

# 11

## ICRP:N NÄKEMYS SÄTEILYN RISKEISTÄ JA SUOJELUPERIAATTEISTA

Wendla Paile

### SISÄLLYSLUETTELO

11.1	ICRP:n rooli säteilysuojelussa .....	152
11.2	Riskiarvio ja haitta-arvio .....	154
11.3	Säteilysuojelun keskeiset käsitteet .....	158

## 11.1 | ICRP:n rooli säteilysuojelussa

Kansainvälinen säteilysuojelutoimikunta ICRP (International Commission on Radiological Protection) on riippumaton asiantuntijaelin, joka julkaisee parhaaseen tieteelliseen näyttöön perustuvia suosituksia säteilysuojelun toteutuksesta. Vuonna 1928 Tukholmassa pidetyssä kansainvälisessä radiologikongressissa päätettiin perustaa organisaatio pohtimaan säteilyn haitallisten vaikutusten estämiseen liittyviä kysymyksiä. Nykyinen nimi ja rakenne ovat peräisin vuodelta 1950. Tällöin toimikunnan työ laajennettiin kattamaan säteilyn lääketieteellisen käytön lisäksi muitakin säteilyn käyttöaloja.

Toimikunta on alusta alkaen julkaissut suosituksiaan säteilyn vaikutuksia koskevan tiedon kehitystä seuraten. Työntekijöille suositeltuja annosrajoja on useita kertoja alennettu tuntuvasti. Perusteena on ollut lisääntynyt tieto säteilyaltistuksen haittavaikutuksista. Alkuaikoina annosrajat tähtäsivät pelkästään determinististen vaikutusten estämiseen. 1950-luvulla vahvistui ajatus, että on rajoitettava myös säteilyn stokastisia myöhäisvaikutuksia. Tällöin ajateltiin ensisijaisesti geneettisiä vaikutuksia, joista oli saatu kokeellista näyttöä. Hiroshiman ja Nagasakin atomipommille altistuneiden ihmisten seuranta on kuitenkin osoittanut, että lisääntynyt syöpäriski on väestötasolla määrällisesti tärkeämpi. Annosrajojen alentamisen rinnalla on yhä pontevammin nostettu esille niin sanottu ALARA-periaate (As Low As Reasonably Achievable), jonka mukaan annosrajojen alapuolellakin säteilyannokset on pidettävä niin pieninä kuin kohtuudella voidaan saavuttaa. Tarkastelussa tulee ottaa huomioon säteilyvaikutusten lisäksi taloudellisista ja sosiaalisista vaikutuksista aiheutuvat kustannukset. Seurauksena tästä on ollut, että yksilöannokset ovat käytännössä pienentyneet huomattavasti, ja yhä harvemmissä tilanteissa annosrajoilla on ratkaiseva merkitys säteilysuojelun kannalta.

ICRP:n suositusten päämääränä on ollut esittää säteilysuojelulle asianmukainen taso rajoittamatta aiheuttomasti säteilyn hyötykäyttöä. Myöhemmin suositukset on laajennettu kattamaan myös luonnonsäteilystä aiheutuvaa altistusta sekä onnettomuuden jälkeisen säteilytilanteen hoitoa. Tähän saakka ICRP on rajannut tehtävänsä koskemaan pelkästään ihmisten suojelua. Lähtökohdانا on ollut, että sellainen säteilysuojelun taso, joka on riittävä ihmisen kannalta, riittää myöskin suojaamaan ympäristön. Tähän kantaan on ilmeisesti lähivuosina tulossa muutosta.

ICRP:n julkaisut ovat suosituksia, jotka eivät oikeudellisesti sido ketään. ICRP on kuitenkin saavuttanut hyvin vankan aseman auktoriteettina, jota

koko maailma kuuntelee. Eri maiden kansallinen säteilysuojelulainsäädäntö on nykyään hyvin pitkälle sopeutettu ICRP:n esittämien periaatteiden mukaiseksi. Suomen säteilylaki ja säteilyasetus perustuvat ICRP:n uusimpiin suosituksiin, samoin myös Euroopan unionin säteilysuojelusäädännöstö. Suomen säteilysuojelun säännökset esitetään kirjan 3 luvussa 5.

N:o	Nimi	Julkaisuvuosi
60	1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection	1991
61	Annual Limits on Intake of Radionuclides by Workers Based on the 1990 Recommendations	1991
-	Risks Associated with Ionising Radiation	1992
62	Radiological Protection in Biomedical Research	1993
63	Principles for Intervention for Protection of the Public in a Radiological Emergency	1993
64	Protection from Potential Exposure	1993
65	Protection Against Radon-222 at Home and at Work	1994
66	Human Respiratory Tract Model for Radiological Protection	1994
67	Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 2. Ingestion Dose Coefficients	1994
68	Dose Coefficients for Intakes of Radionuclides by Workers	1995
69	Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 3. Ingestion Dose Coefficients	1995
70	Basic Anatomical and Physiological Data for use in Radiological Protection: The Skeleton	1995
71	Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 4. Inhalation Dose Coefficients	1996
72	Age-dependent Doses to Members of the Public from Intake of Radionuclides: Part 5. Compilation of Ingestion and Inhalation Dose Coefficients	1996
73	Radiological Protection and Safety in Medicine	1996
74	Conversion Coefficients for use in Radiological Protection against External Radiation	1996
75	General Principles for the Radiation Protection of Workers	1997
76	Protection from Potential Exposures: Application to Selected Radiation Sources	1997
77	Radiological Protection Policy for the Disposal of Radioactive Waste	1998
78	Individual Monitoring for Intakes of Radionuclides by Workers: Replacement of ICRP Publication 54	1998
79	Genetic Susceptibility to Cancer	1998
80	Radiation Dose to Patients from Radiopharmaceuticals: Addendum 2 to ICRP Publication 53	1998
81	Radiation Protection Recommendations as Applied to the Disposal of Long-Lived Solid Radioactive Waste	1998
82	Protection of the Public in Situations of Prolonged Radiation Exposure	2000
83	Risk Estimation for Multifactorial Diseases	2000

TAULUKKO 11.1 ICRP:n julkaisut vuosina 1990–2000

ICRP:n viimeiset, kirjoitushetkellä voimassa olevat yleissuositukset ovat peräisin vuodelta 1990 (ICRP Publication 60). Niitä täydentävät myöhemmin ilmestyneet suositukset, jotka käsittelevät erilliskysymyksiä yksityiskohtaisemmin. Näitä asioita ovat muun muassa radonaltistus kotona ja työpaikalla; nieltyinä tai hengitettyinä saatujen nuklidien annoskertoimet eri ikäisille ihmisille; nuklidien vuosittaiset saantorajat työntekijöille; radioaktiivisen jätteen käsittely. Täydellinen lista vuoden 1990 ja 2000 välillä ilmestyneistä ICRP:n suosituksista esitetään taulukossa 11.1. Suositukset julkaistaan sarjassa *Annals of the ICRP*.

## 11.2 Riskiarvio ja haitta-arvio

Arvioidessaan säteilyn aiheuttamaa haittaa ICRP tukeutuu pääasiassa kahteen tieteelliseen komiteaan: UNSCEAR (United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation) eli YK:n tieteellinen komitea säteilyn haittavaikutusten arvioimiseksi, sekä BEIR (Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiations), joka on Yhdysvaltain kansallisen tieteellisen akatemian (NAS) alainen. Sekä UNSCEAR että BEIR julkaisevat aika ajoin laajoja katsauksia ionisoivasta säteilystä ja sen vaikutuksista. Viimeinen UNSCEAR-raportti on vuodelta 2000 ja viimeinen BEIR-raportti (BEIR V) vuodelta 1990. ICRP 60 tukeutuu raportteihin UNSCEAR 1988 sekä BEIR V. Kummatkin pohjautuvat samoihin tutkimuksiin. Tärkein näistä on Japanissa viime maailmansodan lopussa atomipommituksille altistuneita ihmisiä koskeva, niin sanottu LSS-tutkimus (Life Span Study). Tätä tutkimusta referoidaan tarkemmin luvussa 7.

BEIR arvioi syöpäkuolemien kokonaisriskin olevan koko väestössä äkillisen altistuksen jälkeen, leukemiat mukaan lukien, 8,85 prosenttia yhden sievertin kohdalla. Tämä luku ei sisällä niitä, jotka olisivat kuolleet syöpään myöhemmin ilman säteilyn vaikutusta, mutta saavat syöpänsä aikaisemmin säteilyn vuoksi. BEIR ei ole käyttänyt mitään vähennystekijää pienten annosten osalta, vaan ekstrapoloi kiinteiden kasvainten riskin suoraan lineaarisen mallin mukaan. Sen sijaan leukemiaan sovelletaan lineaaris-kvadraattista mallia. Tämän vuoksi kokonaisriskiarvio 0,1 sievertin kohdalla on hiukan alle kymmenesosa yllä olevasta eli 0,79 prosenttia (miesten ja naisten keskiarvo).

UNSCEAR arvioi syöpäkuolemien kokonaisriskin olevan 12 prosenttia yhden sievertin kohdalla, olettaen että suhteellinen riski säilyy muuttamattomana elämän loppuun asti (tästä ei ole vielä tietoa, koska suu-

rin osa LSS-tutkimuksen lapsuudessa altistuneista on vielä elossa). Jos tulevana vuosina kuitenkin ilmenee, että suhteellinen riski alenee iän myötä, elinikäisriski voi olla 20-30 prosenttia alhaisempi. UNSCEAR laskee mukaan kaikki altistuksen aiheuttamat syöpäkuolemat, ja luku sisältää siis myös ne, jotka saavat syövän säteilystä mutta olisivat myöhemmin kuolleet syöpään ilman säteilyäkin. UNSCEAR on pohtinut alhaiseen annokseen ja annosnopeuteen sovellettavaa riskin vähennystekijää ja toteaa, että sen tulisi varovaisuussyistä olla alhainen, todennäköisesti ei yli kolme.

Aikaisemmat riskiarviot ovat olleet huomattavasti pienemmät. Suureen muutokseen, joka ajoittuu 1980-luvun loppuun, on kolme syytä, jotka liittyvät edellä mainittuun LSS-ryhmän seurantaan. Ensinnäkin vuonna 1986 valmistui uusi, tarkennettu arvio atomipommille altistuneiden säteilyannoksista (DS86-annosarvio). Uudet arviot päätyvät yleensä pienempiin annoksiin kuin aikaisemmat arviot, mikä merkitsee suurempaa riskiä annosta kohti. (Neutroniannosten osalta vallitsee edelleen epävarmuutta, mutta niiden vaikutus kokonaisriskin arvioon ei ole kovin suuri.) Toiseksi syöpätapauksia ja syöpäkuolemia on ilmaantunut ajan myötä odotettua enemmän. Kolmanneksi on tulevaisuudessa odotettavien tapausten määrään nyt sovellettu suhteellista riskimallia, mikä aivan ilmeisesti kuvaa kiinteiden kasvainten riskiä paremmin kuin absoluuttinen riskimalli. Tämän mukaisesti ylimääräisten syöpätapausten määrä tulee vielä nousemaan, kun lapsuudessa ja nuoruudessa altistuneet ihmiset vanhenevat.

ICRP käyttää kuolemaan johtavan syövän riskikertoimena normaaliväestölle lukua 10%/Sv, kun on kyse suurista annoksista (yli 0,2 Sv) sekä suuresta annosnopeudesta (yli 0,1 Sv/h). Luku on kohtuullinen keskiarvolla esitetyistä luvuista, ottaen huomioon arvioon liittyvät epävarmuudet. Lisäksi ICRP on päättänyt soveltaa säteilysuojelutarkoituksessa pienempiin annoksiin ja/tai pieniin annosnopeuksiin vähennystekijää 2 (Dose and Dose Rate Effectiveness Factor, DDREF) ja päätyy täten nimelliseen todennäköisyyskertoimeen 5%/Sv. Kyseessä on siis elinikäisriski koko väestölle, eli ylimääräisten syöpäkuolemien laskennallinen lukumäärä väestöaltistuksen jälkeen, kun väestöllä on kehittyneille maille tavanomainen ikäjakauma. On muistettava, että riski yksilötasolla poikkeaa tästä. Lasten riski on suurempi ja vanhusten pienempi. ICRP katsookin, että työikäisen väestön osalta nämä luvut ovat pienemmät: äkillisen, korkean annoksen jälkeen käytetään lukua 8%/Sv ja kroonisen altistuksen jälkeen 4%/Sv. Riski lasketaan kollektiiviannoksen perusteella. Kollektiiviannos on altistuneiden yksilöiden keskimääräinen annos kerrottuna ihmisten lukumäärällä, ja sen yksikkönä on mansievert (manSv).

On huomattava, että LSS-tiedot eivät sinänsä tue minkäänlaista vähennystekijää pienten annosten kohdalla, kun tarkastellaan kiinteitä kasvaimia. Leukemian osalta sen sijaan vähennystekijä vastaa havaintoja. LSS on antanut hyvät tiedot sekä suurten että pientenkin annosten riskistä, mutta annosnopeus oli kaikilla altistuneilla suuri. Pieniin annosnopeuksiin liittyvästä riskistä on vähemmän tietoa (vertaa luku 7).

Säteilysuojelua koskevissa kysymyksissä säteilyn haittavaikutukselle tarvitaan mitta. Säteilysuojelussa on yleensä kysymys pienistä annoksista ja/tai pienistä annosnopeuksista, joten lähtökohtana käytettävät luvut ovat ICRP:n mukaan 5% /manSv koko väestölle sekä 4% /manSv työikäiselle väestölle. Nämä ovat nimellisiä todennäköisyyslukuja kuolemaan johtavalle syövälle, joka lyhentää elinikää keskimäärin 15 vuotta.

Kuolemaan johtavan syövän lisäksi haittaa syntyy myös ei-kuolemaan johtavista syövästä sekä geneettisistä haittavaikutuksista. ICRP on kehittänyt näistä nimelliset kertoimet, jotka eivät kerro suoraan tapausten arvioitua lukumäärää, vaan luvut on painotettu vastaamaan haittavaikutusta kuolemaan johtavasta syövästä, huomioiden myös menetettyjen elinvuosien määrä. Näin saadut nimelliset haitat ovat yhteenlaskukelpoisia, ja summaa voidaan käyttää kokonaishaitan vertailulukuna. Ei-kuolemaan johtavan syövän osalta pyöristetty haittaluku, joka on painotettu syöpäsairauden vakavuuden mukaan, on 1% /manSv koko väestölle ja 0,8% /manSv työikäiselle väestölle. Geneettiselle haitalle käytetään painotettuna haittalukuna 1,3% /manSv koko väestölle ja 0,8% /manSv työikäiselle väestölle (katso taulukko 11.2). Painotuksiin liittyy monia karkeit arvioita ja epävarmuuksia, joiden yhteisvaikutus on suurempi kuin numeerinen ero työikäisen väestön ja koko väestön välillä. Silti ICRP katsoo, että tämä jako on syytä tehdä, koska voidaan pitää varmana ainakin sitä, että näiden ryhmien välillä on eroa.

Altistunut ryhmä	Kuolemaan johtava syöpä	Ei-kuolemaan johtava syöpä	Vakava geneettinen vaikutus	Yhteensä (nimellinen kokonaishaitta)
Aikuiset työntekijät	4,0	0,8	0,8	5,6
Koko väestö	5,0	1,0	1,3	7,3

**TAULUKKO 11.2** Säteilyn satunnaisvaikutusten nimelliset haittakertoimet, % / manSv. Ainoastaan kuolemaan johtavan syövän osalta tämä luku on sama kuin todennäköisyyskerroin.

Laskettaessa nimellistä haittaa ICRP käyttää elinkohtaisia tietoja kuolemaan johtavan syövän todennäköisyydestä, syövän mortaliteetista (kuinka suuri osa sairastuneista kuolee) sekä menetettyjen elinvuosien määrästä. Lopulta on elinkohtaiset haittaluvut laskettu yhteen kokonaisuudeksi. Summa on koko väestön osalta 7,3 % /manSv ja työikäisen väestön osalta 5,6 % / manSv. Kertoimella ei voi laskea yksilön riskiä tai haittaa, vaan sillä kuvataan koko ryhmälle kollektiiviannoksesta koituva haitta. Monessa yhteydessä pelkkä kollektiiviannos onkin vertailumielessä riittävä haitan ilmaisu ilman, että erikseen lasketaan nimellistä haittaa.

ICRP on myös arvioinut yksittäisistä elimistä johtuvien haittavaikutusten suhteellisen osuuden kokonaisuudesta. Koska epävarmuudet ovat suuria, tulokset on pyöristetty yksinkertaisiin kertoimiin, joiden summa on yksi. Näin saatuja lukuja käytetään kudosten painotuskertoimina efektiivistä annosta määriteltäessä (vertaa kirja 1 luku 2). Kertoimet on esitetty taulukossa 11.3. Vaikka yksittäiset elimet painottuvat eri tavalla eri yksilöillä, esim. rintarauhanen miehillä ja naisilla sekä sukurauhaset eri ikäisillä, ICRP soveltaa samoja painotuskertoimia kaikkiin ihmisiin, koska muuten syntyisi sekaannusta efektiivisen annoksen käsitteestä.

$w_T$		$\sum w_T$
0,01	Luun pinta, iho	$2 \times 0,01=0,02$
0,05	Virtsarakko, rinta, maksa, ruokatorvi, kilpirauhanen, muut	$6 \times 0,05=0,30$
0,12	Luuydin, paksusuoli, keuhkot, mahalaukku	$4 \times 0,12=0,48$
0,20	Sukurauhaset	$1 \times 0,20=0,20$
	Yhteensä	1,00

**TAULUKKO 11.3** Kudosten painotuskertoimet

Altistetun ryhmän kokonaisuuden arvioiminen kollektiivisen annoksen perusteella edellyttää, että satunnaishaitan riski riippuu lineaarisesti annoksesta ilman kynnysarvoa (linear non-threshold eli LNT-malli). ICRP katsoo, että tarkasteltavalla alueella lineaarinen annosvastemalli on käypä riippumatta käyrän todellisesta muodosta laajemmalla alueella, muun muassa siksi, että todellinen altistus taustasäteily mukaan lukien ei koskaan ole lähellä nollaa. Lineaarinen annosvaste tarkoittaa, että jokainen lisäannos ja siihen liittyvä haitta voidaan arvioida erikseen, riippumatta aikaisemmista ja tulevista annoksista, kunhan annokset pysyvät determinististen vaikutusten alapuolella: lisäannos tuo aina mukanaan saman-

suuruisen lisäriskin. Yksilön eri aikoina saadut annokset voidaan myös vapaasti laskea yhteen. Nämä käytännön näkökohdat ovat säteilysuojelussa ensiarvoisen tärkeitä, koska annosjakaumat ovat ajallisesti ja paikallisesti epätasaiset, ja luonnonsäteily muodostaa aina huomattavan osan kokonaisaltistuksesta. Sen sijaan ei voida vetää rajaa turvallisen ja vaarallisen annoksen välillä eikä nollariskiin ole mahdollista päästä.

### 11.3 | Säteilysuojelun keskeiset käsitteet

Säteilysuojelun tarkoituksena on taata hyvätasoista ihmisten suojelua rajoittamatta tarpeettomasti sellaista hyödyllistä toimintaa, joka aiheuttaa säteilyaltistusta. Koska säteilyn deterministisille vaikutuksille on kynnyksarvot, nämä vaikutukset voidaan välttää kokonaan rajoittamalla yksilöiden annoksia. Toisaalta stokastisia vaikutuksia ei voi kokonaan välttää, koska niillä ei ole kynnyksarvoa (vertaa luku 3). ICRP:n suositusten tarkoituksena on estää deterministiset vaikutukset kokonaan sekä tämän lisäksi rajoittaa stokastisten vaikutusten riskiä ALARA-periaatteen mukaisesti niin paljon kuin kohtuudella voidaan saavuttaa.

Säteilysuojelu voidaan toteuttaa säteilylähteen kohdalla, ympäristössä tai yksilön kohdalla. Lähdekohtainen suojelu, silloin kuin se on mahdollista, on kaikkein tehokkainta, koska se vaikuttaa kaikkiin mahdollisiin altistusteihin ja suojelee samalla kaikkia yksilöitä kyseiseltä lähteeltä.

Periaatteessa säteilysuojelulla pitää aikaansaada enemmän hyötyä kuin haittaa. Suojelujärjestelyjen tulee olla sellaiset, että nettohyöty on mahdollisimman suuri. Lisäksi täytyy rajoittaa sitä epäoikeudenmukaisuutta, joka voi syntyä yksilöiden ja koko yhteiskunnan etujen välisestä ristiriidasta. Tämän mukaisesti säteilysuojelun kantavat periaatteet ovat *oikeutus*, *optimointi* ja *yksilön suoja*. Näiden käsitteiden merkitys vaihtelee hiukan riippuen siitä, missä yhteydessä niitä sovelletaan. On erotettava toisistaan *praktiikka* eli sellainen valinnainen toiminta, josta seuraa lisääntynyt säteilyaltistus, ja toisaalta *interventio*, jolloin säteilylähte on jo olemassa ja harkittavana on toimenpide altistuksen vähentämiseksi. Niinikään käsitteet saavat erilaisen sisällön riippuen siitä, onko kyseessä *työperäinen altistus*, *lääkätieteellinen altistus* vaiko *väestöaltistus*.

Sekä praktiikassa että interventiotilanteissa altistus on usein varma ja annokset, tai ainakin niiden suuruusluokka, on ennakoitavissa. Joskus on kuitenkin huomioitava myös *potentiaalinen altistus* eli sellainen altistus, joka mahdollisesti voi esiintyä, vaikka sitä ei voi varmuudella ennakoita.



Oikeutusperiaate praktiikkaan sovellettuna tarkoittaa, että sellainen toiminta, joka aiheuttaa joillekin ihmisille säteilyaltistusta, on sallittava vain sillä edellytyksellä, että toiminnasta saatava hyöty joko altistuneille yksilöille tai yhteiskunnalle on riittävän suuri kompensoimaan altistuksesta aiheutuvan haitan. Kun toiminta on todettu oikeutetuksi, on jokaiseen lähteeseen sovellettava säteilysuojelun optimointia: yksilöannokset, altistuneiden lukumäärä sekä potentiaalisen altistuksen todennäköisyys ja suuruus on kaikki pidettävä niin alhaisina kuin kohtuudella voidaan saavuttaa, taloudelliset ja sosiaaliset tekijät huomioon ottaen. Optimoinnissa on otettava huomioon lähdekohtaiset annosrajoitukset, joiden tarkoitus on epäoikeudenmukaisuuden rajoittaminen, kun altistuva yksilö ei ole se, joka ensisijaisesti hyötyy toiminnasta. Annosrajoitus on lisäehto, joka muodostaa optimoinnille ylärajan.

Tämän lisäksi yksilöiden kokonaisaltistus kaikista relevanteista lähteistä on rajoitettava siten, että kukaan ei altistu sellaiselle säteilyriskille, jota ei voi pitää hyväksyttävänä kyseisten toimintojen yhteydessä. Koska kaikkia lähteitä ei voi kontrolloida, on ensin määriteltävä mitkä lähteet tähän sisällytetään. Lähdekohtainen annosrajoitus on murto-osa annosrajasta.

Interventiotilanteessa oikeutus tarkoittaa, että harkitun interventiotoinpiteen täytyy aiheuttaa enemmän hyötyä kuin haittaa. Tämä merkitsee, että annoksen pienentämisestä koituva haitan väheneminen on suurempi kuin toimenpiteestä aiheutuva haitta, mukaan lukien taloudelliset ja yhteiskunnalliset kustannukset. Optimointi koskee intervention muotoa, laajuutta ja kestoja, jotka on mitoitettava siten, että nettohyöty annoksen vähentämisestä eli ero hyödyn ja haitan välillä on mahdollisimman suuri. Sen sijaan yksilökohtaisia annosrajoja ei sovelleta interventiotilanteisiin, koska tämä saattaa johtaa toimenpiteisiin, jotka eivät ole oikeutettuja haittavaikutuksiin ja kustannuksiin nähden. Praktiikassa huomioon otettava epäoikeudenmukaisuusnäkökohta jää pois, kun ei ole kyse valinnaisesta toiminnasta, joka tuo mukanaan hyötyä joillekin. Ennalta voidaan kuitenkin arvioida oikeutus- ja optimointiperiaatteen perusteella, millä annostasolla interventio on yleensä aiheellinen (interventiotaso). Sellaisilla annoksilla, jotka lähentelevät determinististen vaikutusten tasoa, interventio on miltei aina oikeutettu.

## Annosrajat säteilytyössä

Säteilytyössä henkilökohtainen annosvalvonta ja yksilökohtaiset annosrajat ovat keskeisiä. Yksilöannosraja edustaa ICRP:n kannan mu-

kaan sellaista altistusta, jota voidaan juuri ja juuri pitää siedettävänä, kun se on säännöllistä, pitkittynyttä ja valinnaista sekä liittyy omaan työhön. Annosrajan alittaminen ei vielä osoita, että säteilysuojelun päämäärä on saavutettu, vaan sen alapuolellakin on pyrittävä ALARA-periaatteen mukaan niin pieniin annoksiin kuin käytännössä on järkevää. Efektiivisen annoksen rajana on 20 millisievertiä vuodessa, viiden vuoden keskiarvona. Yhden vuoden annos ei saa ylittää 50 millisievertiä. Efektiivisen annoksen raja, joka rajoittaa stokastisten vaikutusten riskiä, suojaa samalla deterministisiltä vaikutuksilta kaikissa muissa elimissä paitsi silmän mykiössä ja ihossa. Näille on sen vuoksi määritelty omat vuosiansosrajat: 150 millisievertiä mykiölle ja 500 millisievertiä iholle, käsille ja jaloille.

Jos efektiivisen annoksen raja on jonakin kautena ylittynyt, tämä ei sinänsä anna aiheutta työntekijää koskeviin ylimääräisiin rajoituksiin seuraavan kauden aikana. Sen sijaan valvovan viranomaisen on syytä selvittää kyseisen työpaikan säteilysuojelujärjestelmää ja muita olosuhteita, jotta syy selviää ja annosylityksiä voidaan vastaisuudessa välttää.

## Naiset säteilytyössä

ICRP ei suosittele erityistä annosrajaa tai suojelua naisille, jotka eivät ole raskaana. Kun raskaus on todettu, sikiötä on suojeltava ylimääräisiltä säteilyannoksilta: naisen alavatsan pinnalle tuleva ekvivalenttiannos ei saisi ylittää kahta millisievertiä loppuraskauden aikana, ja radionuklidien saanto saisi olla korkeintaan yksi kahdeskymmenesosa työntekijöiden vuosittaisesta saantorajasta. Rajat tähtäävät siihen, että sikiötä suojellaan samojen kriteereiden mukaan kuin muita ihmisiä, mikä takaa riittävän suojan stokastisilta vaikutuksilta. Deterministisiä sikiövaikutuksia ei esiinny, kun äidin annos pysyy työntekijöiden annosrajan alapuolella, riippumatta annoksen ajallisesta jakaumasta.

Lähdekohtaiset annosrajoitukset takaavat yleensä, että yllä mainitut rajat alitetaan ilman, että raskaana olevien naisten säteilytyötä tarvitsisi erityisesti rajoittaa. Pääsääntöiseksi kriteeriksi nousee silloin, että raskauden aikaiseen säteilytyöhön ei saisi liittyä huomattavaa poikkeavan altistuksen riskiä. Erikseen olisi määriteltävä, mitkä ovat sellaisia töitä, joihin liittyy suuret annokset ja kohonnut riski. Tätä on tulkittu Euroopan unionin direktiivissä siten, että raskauden aikana ei saa tehdä A-luokan säteilytyötä (vertaa kirja 3 luku 5).

## Lääketieteellinen altistus

Jokaiseen lääketieteelliseen altistukseen liittyy erikseen harkinta oikeutuksesta. Tavanomainen röntgentutkimus on yleensä aina oikeutettu, jos se on ylipäättänsä aiheellinen potilaan hoidon kannalta. Suuret, monimutkaiset tutkimukset ja hoidot vaativat enemmän harkintaa. Joskus sama tulos voidaan saavuttaa muilla menetelmillä. Sädehoito pahanlaatuisten tautien hoidossa on selvästi oikeutettu, jos sillä on saavutettavissa kliinistä hyötyä. Sen sijaan menneinä vuosina on käytetty paljon sädehoitoa myös hyvänlaatuisten tautien, kuten lasten päänahan silsan hoidossa (vertaa luku 7). Näissä tapauksissa säteilyn käyttö aivan ilmeisesti ei ollut oikeutettua. Joukkotutkimuksia suunniteltaessa täytyy tarkoin harkita, onko saavutettava kokonaisyöty suurempi kuin kollektiiviannoksesta koituva haitta. Erityinen eettinen ongelma nousee esille, jos altistunut ei itse saa toimenpiteestä suoraa hyötyä, kuten altistaessa terveitä vapaaehtoisia tieteellisessä tarkoituksessa tai röntgentutkimuksissa avustavina kiinnipitäjinä, tai kun tutkimusta pyytää vakuutusyhtiö tai oikeuslaitos.

Optimointi on säteilyn lääketieteellisessä käytössä tärkeä. Se koskee muun muassa kuvaustekniikkaa ja tähtää siihen, että tarvittava diagnostinen informaatio saadaan mahdollisimman pienillä annoksilla. Tähän tarkoitukseen ICRP suosittelee, että otetaan käyttöön kunkin tutkimuksen osalta vertailuarvot, jotka osoittavat, millä annoksella kyseinen tutkimus yleensä on toteutettava. Kymmenen vuotta ICRP 60:n julkaisun ilmestyttyä vertailuarvot on otettu käyttöön Euroopan unionissa ja niin myös Suomessa.

Lääketieteellinen altistus tuo yleensä suoraa hyötyä altistetulle yksilölle. Jos toiminta on optimoitu, annos määräytyy lääketieteellisestä tarpeesta. Annosrajoja ei tule soveltaa eikä lääketieteellisestä altistuksesta potilaana saatuja annoksia tule laskea mukaan, kun tarkastellaan työperäisen altistuksen tai väestöaltistuksen rajoja. Raskaana olevien naisten alavatsan röntgenkuvauksia tulee välttää, jollei tutkimukseen ole voimakas kliininen indikaatio.

## Väestöaltistuksen valvonta

Väestön altistusta pitää kontrolloida ensisijaisesti lähteen kohdalla. Suojelu perustuu lähdevalvontaan eikä henkilökohtaisen altistuksen seurantaan. Väestön altistus pitää ottaa huomioon, kun arvioidaan lähteen käytön oikeutusta ja kun suojelutoimet optimoidaan. Kollektiiviannoksella on tässä keskeinen merkitys. Lisäksi optimointi rajataan lähdekohtaisella annos-

rajoituksella. Usein on tarkoituksenmukaista määritellä kriittinen ryhmä, joka koostuu kyseisestä lähteestä eniten altistuvista ihmisistä. Annosrajoitusta sovelletaan kriittisen ryhmän keskiarvoon.

Väestölle on myös määrätty annosraja, joka on yksi millisievert vuodessa kaikesta säteilyaltistusta aiheuttavasta toiminnasta (praktiikasta) yhteensä. Myös potentiaalinen altistus on otettava huomioon. Sellaista altistusta, johon voi vaikuttaa ainoastaan interventiolla, kuten asuntojen sisäilman radon tai radioaktiiviset aineet ympäristössä, ei lasketa mukaan.

Yhden vuoden aikana voidaan sallia suurempia annoksia aina viiteen millisievertiin asti, kunhan keskiarvo viiden vuoden aikana ei ylitä yhtä millisievertiä. Annosraja edustaa IRCP:n mukaan sellaista riskiä, joka on juuri ja juuri hyväksyttävissä, kun kyseessä on jatkuva altistus valinnaisesta toiminnasta, josta altistunut itse ei saa mitään henkilökohtaista hyötyä. Tämä ei tarkoita, että suuremmat annokset muista lähteistä, kuten sisäilman radonista, eivät voisi olla hyväksyttävissä. Altistus näistä lähteistä voi olla ei-toivottu, mutta se ei ole valinnainen. Altistusta voidaan vähentää ainoastaan interventiolla, jolla on aina myös kustannuksensa.

Silmän mykiölle väestön vuosiannosraja on 15 mSv ja iholle 50 mSv. Tätä motivoidaan determinististen vaikutusten estämisellä, samoin kuin työntekijöiden vastaavia rajoja, vaikka jälkimmäiset ovat kymmenen kertaa korkeammat. Alhaisempia väestön annosrajoja voidaan puolustaa sillä, että altistuksen seuranta puuttuu ja sen vuoksi korkeampi turvamarginaali on paikallaan.

Väestön annosrajalla on lähinnä teoreettinen merkitys, koska yksilön kokonaisannoksen seuranta ei ole mahdollinen. Raja ohjaa kuitenkin sitä, millaisia annosrajoituksia yksittäisten lähteiden osalta tulee soveltaa. Yhdestä lähteestä ei saa aiheutua kriittiselle ryhmälle enemmän kuin murto-osa annosrajasta, koska yksilö voi altistua useammalle kuin yhdelle lähteelle. Lähdekohtainen annosrajoitus voi olla korkeintaan 0,3 millisievertiä vuodessa.

## Potentiaalinen altistus

Oikeutus- ja optimointiarvioinnissa olisi huomioitava myös potentiaalinen altistus eli poikkeavan tapahtuman mahdollisuus ja sen seuraukset. Toiminnan suunnitteluvaiheessa voidaan tehdä paljon sekä onnettomuuden todennäköisyyden että siitä aiheutuvien annosten vähentämiseksi.

Harkittaessa hyötyä ja haittaa potentiaalinen altistus olisi rinnastettava todelliseen altistukseen. Jos annokset olisivat alle annosrajojen, siinäkin tapauksessa että onnettomuus sattuisi, rinnastus voidaan sekä yksilön että kollektiivisen altistuksen suhteen tehdä yksinkertaisesti kertomalla potentiaalinen annos ja sen esiintymisen todennäköisyys. Jos annokset voisivat potentiaalisesti olla paljon korkeampia aiheuttaen deterministisiäkin vaikutuksia, numeerinen vertailu on hankalampi.

## Valvonnasta vapauttaminen

ICRP katsoo, että valvonnan ulkopuolelle voidaan jättää lähteitä, joista sekä yksilöannokset että kollektiiviannokset jäävät aina pieniksi. Lähde, josta eniten altistunut yksilö voi saada enintään kymmenen mikrosievertiä vuodessa, ja josta aiheutuva kollektiiviannos samalla voi olla enintään yksi mansievert vuodessa, voidaan vapauttaa valvonnasta. Niinikään valvonnan ulkopuolella ovat sellaiset altistukset, joihin ei voi vaikuttaa, kuten avaruussäteily maan pinnalla sekä elimistön sisältämät luonnon radionuklidit. Sen sijaan ICRP ei ole halunnut suositella, että määriteltäisiin pienin yksilöannos, jonka alapuolella kollektiivista annosta ei tarvitsisi koskaan ottaa huomioon. Radioaktiivisten jätteiden käsittely saattaa aiheuttaa pieniä yksilöannoksia hyvin laajalla alueella, ja näin aiheutuva kollektiivinen annos saattaa olla yksi huomionarvoinen tekijä, kun tehdään valinta eri vaihtoehtojen välillä.

## KIRJALLISUUTTA

International Commission on Radiological Protection. 1990 Recommendations of the International Commission on Radiological Protection. ICRP Publication 60. Oxford: Pergamon Press, 1991.

Committee on the Biological Effects of Ionizing Radiation. Health Effects of Exposure to Low Levels of Ionizing Radiation. BEIR V. Washington DC: National Academy Press, 1990.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 1994 Report. New York: United Nations, 1994.