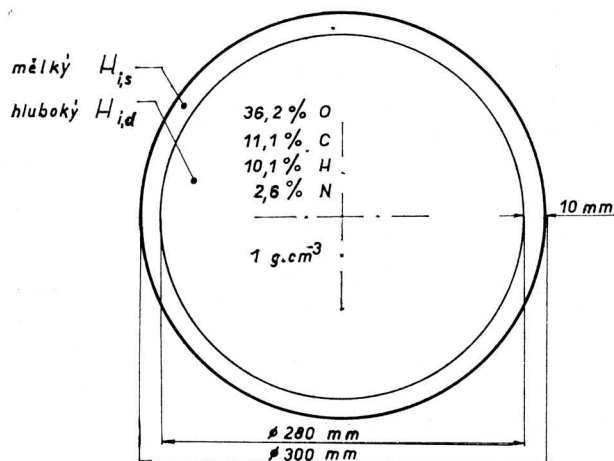
Všechny primární limity [2, 3, 4] platí současně a překročit jediný z nich znamená zatížit pracovníka vyšším dávkovým ekvivalentem, než je přípustné. Limitu pro H_E (vztah 2) je dosaženo většinou nejdříve.

Dávkové ekvivalenty při nerovnoměrném ozá-

*] Jednotkou dávkového ekvivalentu je sievert Sv. Rozměr H je stejný jako rozměr D ; $1 \text{ Sv} = 1 \text{ J} \cdot \text{kg}^{-1}$. Stará jednotka $1 \text{ rem} = 0,01 \text{ Sv}$.

ření, ať už orgánové nebo efektivní, jsou veličiny obtížně měřitelné. K monitorování dávkového ekvivalentu se proto většinou používá pomocných veličin [2].

Pro monitorování vnějšího ozáření používáme indexu dávkového ekvivalentu, což je maximální hodnota H změřená v kouli z materiálu ekvivalentního měkké tkáni, která má průměr 300 mm (viz obr. 2). Tato koule je zjednodušeným fantomem lidského trupu.



Obr. 2. Hluboký a mělký index dávkového ekvivalentu

Radiosenzitivní orgány jsou uloženy obvykle v hloubce větší než 10 mm pod kůží. Maximální hodnotu H změřenou uvnitř koule, tj. v hloubce větší než 10 mm pod povrchem, nazýváme **hluboký index dávkového ekvivalentu** $H_{i,d}$ a při výpočtech tímto $H_{i,d}$ nahrazujeme orgánový dávkový ekvivalent H_T nebo i efektivní dávkový ekvivalent H_E .

Některé druhy málo pronikavého záření se pohlcují převážně v kůži. Jako příklad můžeme uvést diagnostické rtg záření při nízkém anodovém napětí. K monitorování kožního dávkového ekvivalentu v takových případech slouží **mělký index dávkového ekvivalentu** $H_{i,s}$, což je nejvyšší hodnota H nalezená v povrchové 10 mm tlusté „slupce“ 300 mm fantomové koule (obr. 2).

Dávková zátěž z vnitřní kontaminace radionuklidů se v praxi obvykle limituje příjmem radionuklidu j (ozn. I_j). Příjem se vyjadřuje aktivitou*) radionuklidu. Roční limit příjmu radionuklidu j se označuje $[ALI]_j$. Hodnoty $[ALI]_j$ se poněkud liší od dosud platných „nejvyšších přípustných příjmů inhalací“ [3], lze je nalézt v [2].

Zavedením pomocných veličin do vztahů pro primární limity dávkového ekvivalentu [2] a [4] dostáváme tzv. sekundární limity dávkového ekvivalentu pro pracovníky, a to pro vnější ozáření kůže měkkým zářením

$$\frac{H_{i,s}}{500} \leq 1 \quad (5)$$

$H_{i,s}$ se udává v mSv

a pro nerovnoměrné celotělové vnější ozáření spojené s vnitřní kontaminací

$$\frac{H_{i,d}}{50} + \sum_j \frac{I_j}{[ALI]_j} \leq 1 \quad (6)$$

$H_{i,d}$ je udán v mSv a hodnoty I_j a $[ALI]_j$ v Bq. Platí, že nejsou překročeny primární limity, když nejsou překročeny limity sekundární.

Tento postup při monitorování bude zaveden do praxe hygienické služby. Novelizace radiohygienických předpisů se tedy promítne i do činnosti VÚHEM v preventivním a běžném dohledu na pracovištích se zdroji ionizujícího záření, o čemž budeme zdravotnickou veřejnost informovat.

Souhrn

V článku jsou shrnuty základní principy mírové ochrany osob před ionizujícím zářením. Je podána informace o veličinách zavedených a zaváděných v radiační ochraně. Jsou uvedeny i nové hodnoty dávkových limitů ionizujícího záření pro pracovníky i pro jednotlivce z obyvatelstva.

Literatura

1. Ochrana před zářením (Radiation-Protection). Publikace Mezinárodní komise pro ochranu před zářením, č. 26 ze 17. 1. 1977.
2. Základní pravidla bezpečnosti v radiační ochraně. Řada bezpečnostních předpisů č. 9, vydání 1982. Mezinárodní agentura pro atomovou energii, Vídeň 1982.
3. Vyhláška MZd ČSR č. 59/1972 Sb., resp. vyhláška MZd SSR č. 65/72 Sb. o ochraně zdraví před ionizujícím zářením.
4. Kolektiv: Hodnocení rizika ionizujícího záření. Zdravotnické aktuality č. 175, Avicenum 1973.
5. KUNZ, E.: Nová doporučení ICRP o ochraně před zářením. Jad. energie, 24, 1978, s. 194–197.

Klíčová slova: Radiační ochrana; Ionizující záření; Hygienické předpisy; Dávkové limity.

*) Aktivita je počet rozpadů za časovou jednotku. Udává se v becquerelech [Bq] — 1 Bq = 1 rozpad za sekundu. Staré jednotky jsou 1 rozp/min = 60 Bq a 1 Ci = 3,7 · 10¹⁰ Bq