

SEERIA : KIIRGUSED MEIS JA MEIE ÜMBER
ELU IONISEERIVA KIIRGUSEGA

T. Viik



Lugejateni jõuab Eesti Kiirguskeskuse järjekordne brošüür seeriast "Kiirgused meis ja meie ümber". Sel korral püüab autor Tõnu Viik selgitada nõrkade kiirgusdooside mõju organismidele, organitele ja kudedele. Saame teada, milliseid doose peetakse nõrkadeks ja kuidas need nõrgad doosid võivad käivitada eneseremondi mehhanismi, samuti saab lugeja koos autoriga arutleda, milliste riskidega kiirguste vallas puutub kokku inimkond tervikuna ja iga indiviid eraldi.

Lugejate arvamusi ootame aadressil:

Eesti Kiirguskeskus

Kopli 76

10416 Tallinn

Eesti Vabariik

Fax: 654 1092

Juhan Kalam
EKK Direktor

Lugupidamine Eestlastele
Eesti Kirjanduskeskus
Kõrre 76
10416 Tallinn
Eesti Vabariik
Fax 654 1092

Lugupidamine Eestlastele

Eesti Kirjanduskeskus
Kõrre 76
10416 Tallinn
Eesti Vabariik
Fax 654 1092

Juhataja
EKK

Autor tänab oma head kolleegi **Enn Realot** abi eest selle raamatukese kirjutamisel

Joonised: Tõnu Viik

Kujundus: Meelis Merilo

Kaanefoto: Malle Viik

Trükikoda: Printall

Trükiarv 1000

Tallinn 1998

Iga langev vihmapiisk ja lumehelvest kannavad vähesel hulgal radioaktiivseid aineid maapinnale, samal ajal kui iga puuleht ja rohulible on kaetud radioaktiivse aine nähtamatu kihiga. (E.Rutherford, 1905)

1. Sissejuhatus

Kõik meie ümber on radioaktiivne - maapind, millel kõnnime; majad, kus elame; õhk, mida hingame; vesi, mida joomme; toit, mida sööme. Ka meie ise oleme radioaktiivsed, sest meis on radioaktiivseid elemente: raadiumi ja polooniumi luudes; naatriumi ja süsinikku lihastes ja väärismetallide ning triitiumi kopsudes. Sellest kõigest ei maksa siiski heituda, sest need radioaktiivsete ainete kogused on niivõrd tühised, et nad meie tervisele praktiliselt mingit mõju ei avalda. Nii võib öelda küll ja ega see vale pole, kuid ikkagi teeb lugejat ettevaatlikuks see sõna "praktiliselt". Mida see õieti tähendab? Me teame vägagi hästi, et radioaktiivne kiirgus võib tappa - seda tõendavad Hiroshima ja Nagasaki, me teame ka seda, et kiirgus võib inimese elu päästa, tappes hoopis ohtliku pahaloomulise kasvaja. Mida aga teeb see tühine kiirgusdoos, mida inimene saab ümbritsevast keskkonnast päevast päeva ja aastast aastasse, seda ei tea praegu mitte keegi. Me ei saa isegi seda täie kindlusega väita, kas asja paljude teiste riikide eeskujul Eestis vastuvõetud kiirgusdoosidega kehtestatud kiirgusdooside piirmäärad annavad inimestele vajalikku kaitset. Sellepärast me püüame seda väikeste kiirgusdooside probleemi natuke selgitada, kuigi

see ettevõtmine on keerulisevõitu kasvõi sellepärast, et ÜRO Aatomikiirguse Mõjude Komitee (inglisekeelne lühend UNSCEAR) ettekanne sama probleemi kohta ÜRO Peaassambleele 1994. aastal oli 272 lehekülge pikk lisaks aasta varem esitatud 928 leheküljelisele ettekandele! Sissejuhatuse lõpuks tuletame lugejale meelde paari ühikut, mis meil edaspidi kasutust leiavad, nimelt grei (Gy), mis on neeldunud kiirgusdoosi poolt neelajale üleantud energia mõõt - 1 džaul kilogrammi kohta. Teine oluline ühik on siivert (Sv), mis on seesama üleantud energia hulk, kuid läbi korrutatud kiirgusfaktoriga, et arvestada erinevat liiki kiirguse erinevat mõju organismile. Ja veel - üks džaul on energia, mille abil saab tõsta ühe liitri vee temperatuuri 0.00024 kraadi võrra.

2. Millest meie keha koosneb?

Kui meie organism või selle mingi osa satub kiirguse kätte, siis kõigepealt lähevad löögi alla kõige väiksemad ühikud - rakud. Tuletame meelde, et rakk on lihtsalt üks väike vedelikku täis kott. Seda vedelikku koti sees nimetatakse tsütoplasmaks ja kotti ennast membraaniks. Tsütoplasma sees paiknevad lisaks kõigele muule väga tähtsad raku koostisosad - tuum ja organellid. Keskmise inimese keha koosneb umbes sajast tuhandest miljardist rakust, järelikult peavad nad olema väga pisikesed. Ongi, sest kui neid ritta panna, siis ühe meetri peale kulub keskelt läbi sada tuhat raku. Laias laastus jagunevad rakud organismis kahte rühma - somaatilised rakud ja sugurakud. Somaatilised rakud moodustavad lõviosa kogu rakkude hulgast, sest nemad sisuliselt ongi see organism. Sugurakud,

mis peavad kindlustama päriliku informatsiooni edasikandumise organismi paljunemise ajal, on masendavas arvulises vähemuses. Kõigest sellest hiiglaslikust rakkude hulgast on ainult ühel tuhandikul või isegi ainult ühel kümnetuhandikul omadus anda järglasrakke - niisuguse omadusega vanemrakke nimetatakse tüvirakkudeks. Rakud, need väikesed kavalad masinad on pandud täitma erakordselt keerulist ülesannet - kindlustada organismi elutegevus ja paljunemine. Kõigepealt peab rakk elus püsimiseks oskama end energiaga varustada. Kõne all olnud organellid ongi see jõujaam, mis hoolitseb raku ainevahetuse ja raku eluks vajaliku energia tootmise eest. Raku tuumas paiknevad kromosoomid - keerulise bioloogilise olluse niidikesed, mis omakorda sisaldavad elu seisukohalt kõige tähtsamat ainet - desoksüribonukleiinhapet (inglisekeelne lühend DNA). Kromosoome saab jagada erinevateks kindla funktsiooniga lõikudeks, mida nimetatakse geenideks. Inimese somaatiline rakk sisaldab 46 kromosoomi ja suure hulga gene, mis määravad selle, kas inimene on blond või brünett, sirge või kongus ninaga, siniste või pruunide silmadega, kiire loomuga või pikaldane jne.jne. Geen ise näeb välja kui kaksikspiraal, mis koosneb arvukatest individuaalsetest üksustest ehk nukleotiididest. Need nukleotiidid on tehtud nelja tüüpi alustest - adeniinist, guaniinist, tümiinist ja tsütosiinist. Nende aluste järjekord määrab ära inimese geneetilise koodi.

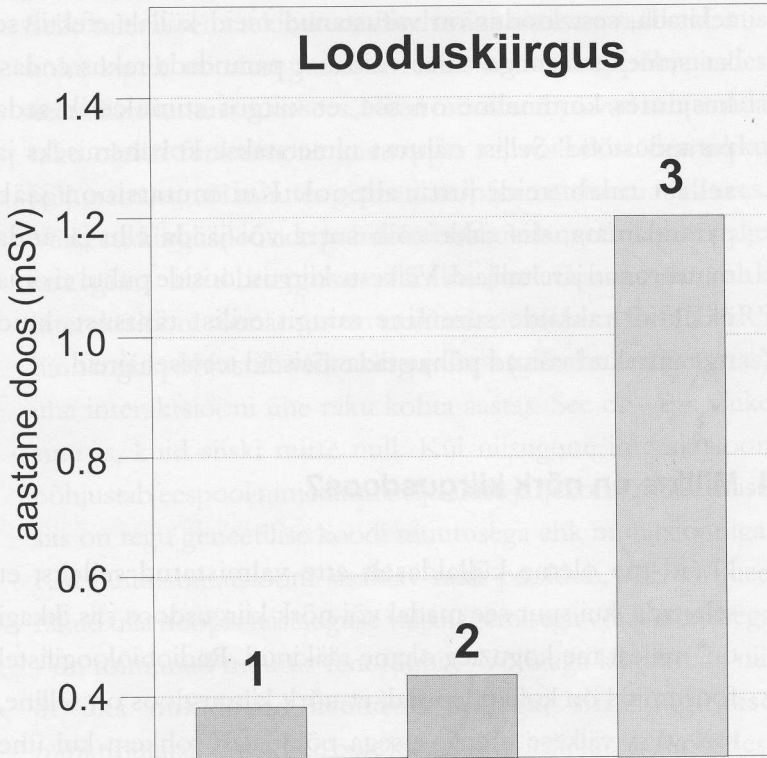
3. Kuidas kiirgus mõjutab meie organismi?

Kiirgus võib ioniseerida raku mistahes aatomi või molekuli. Selle tulemusena tekib keemiliselt väga aktiivne radikaal, mis kohe kipub mitmesugustesse reaktsioonidesse, põhjustades keemilisi muutusi raku sees. Need muutused võivad kahjustada raku olulisi funktsioone kas tappes ta, või takistades rakku paljunemast, või muutes geneetilist informatsiooni raku sees. Väikeste kiirgusdooside puhul võib rakule langeda küllalt palju energiat, kuid kiirguse ja rakuaine vastasmõju ehk interaktsiooni tõenäosus on erakordselt väike. UNSCEAR'i hinnangul põhjustab väike kiirgusdoos (näiteks 1 mSv aastas) ühe interaktsiooni ühe raku kohta aastas. See on väga väike suurus, kuid siiski mitte null. Kui niisugune interaktsioon põhjustab eespool nimetatud nelja aluse järjekorra muutumist, siis on tegu geneetilise koodi muutusega ehk mutatsiooniga. Kui nüüd mutatsiooni sisaldav rakk pooldub, võivad uued rakud olla hoopis teistsuguse väljanägemisega või käitumisega - on toimunud muutus fenotüübis. Võib aga ka juhtuda nii, et üks nukleotiid asendub teisega, siis räägitakse punktmutatsioonist. See pole kaugeltki täielik loetelu kõikidest võimalikest mutatsioonidest, kuid vast aitab. Mutatsioon kandub edasi organismi või siis konkreetselt inimese järglastele sugurakkude kaudu. Nii tekivad mutandid, kes on siis kas rakud või organismid, mille fenotüüp on mutatsiooni tagajärjel muutunud. Mutatsioone ei põhjusta üksnes kiirgus, vaid need toimuvad ka juhuslikult DNA taastekkimise käigus. Mutatsioonide sagedus kasvab, kui rakk on mutageenide mõju all, s.o. rakku mõjutavad keemilised või füüsikalised agendid, mis on võimelised mutatsioone esile kutsuma. Näiteks on

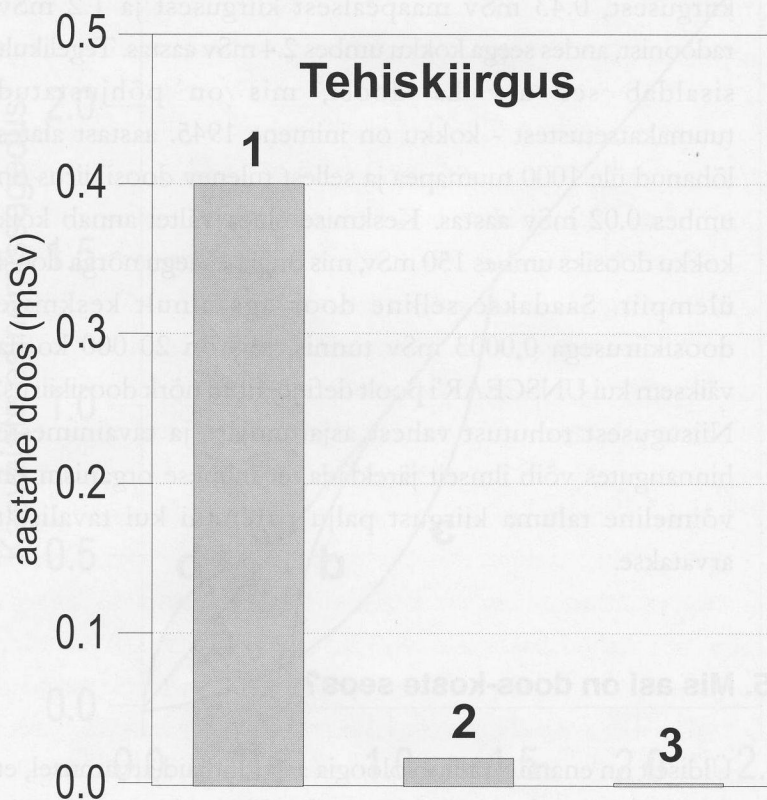
kuumus üks tavalisemaid mutageene, ka ioniseeriv kiirgus on seda, kuid - veider küll - kiirgus on veel kaunis pehme mutageen. Iga mutatsioon ei tarvitse organismis pahandust tekitada, sest loodus on varustanud meid küllalt efektiivse kaitsemehhanismiga - rike võidakse parandada rakus endas, kusjuures kummaline on see, et kiirgus stimuleerib seda parandustööd! Sellist nähtust nimetatakse kohanemiseks ja sellest tuleb veidi juttu allpool. Kui mutatsioon jääb parandamata, siis rakk võib surra või jääda ellu ja anda muteerunud järeltulijaid. Väikeste kiirgusdooside puhul ei oma üksikute rakkude suremine mingit erilist tähtsust, kuid mutantrakud võivad põhjustada tõsiseid tervisehäireid.

4. Milline on nõrk kiirgusdoos?

Nüüd me oleme küllaldaselt ette valmistatud selleks, et selgitada, kui suur see madal või nõrk kiirgusdoos siis ikkagi on, millest me kogu aeg oleme rääkinud. Radiobioloogilistel foorumitel on kokku lepitud, et nõrk kiirgusdoos on selline, mis väga väikese tõenäosusega põhjustab rohkem kui ühe kiirgusenergia neeldumise juhtumi raku tundlikus piirkonnas ajavahemiku vältel, mille kestel raku parandusmehhanism töötab. Võiks arvata, et selline doos ei saa kuigi suur olla. Tegelikult osutub aga UNSCEAR'i esindajate rehkenduste kohaselt nii defineeritud doos vägagi suureks - kuni 200 mSv ja doosikiiruseks saame alla 0.1 mSv minutis ehk kuni 6 mSv tunnis! Need on hirmutavalt suured arvud, kuid midagi pole teha, sest nii räägivad asjatundjad. Mittespetsialist arvab, et nõrk kiirgusdoos võiks olla hoopis väiksem, no näiteks selline,



Joonis 1. Looduslikust radioaktiivsusest põhjustatud keskmine aastane isikudoos: 1 - kosmiline kiirgus (0.38 mSv); 2 - "maapealne" kiirgus, millest põhilise osa annab kaalium-40 (0.43 mSv); 3 - radoon-222 ja radoon-220, mis on uraan-238 ja toorium-232 tütarproduktid (1.2 mSv).

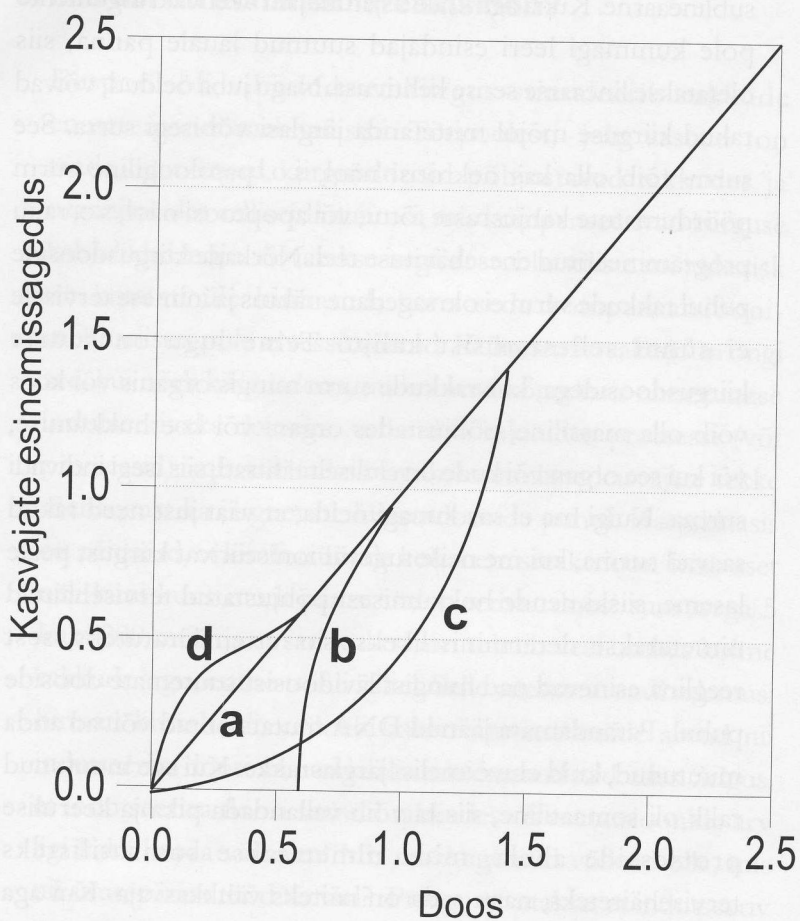


Joonis 2. Tehislikust radioaktiivsusest põhjustatud keskmine aastane isikudoos: 1 - meditsiini kiirgus (0.40 mSv); 2 - tuumakatsetustest põhjustatud doos (0.02 mSv); 3 - tuumaelektrijaamade tööst põhjustatud doos (0.001 mSv).

nagu me iga päev saame looduskiirgusest. Numbrilises väljenduses oleks see aastas umbes 0.38 mSv kosmilisest kiirgusest, 0.43 mSv maapealsest kiirgusest ja 1.2 mSv radoonist, andes seega kokku umbes 2.4 mSv aastas. Tegelikult sisaldab see arv ka doosi, mis on põhjustatud tuumakatsetustest - kokku on inimene 1945. aastast alates lõhanud üle 1000 tuumapea ja sellest tulenev doosikiirus on umbes 0.02 mSv aastas. Keskmise eluea vältel annab kõik kokku doosiks umbes 150 mSv, mis ongi peaaegu nõrga doosi ülempiir. Saadakse selline doos aga ainult keskmise doosikiirusega 0,0003 mSv tunnis, mis on 20 000 korda väiksem kui UNSCEAR'i poolt defineeritud nõrk doosikiirus! Niisugusest tohutust vahest asjatundjate ja tavainimeste hinnangutes võib ilmselt järeldada, et inimese organism on võimeline taluma kiirgust palju paremini kui tavaliselt arvatakse.

5. Mis asi on doos-koste seos?

Üldiselt on enamus radiobioloogia asjatundjaid arvamusel, et doosi ja sellest doosist koele või elundile põhjustatud mõju on lineaarne, s.t. kui doos kasvab kaks korda, siis selle doosi mõju kasvab samuti kaks korda. Suhteliselt suurte dooside korral on kõik asjatundjad ühel meelel, et kiirgusdoosi ja selle doosi vastukaja ehk koste vaheline seos (siis doos-koste seos) on tõepoolest lineaarne. Nõrkade dooside korral see üksmeel päris üldine pole, sest mõned uurijad väidavad, et koste nõrgale doosile võib olla suurem kui lineaarne (õeldakse ka supralineaarne), mõned väidavad jälle vastupidist - et seos on



Joonis 3. Mõned doos-koste mudelid nõrkade kiirgusdooside puhul. a - lineaarne (koste on võrdeline doosi tugevusega); b - sublineaarne lävidoosiga (koste on nõrgem kui lineaarses mudelis ja koste puudub üldse, kui doos on nn. lävidoosist väiksem); c - sublineaarne lävidoosita; d - supralineaarne (koste on suurem kui lineaarses mudelis).

sublineaarne. Kuna aga kõiki asjatundjaid veenvaid argumente pole kummagi leeri esindajad suutnud lauale panna, siis oletatakse lineaarse seose kehtivust. Nagu juba öeldud, võivad rakud kiirguse mõjul mitte anda järglasi või isegi surra. See surm võib olla kas nekroosi näol, s.o. patoloogiline surm pöördumatute kahjustuste tõttu, või apoptoosi näol, s.o. raku programmeeritud enesehävituse teel. Nõrkade kiirgusdooside puhul rakkude surm ei ole sagedane nähtus ja inimese tervisele ei sünni sellest tõsist kahju. Teine lugu on suurte kiirgusdoosidega, kus rakkude surm mingis organis või koes võib olla massiline, põhjustades organi või koe hukkumise, või kui see organ või kude on eluliselt tähtsad, siis isegi indiviidi surma. Kuigi me ei saa kunagi öelda, et vaat just need rakud saavad surma, kui me neile tugevat ioniseerivat kiirgust peale laseme, siiski nende hukkumisest põhjustatud tervisehäireid nimetatakse deterministlikeks, s.o. ettemääratuteks, sest reeglina esinevad nad mingist lävidoosist suuremate dooside puhul. Parandamata jäänud DNA mutatsioonid võivad anda muutunud, kuid eluvõimelisi järglasrakke. Kui see muutunud rakk oli somaatile, siis ta võib vallandada pika ja keerulise protsesside ahela, mida nimetatakse somaatilisteks tervisehäireteks, nagu seda on näiteks vähkkasvaja. Kui aga see mutantrakk oli sugurakk, siis selle mutatsiooni tagajärjel võivad indiviidi järglastel ilmnedä pärilikud tervisehäired. Neid tervisehäireid, nii somaatilisi kui pärilikke, nimetatakse stohhastilisteks, s.o. juhuslikeks, sest nende ilmumine on juhusliku iseloomuga.

6. Mis asi on kohanemisreaktsioon?

Eespool oli vihjatud, et kiirgus stimuleerib rakkude eneseremondi mehhanismi. Tõepoolest, juba aastaid on teada, et nõrgad kiirgusdoosid põhjustavad rakkudes ja organismides selliseid muutusi, mis kompenseerivad kiirguse kahjulikku mõju. Arvatakse isegi, et stohhastiliste mõjude risk on kõvasti üle hinnatud, kuna seda kompensatsioonimehhanismi pole arvesse võetud. Kohanemisreaktsioon ongi see, kui nõrk kiirgusdoos, mida antud kontekstis nimetatakse indutseerivaks doosiks, vallandab rakkudes protsessi (või protsessid), mis vähendavad pahaloomuliste kasvajate tekke tõenäosust ka järgnevate kiirgusdooside puhul. Katseklassis on näidatud, et lümfotsüütide kohanemisreaktsioon leiab aset neli kuni kuus tundi pärast indutseerivat doosi suurusega 5 kuni 200 mGy ja et see reaktsioon toimib veel umbes kolme rakkude jagunemise tsükli vältel. Selle eneseremondi tulemusi hinnati lihtsalt nii, et loeti kokku mutatsioonide arvud nii indutseeriva doosi saanud kui ka mittesaanud rakkudes. Selgus, et indutseeriva doosi saanud rakkudes oli mutatsioonide arv ligi kaks korda väiksem! Mis need agendid võiksid olla, mis nii suurepäraselt tööd teevad? Praegu arvatakse, et indutseeriv doos aktiveerib teatud geene, millele omakorda järgneb DNA remondi eest vastutavate ensüümide tootmine. Kui need ensüümid on vajalikul hulgal siis veel olemas, kui järgmine kiirgusdoos saadakse, siis DNA remontimise võimalused kasvavad oluliselt. Ja veel arvatakse, et selline kohanemine on rakkude täiesti üldine vastureaktsioon igasugustele kahjustustele.

7. Milline on siiski risk?

Me kõik riskime mingil määral oma igapäevaelus. Mõnda riski saab kaotada - näiteks loobudes langevarjuhüpetest, teisi riske saab vähendada - näiteks loobudes suitsetamisest. Kõiki riske vältida pole ometi võimalik. Küllalt suure riski surub meile peale ühiskond, milles elame. Võtame näiteks energia tootmise - ükskõik, mis viisil me seda teeme, riski põhjustab ta ikkagi. Hüdroenergiat loetakse suhteliselt riskivabaks, ometi on purunenud tamme ja hukkunud inimesi, rääkimata sellest, et tammid takistavad kalade liikumist ja viljaka muda ladestumist näiteks Niiluse äärsetel põldudel. Tuuleenergia abil elektri tootmine on mürarikas ja rändlinnud võivad hukkuda tiivikuisse lennates. Sõe ja nafta põletamisega kaasneb saastumine, sest nende elektrijaamade korstnatest tuleb hingamisteede haigusi põhjustavaid väävlid, lämmastiku ja teiste elementide oksiide. Üldiselt põlastatakse sügavalt tuumaelektri jaamu kui võimalikke radioaktiivse saastuse allikaid, kuigi nad annavad praegu 17 % kogu maailma elektrienergia toodangust. Sellised saastuse allikad nad kindlasti ka on, sest isegi ilma avariideta töötav tuumaelektri jaam pihkab teatud väikese koguse radioaktiivseid aineid, andes nii oma panuse nõrga radioaktiivse kiirguse fooni suurenemisele, rääkimata veel õnnetustest nagu see, mis Tšernobõlis toimus ja mis ikkagi võivad juhtuda, hoolimata kõige suurematest ettevaatusabinõudest. Arenenud tööstusmaades annab selline fooni suurenemine umbes ühe seitsmesajandiku kogukiirguse foonist. Kuid kui tuumaenergeetikat poleks, kas me siis saaksime öelda, et inimeste tervisehäirete hulk väheneks sama suuruse võrra? Vaevalt küll. No hästi, Eestis pole

tuumaelektrijaamu (ja kui veab, ei tulegi), kuid ka meie põlevkivi põletavates elektrijaamades ei pääse me radioaktiivsusest, sest tuhas suureneb oluliselt kütuses sisalduv vähene looduslik radioaktiivsete ainete kontsentratsioon. Need ained olid ju kuni kaevandamise ja põletamiseni kenasti hajutatult maa all peidus ega ohustanud kedagi. On selge, et me peame teadma, missugused on meie riskid ja kui tähtsad nad on. Eespool oli juttu sellest, kui suuri doose me looduskiirgusest saame. Aga me käime ka teinekord röntgenis ja ühekordsel läbivalgustamisel, kus võime saada doosi 10 kuni 20 mSv. Rahvusvahelise soovitusel kohaselt kiirgustegevuses osalev inimene (näiteks arst-röntgenoloog, kes muidugi seda eelmises lauses nimetatud doosi ise ei saa!) ei tohiks saada ühe aasta jooksul üle 50 mSv, kusjuures täiendavaks tingimuseks on, et viie järjestikuse aasta keskmine ei tohi ületada 20 mSv. See nõue on nüüd ka Eesti kiirgusseaduses sees. Olgu peale, aga mida ikkagi mingi kindla suurusega doos teha võiks? On kindlaks tehtud, et mõnekümne millisiiverti suurune doos ei tekita mingit kohest kahju, aga ta võib seda teha pikas perspektiivis. Mõnesaja millisiiverti suurune doos lühikese aja vältel võib põhjustada mööduva kiiritustõve. Mõne tuhande millisiiverti (ehk siis mõne siiverti) suurune doos lühikese aja vältel võib põhjustada surma.

8. Kokkuvõtteks

Kokkuvõtteks võib öelda, et me teame radioaktiivse kiirguse mõjust tänapäeval palju rohkem, kui muudest keemiliste või füüsikaliste agentide mõjudest inimese tervisele. Suured kiirgusdoosid on surmavad. Hoolimata sellest kasutatakse

küllaltki suuri kiirgusdoose vähihaigete raviks, sest otsene kasu sellest kaalub kaugelt üles riski, et patsient võib selle kiiritamise tõttu saada hiljem mõne teise kasvaja. Me saame iga päev nõrku kiirgusdoose looduslikest ja tehisallikatest. Selle kiirituse mõju kohta on pakutud palju erinevaid teooriaid, kuid ükski neist pole siiani kinnitust leidnud. Radiobioloogia eksperdid on enam-vähem ühisel arvamisel, et kehtib nn. lineaarne mudel - kiirguse mõju inimese tervisele on võrdeline doosi suurusega nii suurte kui väikeste dooside korral, seega siis mida suurem doos, seda suurem kahju. Arvukate uuringute järeldused, et nõrkade dooside puhul nende mõju inimesele kas ala- või ülehinnatakse, pole kinnitust leidnud ja lineaarne mudel kehtib edasi. Kiiritamise mõju inimese tervisele ei saa eristada paljude teiste keemiliste ja füüsikaliste põhjuste mõjust. Nõrkade kiirgusdooside riski tuleb arvestada, kuid arvestada tuleb ka seda, et muude põhjuste tekitatud risk võib olla suurem. Ja kõiki riske me veel ei tunnegi. Ja päris lõpuks, UNSCEAR väidab, et kuni neljandik inimkonnast võib suure tõenäosusega surra vähkkasvaja kätte, kuid ainult 4 % nendest surmadest võib panna ioniseeriva kiirguse arvele, kusjuures enamuse neist on põhjustatud looduslikust kiirgusest, mille üle inimesel pole mitte mingit kontrolli.