

IONIZUJÚCE ŽIARENIE A OTÁZKA NÍZKEJ DÁVKY

Štefan Húšťava

Stavebná fakulta STU Bratislava, Radlinského 11, 813 68 Bratislava

Abstrakt: *V článku je analyzovaný vzťah medzi dávkou a odozvou rádioaktívneho žiarenia na ľudský organizmus. Je vysvetlený pojem nízkej dávky v rádiobiológii a dozimetrii a je porovnávaný nelineárny prahový model s lineárnym neprahovým modelom. Záverom je načrtnutý smer mnohostrannej diskusie v závislosti od úrovne vývoja a stupňa znalostí v oblasti zdravotného poškodenia ľudského organizmu vplyvom rádioaktívneho žiarenia.*

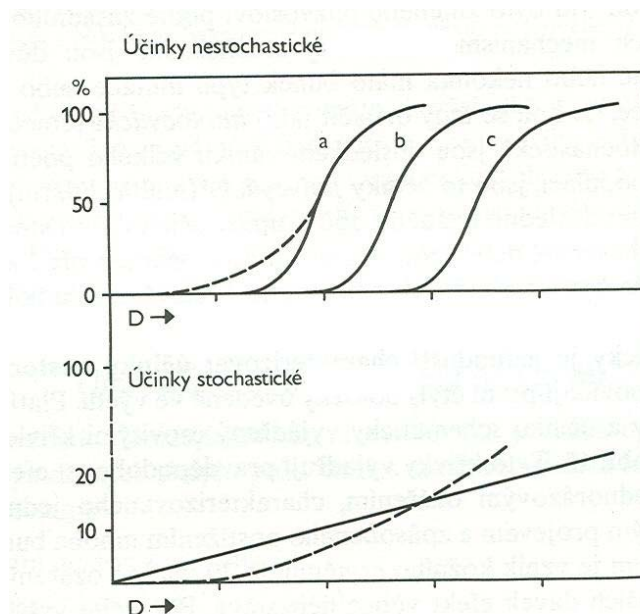
Kľúčové slová: dávka rádioaktívneho žiarenia, vplyv dávky na živý organizmus, prahový a neprahový model dávky žiarenia, poškodenie ľudského organizmu vplyvom rádioaktívneho žiarenia

Úvod

Využívanie ionizujúceho žiarenia a jadrovej energetiky v celosvetovom meradle spôsobuje neustále zvýšený záujem odborníkov, ale aj celej spoločnosti o ochranu zdravia a rizík vyplývajúcich z takejto praxe. Mnoho národných aj medzinárodných organizácií sa zaoberá s filozofiou radiačnej ochrany a jej praktickej implementácie do vykonávacích predpisov a zákonov. Jednou z hlavných inštitúcií zaoberajúca sa s radiačnou ochranou v celosvetovom meradle je ICRP (International Commission on Radiological Protection). Komisia a jej výbory majú vedúcu úlohu vo vypracovávaní dôležitých doporučení. Vzhľadom na zdravotné riziko je všeobecný trend znižovania dávkových limitov, čo prináša značné finančné náklady národných ekonomík. Preto sa rozvíja široká diskusia o rozhodujúcich bodoch radiačnej biológie a radiačnej ochrany, či je oprávnené oceňovať zdravotné riziká lineárnou extrapoláciou účinkov od veľkých dávok k nízkym dávkam [1], [2]. Napriek širokým vedeckým diskusiám treba si ale uvedomiť, že existuje veľká medzera medzi oceňovaním rizika pre profesionálov a oceňovaním rizika pre rôzne skupiny spoločnosti. Treba upriamiť pozornosť na tzv. modely dávka – odozva, na nízko dávkové modely uvádzajúce hlavné argumenty pre aj proti týkajúce sa platnosti lineárneho bezprahového modelu L – NT (linear – non threshold), ktorý je modelom vychádzajúcim zo stochastických biologických účinkov, a uvádza niekoľko príkladov na bunčné aktivity pri nízkych dávkach. Výhody súčasných názorov na udržanie L – NT modelu odporúčaného aj ICRP a prijímaného vo všeobecnosti budú v ďalšej časti rozoberané.

1. Charakteristika hlavných vzťahov medzi dávkou a odozvou

Biologické účinky ionizujúceho žiarenia v radiačnej ochrane možno rozdeliť do dvoch základných kategórií: nestochastické (deterministické) a stochastické ako je to znázornené na obr. 1. Nestochastické (deterministické) účinky sa vyskytnú, keď nad určitým prahom určitý *vysoký dávkový ekvivalent* (nad 500 až 1000 mSv) je absorbovaný v tkanive, orgánoch spôsobujúc odumretie veľkého množstva buniek a následne poškodí tkanivo, alebo funkcie orgánu hneď po ožiarení. Vážnosť ujmy v závislosti na absorbovanej dávke je zrejmý z tvaru s – krivky ako rôzne syndrómy ochorenia z radiácie, tj. poškodenie kostnej drene, črevné-zažívacie, a i. Účinky je možné detekovať laboratórnymi a klinickými vyšetreniami. Stochastické účinky sa môžu vyskytnúť následkom nízkych dávkových ekvivalentov (menej ako 100 až 200 mSv). Pravdepodobnosť narastania následkov narastaním a vzťah medzi dávkou a účinkom sa predpokladá, že je lineárny. Teda neexistuje pre tieto deje nejaká prahová dávka a určité riziko – aj keď veľmi malé – možno prisúdiť nejakej malej dávke.



Obr. 1. Vzťah dávky a účinku pre nestochastické a stochastické prejavy.

Také oneskorené účinky by mohli spôsobiť vývoj rakovinových ochorení aj dedičnými následkami. Treba poznamenať, že v ľudskej populácii dedičné účinky by nemohli byť detekované, len ak u potomkov veľkej populácie (prvé dve generácie), ktorí prežili následky atómovej bomby. Možnosť dedičných zmien je známy z experimentálnych pozorovaní v radiačnej biológii.

Model na ocenenie zdraviu škodlivých deterministických (nestochastických) účinkov je nelineárny prahový NL – T (non – linear – threshold) model, ale pre stochastické účinky je L – NT (linear – non threshold) bezprahový model. Vzniká tak dilema nízkych dávok, či pri použití L – NT bezprahového modelu je oprávnené a pripisovať nízkym dávkam určité zdravotné riziká.

2. Čo je to „nízka dávka“?

Pojem nízkej dávky sa používa pri pozorovaniach v epidemiológii, bunečnej rádiobiológii a mikrodozimetrii. Vo všetkých týchto oblastiach je úroveň nízkej dávky málo odlišný.

Vychádzajúc z epidemiologických údajov, kde boli analyzované prípady keď ožiarenie spôsobuje aj výskyt rakoviny, viacerí autori majú súhlasný názor, že nízka dávka je pod 200 mGy [3], [4], [5]. Samozrejme táto hranica je značne pod úrovňou vzniku rakoviny, lebo frekvencia výskytu rakovinových prípadov získaných extrapoláciou rizík od vysokých dávok k nízkym nie je oprávnená.

Určité bunečné reakcie ako DNA – reparačné procesy, chromozómové aberácie, možno pozorovať už medzi 10 až 100 m Gy technikou vzoriek rôznej citlivosti. Preto tento dávkový rozsah možno považovať za nízky. Všeobecne, dávky spôsobujúce plnú reparáciu bunkových poškodení, alebo zmien, možno považovať za nízke dávky v bunečnej biológii [3]. V mikrodozimetrii nízka dávka je definovaná, keď 20 % buniek v tkanive je zasiahnutých [6], [7].

Treba povedať, že biologická odozva závisí nielen od dávky, ale aj od dávkového príkonu. Pri nízkych dávkach klesajúce dávkové príkony spôsobujú menšie biologické poškodenia, preto ICRP zaviedol DDREF faktor (dose – dose rate effectiveness factor : dávkovo – dávkovo príkonový účinnosťný faktor). Ako hodnota nízkeho príkonu dávkového ekvivalentu 0,1 mSv za minútu pre slabo ionizujúce žiarenie bola určená odborníkmi UNSCEAR-u [3]. Príkon dávkového ekvivalentu prírodného pozadia je v rozsahu 1 až 3 mSv za rok.

3. Hlavné argumenty proti L – NT modelu

Argumenty proti L – NT modelu možno zhrnúť do nasledujúcich neúplne vyčerpávajúcich bodov:

- Pod úrovňou dávkového ekvivalentu 200 mSv sa neobjavili vo významnom zvýšenom počte prípady rakoviny u ľudí, ktorí prežili udalosť zhodenia atómovej bomby [3], [8].
- Nijaké vyššie riziko sa nezistilo v oblastiach s vysokým prírodným pozadím 3 až 10 krát vyšším, než priemerná pozadňová úroveň [3], [9].
- Karcinogeneza nie je kinetickým procesom prvého rádu tj. zásah bunecných génov na citlivých miestach, alebo maligné transformácie jednej, alebo niekoľkých buniek nemusí viesť nutne ku klinickému prejavu rakovinového ochorenia [10].
- Reálny prah by sa mohol objaviť, keď latentná perióda je dosť dlhá v porovnaní so životnosťou jednotlivca.
- Pri ožiareníach z nízkej dávky neboli vyvolané žiadne účinky na zdravie organizmu [11]
- L – NT model je vhodný pre vládne účely ako nástroj na oceňovanie rizík, ale nie je overený vedecky alebo štatisticky v epidemiológii [12].

4. Hlavné argumenty pre L – NT model

Argumenty v prospech tohto modelu, aby bol naďalej udržateľný pre ocenenie rizík sú nasledujúce:

- Linearita v určitom slova zmysle v rádiobiológii je od nepamäti známa a doteraz to potvrdzujú experimentálne výsledky na vinných muškách.
- Pre stochastické účinky L – NT model je používaný aj odporúčaný ICRP a široko aplikovaný pri oceňovaní zdravotnej ujmy na organizmoch.
- V bunecnej rádiobiológii pri pozorovaní prežívajúcich buniek v kultúre, formácia cytogenetických aberácií a mutácií súhlasí s modelom lineárneho vzťahu dávky a odozvy, alebo s lineárno-kvadratickým vzťahom dávky a odozvy, keď experimentálne výskumy siahajú k vyšším dávkam, napr. obyčajne nad 1 Gy [13].
- Posledné údaje ukazujú významný nárast rizika rakoviny štítnej žľazy, prs a malignáciu následných ožiarení v tehotenstve aj v rozsahu dávok 10 až 100 mGy [14], [15].
- Aj medzi prežívajúcimi udalosť atómovej bomby riziko rakoviny stúpalo nad 100 mGy, preto je zrejmé, že riziko pod 100 m Gy je skutočne malé [16].
- Medzi likvidátormi černobyľskej havárie boli pozorované do roku 1995 maligné tumory tráviaceho systému. Priemerná dávka skúmaných jedincov bola 108 mGy [17].

Záver

Dá sa predpokladať, že mnohostranná diskusia bude naďalej pokračovať, ale pri dnešnom stupni niektoré názory môžu byť nasledovným spôsobom načrtnuté ako závery:

Je potrebné a užitočné pokračovať vo výskume nízkych dávok ako v oblasti bunecnej rádiobiológie aj v oblasti epidemiológie. Musíme si uvedomiť, že biologická odozva na nízke dávky nie je významná zdravotným poškodením.

Na jednoduchom predpoklade lineárneho vzťahu dávky a účinku je založené i odvodenie a použitie koeficientov rizika. I keď ide o zjednodušujúci predpoklad, vychádza celkom z fyzikálnych a rádiobiologických poznatkov a neodporuje im, ani radu konceptov, ktoré tieto údaje interpretujú. Predpoklad bezprahovej závislosti nemožno vylúčiť – nemožno vylúčiť, že už jeden akt ionizácie a depozície energie vo významnom mieste v bunke môže dať impulz k reťazi reakcií vyúsťujúcich v gametách alebo vznik nádorového ochorenia.

Nemôže byť pochybnosť o existencii účinkov, ktorých indukcia je úmerná dávke. Obecný vzťah dávky a účinku ($E = aD + bD^2$, kde a aj b sú konštanty), ktorý je v súlade s radom rádiobiologických teórií, i keď je mechanizmus účinkov rozdielne vykladaný, zahŕňa aj lineárnu komponentu prevládajúcu pri nízkych dávkach, ktoré sú predmetom záujmu ochrany pred žiarením. Kvadratický člen prevláda pri vyšších dávkach.

Experimentálne aj epidemiologické údaje z posledných rokov ukazujú pre ožiarenia s vysokým lineárnym prenosom energie (L) lineárny vzťah dávky a účinku, zatiaľ čo pre žiarenia s nízkym (L) je tento vzťah v tých istých dávkových intervaloch kvadratický.

Od predpokladu priamej úmernosti dávky a účinku v oblasti dávok zaujímajúcich ochranu pred žiarením, treba odlíšiť použitie linearitu pre vzťahnutie rizika, t.j. pravdepodobnosti účinkov pripadajúcich na jednotku dávky, zistených v oblasti vysokých dávok i v oblasti dávok nízkych. $L - NT$ model možno že je trochu konzervatívny až opatrný a neoprávnený, ale v súčasnosti zdá sa byť dosť spoľahlivý na bezpečné uplatnenie a využitie ionizujúceho žiarenia a jadrovej energie.

Odmietnutie $L - NT$ modelu a prijatie prahu v prípadoch stochastických účinkov by mohlo spôsobiť vznik mnohých nových otázok týkajúcich sa regulačných a radiacích opatrení. Tieto predvídané otázky ako pevne zvolený prah pre oneskorené účinky, pre rôzne populačné skupiny, pre rôzne prevádzkové predpisy, atď. sú ťažko zodpovedateľné momentálne. Zdá sa že, bude ľahšie dosiahnuť dohodu o úrovni prijateľného rizika miesto rizika prahovej dávky. Diskusia síce odкрýva dôležité aspekty ocenenia rizika a rizika vnímania spoločnosti. Profesionáli sa grupujú iste nie ako rozdelení oponenti $L - NT$ modelu, sú pravdepodobne v minorite. Treba mať na pamäti, že precenenie rizika využívaním ionizujúceho žiarenia a jadrovej technológie nie je na mieste, zvlášť keď sú k dispozícii vhodné služby na ochranu pred radiáciou. Využívanie ohňa je nevyhnutné pre ľudstvo, hoci tiež nebezpečné, preto ľudská spoločnosť vypracovala spôsoby ochrany proti požiarom. Podobný postoj sa očakáva pri využívaní rádioaktívneho žiarenia.

A v neposlednom rade spoločnosť všeobecne musí vnímať rôzne riziká v industrializovanej krajine komparatívnym spôsobom. V takomto prípade riziká z radiácie nie sú na prvom mieste, ako to posudzovali skupiny opýtaných študentov [18].

Literatúra

- [1] GONZALEZ, A. J.: Biological effects of low dosis of ionizing radiation – A fuller picture. IAEA Bulletin, 4/1994, International Atomic Energy Agency, Viena, 1994.
- [2] MOSSMANN, K. L., GOLDMANN, M., MASSÉ, F., MILLS W. A., SCHIAGER, K. J. and VETTER, R. J.: Radiation risk in perspective. Health Phys., Soc. Newsletter, 24, 1996
- [3] UNSCEAR: Sources and effects of ionizing radiation. United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation, New York, 1994
- [4] TUBIANA, M., LATARJET, R., and LAFUMA, J.: Not so stupid. New Scientist, 148, 56, 1995.
- [5] HEIDENREICH, W. F., PARETZKE, H. G., and JACOB, P.: No evidence for increased tumor rates below 200 mSv in the atomic bomb survivors' data. Radiat. Environ. Biophys. 1997
- [6] BOND at al.: What is a „low dose“ of radiation? Int. J. Radiat. Biol., 1988
- [7] BOOZ, J., and FEINENDEGEN, L. E.: A microdosimetric understanding of low dose radiatin effects. Int. J. Radiat. Biol., 1988
- [8] PIERCE, D. A., and PRESTON D., L.: No evidence for increased tumor rates below 200 mSv in the atomic bomb survivors' data. Radiat. Environ. Biophys., 1997
- [9] KONDO, S.: Health effects of low-level radiation. Kinki univ. Press, Osaka, 1993

- [10] MENDELSON, M., L.: Multistage processes of radiation induced malignancies: mechanisms of initiation, promotion and progression. Proc. Intl. Conf. On Low Dosis of Ionizing Radiation. IAEA, Viena, 1997
- [11] BOND, V., P. et al.: Current misinterpretations of the linear no-threshold hypothesis. Int. J. Radiat. Biol., 1996
- [12] BECKER, K.: Threshold or no Threshold, that is the Question. Radiat. Prot. Dosim., 1997
- [13] KOTELES G. J.: The Low Dose Dilemma, Central European Journal and Environmental Medicine, 1998
- [14] CLARKE, R. H.: The threshold controversy. Radiol. Prot. Bull. No. 178. National Radiological Protection Board, Didcot, UK 1996
- [15] MILLER, R. W., and Boice, J. D.: Cancer after Intrauterine Exposure to the Atomic Bomb. Radiat. Res. 1997
- [16] PIERCE et al.: Studies of the mortality of atomic bomb survivors. Report 12, Part I. Cancer 1996
- [17] IVANOV et al.: Cancer incidence among liquidators of the Chernobyl accident: solid tumors. Health Phys. 1998
- [18] UNEP: Radiation Doses, Effects, Risks., United Nations Environmental Programme. Nairobi, Kenya 1985

Adresa autora

Štefan Húšťava, Doc., RNDr., PhD.
Stavebná fakulta STU Bratislava,
Radlinského 11, 813 68 Bratislava
stefan.hustava@stuba.sk