

SÄTEILY- JA YDINTURVALLISUUSKATSAUKSIA



Säteilyn terveysvaikutukset

Säteilyn terveysvaikutukset

Ionisoiva säteily on peräisin radioaktiivisista aineista tai säteilyä synnyttävästä laitteesta, kuten röntgenlaitteista. Ionisoiva säteily muodostuu hiukkasista tai foneista, joiden energia on niin suuri, että ne pystyvät yksitellenkin rikkomaan solun perimäkoodia kantavan DNA-ketjun. Matkapuhelimen tai mikroaaltouunin säteily ovat esimerkkejä ionisoimattomasta säteilystä, jonka vaikutustapa on erilainen. Tämä katkaus keskittyy ionisoivan säteilyn vaikutuksiin.

Säteilyaltistus erilaisista lähteistä

Maaperä sisältää luonnostaan radioaktiivisia aineita, joista aiheutuu taustasäteilyä. Avaruudesta tulee säteilyä, ja myös ihmisen keho sisältää luonnon radioaktiivisia aineita, joista aiheutuu jatkuvaa säteilyaltistusta. Tätä luonnon altistusta ei voi välttää eikä se vaihtelee paljoakaan eri ihmisten välillä. Tätä selvästi suurempi säteilyannos aiheutuu sisäilman radonkaasusta. Radonaltistus vaihtelee suu-

resti ihmisten välillä, ja siihen voi vaikuttaa hyvinkin paljon.

Tshernobyl-turman laskeuma sekä 1960-luvulla tehdyt ydinkokeet ovat jättäneet luontoomme keinotekoisia radioaktiivisia aineita, etenkin cesiumia, josta edelleen tulee keskimäärin yhden prosentin verran vuotuisesta kokonaisannoksestamme.

Säteilyn käyttö lääketieteessä ja teollisuudessa aiheuttaa keskimäärin pienemmän annoksen kuin luonnonsäteily.

Säteilyn käyttöön liittyy kuitenkin myös onnettomuuden ja suuren äkillisen altistuksen vaara. Suoran säteilyvamma vaara liittyy pelkästään voimakkaisiin keinotekoisiiin lähteisiin, ei luonnonsäteilyyn.

Säteilyn vaikutukset ovat kahdenlaisia

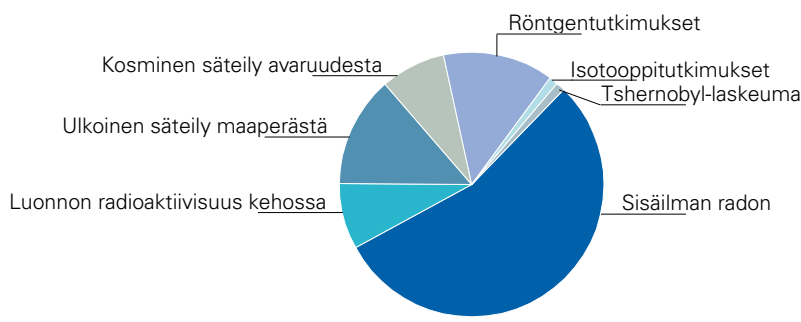
Säteilyn terveysvaikutukset voidaan jakaa kahteen ryhmään: suorat ja satunnaiset vaikutukset.

Suorat vaikutukset ovat varmoja haittavaikutuksia, kudosisvaurioita, jotka johtuvat laajasta solutuhosta.

Satunnaiset vaikutukset ovat tilastollisia haittavaikutuksia, jotka johtuvat perimämuutoksesta yhdessä solussa.

Säteily voi tappaa eläviä soluja. Jatkuvasti uusiutuvat kudokset, kuten iho, limakalvot ja luuydin, vaurioituvat herkästi korkean säteilyannoksen seurauksena. Pienempi altistus voi aiheuttaa solukuolemaa. Tästä ei kuitenkaan välttämättä seuraa varsinaista haittaa terveydelle, koska ympäröivät solut jakautuvat ja korvaavat menetettyjä soluja. Käytännössä voidaankin puhua säteilyannoksen kynnsarvosta, jonka alapuolella ei synny kudosisvauriota. Kun kynnsarvo ylittyy, vaurio pahenee nopeasti annoksen kasvaessa. Kynnsarvo riippuu ratkaisevasti annosnopeudesta. Korkeakaan säteilyannos ei välttämättä aiheuta terveydelle haittaa, jos annos on kertynyt hitaasti pitkän ajan kuluessa.

Solukuolemasta aiheutuneet vaikutukset ilmenevät yleensä suhteellisen nopeasti säteilyaltistuksen jälkeen. Vaikutus ei kuitenkaan ilmene aivan välittömästi eikä



Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos on noin 3,7 millisievertiä vuodessa. Noin puolet tästä annoksesta aiheutuu sisäilman radonista. Lisäksi luonnon taustasäteilystä aiheutuu keskimäärin 30 prosenttia ja säteilyn käytöstä terveydenhuollossa noin 15 prosenttia. Vuonna 1986 tapahtuneen Tshernobylin ydinvoimalaitosonnettomuuden seurauksena radioaktiivisia aineita levisi myös Suomeen. Tshernobyl-laskeumasta aiheutuva keskimääräinen annos on alle prosentti suomalaisen vuosittain saamasta annoksesta.

meillä ole aistia, joka varoittaisi säteilyaltistuksesta. Tämä lisää vakavan onnettomuuden vaaraa.

Suoran kudosisaurion vaara liittyy tapaturmaiseen altistukseen. Säteihoidossa säteilyn soluja tappavaa vaikutusta käytetään hyödyksi syöpäsolujen tuhoamiseksi. Pienillä annoksilla ei ole tällaista vaikutusta. Sen sijaan pienikin säteilyannos voi aiheuttaa muutoksia solujen perimässä ja sitä kautta johtaa myöhemmin syövän syntymään tai jälkeläisissä ilmenevään geneettiseen haittaan.

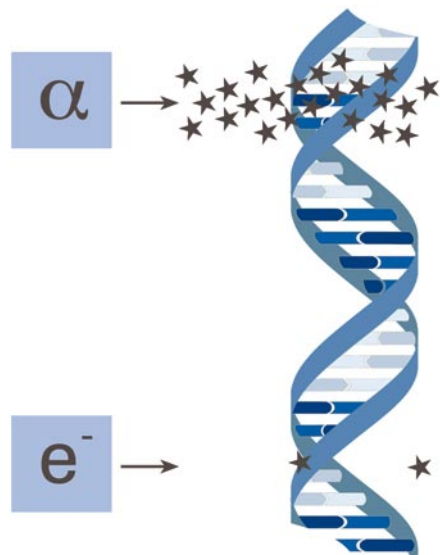
Annosnopeuden vaikutus satunnaishaitan riskiin ei ole suuri. Annoksen kasvaessa sairauden todennäköisyys kasvaa, mutta sairauden sattuessa haitta-aste ei lisäännä annoksen mukana. Vaikka annos olisi kohtalaisen korkea, altistuneen yksilön riski saada säteilystä syöpä on pieni verrattuna siihen, että syöpä on yleinen sairaus ilman säteilyäkin. Jos kuitenkin iso määrä ihmisiä altistuu, ylimääräisten syöpätapausten määrä saattaa laskennallisesti olla suuri, vaikka tämä ei tulisi ilmi syöpätilastoissa.

Säteilyn vaikutus saa alkunsa DNA-molekyylissä

DNA-molekyylillä on rakenne, joka jokaisessa solussa kantaa ihmisen perimän. DNA sijaitsee solun tumassa kromosomien muodossa. DNA-molekyylillä koostuu kaksoiskierteestä, jossa toinen ketju on toisen ”peilikuva”. Kun solu jakautuu, DNA-molekyylillä kopioituu tarkasti kumpaankin tytärsoluun.

Yksi ainoa ionisoiva säteilyn hiukkanen tai fotoni riittää aiheuttamaan DNA-molekyylin katkoksen. Jos vain toinen säie menee poikki, solu pystyy useimmiten ehjän säikeen avulla korjaamaan katkoksen virheettömästi. Jos sen sijaan molemmat säikeet katkeavat lähellä toisiaan, korjaus ei useinkaan onnistu täydellisesti, vaan perimäkoodiin jää virhe.

Kromosomista saattaa myös irrota kokonainen pala, joka voi kiinnittyä uudestaan vieraaseen paikkaan kromosomistossa tai hävitä kokonaan solun jakautuessa. Laajat kromosomikatkokset johtavat helposti solun kuolemaan.



DNA-molekyylillä koostuu kaksoiskierteestä. Yksi ainoa ionisoiva säteilyn hiukkanen tai fotoni riittää aiheuttamaan DNA-molekyylin katkoksen. Kuvassa on eri säteilylajien aiheuttamat ionisaatioiden tiheydet DNA:ssa.

α = alfa-hiukkasen kulkureitti
 e^- = elektronin kulkureitti
 tähti = ionisaatio

Suomalaisen keskimääräinen säteilyannos vuodessa (mSv)	
Sisäilman radon	2
Luonnon radioaktiivisuus kehossa	0,4
Ulkoisen säteilyn maaperästä	0,45
Kosminen säteily avaruudesta	0,3
Lääketieteelliset röntgentutkimukset	0,5
Lääketieteelliset radioisotooppitutkimukset	0,03
Ydinasekokeet ja Tshernobyl-laskeuma	0,02
Yhteensä	3,7

Perimäkoodin avulla solu rakentaa valkuaisaineita, jotka määräävät, mitä solussa tapahtuu. Jos perimäkoodissa on virhe, syntyy valkuaisainekin on virheelinen eikä toimi niin kuin pitäisi. Jos taas valkuaisaineen rakennekoodi sinänsä on oikea, mutta se on siirtynyt väärään paikkaan, sen säätely saattaa muuttua. Se saattaa silloin kytkeytyä päälle väärään aikaan tai toimia liian vilkkaasti. Jos tällainen virheelinen solu jakautuu, perimäkoodin virhe siirtyy tytärsoluihin. Näin voi syntyä kokonainen solukko, jossa jokainen solu on samalla tavalla virheelinen. Myöhempien perimämuutosten kautta tästä saattaa aikanaan kehittyä syöpäkasvain, jonka solut jakautuvat ilman kontrollia.

Koska yksittäinen säteilyosuus riittää aiheuttamaan virheen yhden solun perimään, ei voida puhua ”pienestä säteilyannoksesta” siinä kohdassa, missä vaurio syntyy. Jos säteilyannos kudostasolla

on pieni, osumia DNA-molekyylien kriittisiin kohtiin on harvassa. Silloin on hyvin pieni todennäköisyys, että altistuksesta koskaan syntyyi terveyshaitta. Sen sijaan mikään säteilyannos ei ole niin pieni, ettei se periaatteessa pystyisi aiheuttamaan haittaa. Käytännössä useimmat DNA-vauriot kuitenkin eivät tule koskaan ilmi. Suuri osa DNA-molekyylistä ei sisällä mitään tärkeää tietoa eikä muutos tällaisessa kohdassa johda terveyshaittaan. Lisäksi monet ihmisen soluista eivät koskaan jakaudu, jolloin virhe yhdessä solussa ei myöskään koskaan tule näkyviin.

Jokainen säteilyannos lisää kokonaissyöpäriskiä hiukan, vaikka annos olisi miten pieni tahansa. Rajaa turvallisen ja vaarallisen säteilyannoksen välille ei voi asettaa. Pieni annos aiheuttaa äärimmäisen pienen riskin, mutta riski ei ole nolla, jos ei säteilyannos ole nolla – ja sitä se ei koskaan ole. Jokainen meistä altistuu säteilylle joka hetki eikä elimistö

osaa erottaa luonnonsäteilyä ja keinotekoisista säteilyä toisistaan. Osan kaikista syöpäkasvaimista on varmasti aiheuttanut säteily, useimmiten luonnonsäteily. Emme vain osaa sanoa mitkä.

Esimerkkejä suorista haittavaikutuksista

Säteilyaltistuksen seuraus riippuu muun muassa siitä, onko koko keho altistunut vai rajoittuuko altistus johonkin elimeen, kuten määrättyyn ihoalueeseen. Kokokeholtistuksessa suoran vaikutuksen kynnsarvo on noin 0,5 sievertiä, kun taas paikallinen altistus voi olla kymmenen kertaa korkeampi ennen kuin säteilyvamma ilmenee.

Säteily sairaus on hengenvaarallinen tila, joka seuraa suuresta äkillisestä kokokeholtistuksesta. Säteily sairaudessa luuydin tuhoutuu, ja kaikista verisoluista tulee puute. Lisäksi suoliston limakalvo vaurioituu ja suolistoon syntyy haavaumia. Tällaiset tapaukset

Suorien vaikutusten säteilyannoksen kynnsarvoja. Pienemmällä annoksella vaikutus ei ilmene.	
	Vaikutus
Kokokehooannos	
0,5 sievert	Verenkuvan muutos muutaman päivän sisällä
1 sievert	Pahoinvointia muutaman tunnin sisällä
4 sievert	Hengenvaarallinen annos. Henkilö voidaan pelastaa hyvällä hoidolla.
10 sievert	Henkeä ei voi pelastaa parhaallakaan hoidolla
Paikallinen ihoannos	
6 sievert	Punoitus muutaman tunnin sisällä
15 sievert	Rakkuloita parin viikon kuluttua
20 sievert	Kuolio
Sikiöannos	
100 millisievert	Vaikutusta aivojen toimintaan
0,5 sievert	Vakava henkinen jälkeenjääneisyys

Säteilyn suorat vaikutukset

Säteily sairaus, palovamma, sikiövaurio

- Johtuvat laajasta solukuolemasta
- Ilmaantuvat yleensä lyhyen ajan sisällä
- Säteilyannoksella on kynnyсарvo, jonka alapuolella haittaa ei synny
- Jos kynnyсар ylittyy, haitta on varma
- Haitan vaikeusaste nousee annoksen kasvaessa
- Vaikutukset liittyvät suuriin äkillisiin altistuksiin
- Annosnopeus on tärkeä. Jos altistus on pitkittynyt, kynnyсарvo on korkeampi
- Haitta voidaan yhdistää tiettyyn altistukseen

Säteilyn satunnaiset vaikutukset

Syöpä, perinnöllinen haitta

- Saavat alkunsa perimämuutoksesta yhdessä solussa
- Tulevat ilmi vasta useita vuosia altistuksen jälkeen
- Esiintyvät satunnaisesti
- Ei ole kynnyсарvoa, jonka alapuolella haitta ei voi syntyä
- Haitan todennäköisyys kasvaa kokonaisannoksen kasvaessa
- Haitta-aste ei kasva annoksen mukana
- Annosnopeus ei vaikuta riskiin paljon
- Yksilön riski on pieni korkeinkin annoksen jälkeen
- Haittaa ei voida yleensä yhdistää tiettyyn altistukseen
- Haitta voidaan arvioida väestöaltistuksesta, vaikka sairauden lisäystä ei näkyisi tilastoissa

ovat perin harvinaisia eikä sel- laista ole Suomessa sattunut kos- kaan. Muualla maailmassa on sen sijaan sattunut säteily sairauteen johtavia onnettomuuksia ja myös kuolemantapauksia. Tshernobylin ydinturmassa laitoksen henkilö- kunnan ja palomiesten joukossa säteily sairauteen sairastui tois- ta sataa henkilöä, ja heistä 28 menehtyi parin kuukauden sisällä. Sen sijaan Tshernobylin ydin- laskeumalle altistuneen väestön joukossa kukaan ei saanut niin korkeata annosta, että olisi kehit- tynyt säteily sairaus. Yli yhden sievertin äkillinen kokokehoannos

johtaa säteily sairauteen, ja yli nel- jän sievertin annos on hengenvaa- rallinen. Yli kymmenen sievertin kokokehoannoksen jälkeen henkeä tuskin voi pelastaa parhaallakaan hoidolla. On laskettu, että pahin- kaan mahdollinen ydinvoimalaitos- onnettomuus naapurimaassa ei voi aiheuttaa säteily sairautta Suomessa.

Palovamma on toinen tärkeä säteilyyn liittyvä vaara. Jos voimakas säteily lähde joutuu suo- raan kosketukseen ihon kanssa, lyhytaikainenkin kontakti riittää aiheuttamaan palovamman. Kuitenkaan vamma ei tule ilmi

heti eikä altistusta edes pysty aistimaan, toisin kuin kosket- taessa kuumaan esineeseen. Vasta useiden tuntien jälkeen altistunut ihoalue rupeaa punoittamaan, ja varsinaisten palorakkuloiden kehittyminen vie pari viikkoa. Tällöin ei välttämättä enää selviä, mikä on ollut vamman aiheuttaja. Jos säteily annos on ollut kovin korkea, saattaa vielä kuukausien kuluttua syntyä uusia haavaumia, kun ihoalueen verisuonet arpeutu- vat ja menevät kokonaan umpeen.

Tällaisten voimakkaiden säteily- lähteiden käyttöä on valvottava tarkkaan, jotta lähde ei joutuisi



Teollisuudessa käytetään metallisaumojen kuvaukseen hyvin voimakkaita säteilylähteitä, joita on käsiteltävä pelkästään kauko-ohjauksessa. Kuvassa lyijykynän kokoinen iridiumlähde. Maailmalla on sattunut vakavia onnettomuuksia, kun tietämätön henkilö on löytänyt lattialle tippuneen lähteen ja laittanut sen taskuunsa. Lopputuloksena saattaa olla raajan amputointi.

vahingossa tietämättömien ihmisten käsiin. Vakavia onnettomuuksia on sattunut maissa, joissa viranomaisvalvonta ei toimi riittävän hyvin ja lähteitä käyttävien koulutus on puutteellista. Länsi-Euroopassa vakavat onnettomuudet ovat hyvin harvinaisia. Suomessa sellaista ei ole koskaan sattunut.

Säteily ja syöpä

Säteilysuojelussa on tärkeä varmistaa, ettei kukaan altistu voimakkaalle säteilylähteille tai muulla tavalla niin korkeille annoksille, että suorat haitat olisivat mahdollisia. Käytännössä mahdolliset säteilyannokset jäävät kuitenkin yleensä paljon alle suorien haittojen kynnsarvojen. Tällöin suojelutoimet tähtäävät ensi kädessä siihen, että syöpäriski pysyisi mahdollisimman pienenä. Perinnöllisen haitan riski tulee samalla huomioiduksi.

Useimmat syöpälajit voivat syntyä säteilystä. Tämä on saatu selville seuraamalla laajoja säteilylle altistuneita ihmisryhmiä usean vuosikymmenen ajan. Jos

sen sijaan yksi säteilylle altistunut ihminen sairastuu syöpään jossakin elämänsä vaiheessa, ei voida tietää, onko juuri tämä kasvain säteilyn aiheuttama. Syöpä on hyvin yleinen tauti, eikä säteilyn aiheuttamaa syöpää voida erottaa muulla tavalla syntyneestä syövästä. Vaikka henkilö olisi altistunut melko suurellekin annokselle, vanhemmalla iällä ilmenevä syöpä todennäköisesti ei ole säteilyn aiheuttama. Säteily aiheuttaa vain pienen tilastollisen lisän yleiseen syöpäsairastuvuuteen. Syöpä ilmaantuu vasta vuosia altistuksen jälkeen, mutta ylimääräinen riski säilyy koko loppuelämän.

Syöpäriskin arvio perustuu ennen kaikkea Japanissa toisen maailmansodan lopussa atomipommille altistuneisiin, eloonjääneisiin ihmisiin. Heidän säteilyannoksensa on mahdollisimman hyvin arvioitu. Ryhmän syöpäsairastuvuutta ja syöpäkuolleisuutta seurataan vielä tänä päivänä, sillä suurin osa lapsina tai nuoruudessa altistuneista on vielä elossa. Jotkut altistuvat korkeille säteilyannoksille

mutta jäivät säteilynsairaudesta huolimatta eloon. Enemmistö kuitenkin sai melko pieniä annoksia, joista ei seurannut mitään oireita varhaisvaiheessa. Lisääntynyt syöpäriski silti näkyy edelleen. Leukemian määrä nousi jo pari vuotta altistuksen jälkeen. Eniten tapauksia ilmaantui 5–10 vuotta altistuksesta, jonka jälkeen ylimäärä on vähentynyt. Kiinteät syöpäkasvaimet sen sijaan alkoivat yleistyä vasta 5–10 vuotta altistuksen jälkeen, mutta myöhemmin ylimääräisiä tapauksia on tullut yhä enemmän.

On käynyt ilmi, että säteilyn aiheuttama syöpä lisääntyy sitä mukaa kun altistunut ryhmä vanhenee ja syöpä muistakin syistä yleistyy. Säteily aiheuttaa altistuneelle ihmiselle suhteellisen lisäriskin, joka saattaa pysyä melkein vakiona elämän loppuun asti. Jos korkea säteilyannos kaksinkertaistaa syövän riskin, tämä ei vielä tee syöpää tavalliseksi nuoruuden aikana, mutta vanhalla iällä asia muuttuu.

Pari esimerkkiä valaisee suhteellisen riskin merkitystä.

Jos rintasyövän riski kaksinkertaistuu, sen merkitys on naisille aivan eri suuruusluokkaa kuin miehille. Samoin jos keuhkosyöpä-riski kaksinkertaistuu korkean säteilyaltistuksen seurauksena, tupakoivien ja tupakoimattomien säteilyriskin välillä on valtava ero. Radonkaasun aiheuttama keuhkosyöpäriski painottuu hyvin selkeästi tupakoitsijoihin. Radon aiheuttaa Suomessa arviolta noin 300 keuhkosyöpää vuodessa, suurin osa tupakoitsijoille.

Jos suuri joukko ihmisiä altistuu säteilylle, ylimääräisten syöpätapausten määrä voi olla hyvin merkittävä, vaikka yksilö-annokset olisivat pieniä. Kollektiivisella annoksella kuvataan ryhmän kokonaisaltistusta. Tällöin huomioidaan sekä yksilöiden säteilyannokset että altistuneiden määrä. Kollektiivinen annos saadaan, kun altistuneiden ihmisten

keskimääräinen säteilyannos kerrotaan ihmisten lukumäärällä. Kollektiivisen annoksen yksikkö on mansievert. Samaan lukuarvoon päästään laskemalla yhteen kaikkien altistuneiden annokset. Tämän luvun avulla voi karkeasti arvioida altistuksen kokonaismerkitystä syöpäkuolemina. Syöpäkuolemien lisäys jää silti useimmiten pelkästään laskennalliseksi, koska pienten yksilöannosten jälkeen lisätapaukset seuraavien vuosikymmenien aikana eivät tilastollisesti erotu taustasta.

Kansainvälinen säteilysuojelutoimikunta (ICRP) on arvioinut, että syöpäkuolemien kokonaisriski kroonisen säteilyaltistuksen seurauksena väestössä, joka koostuu kaikenikäisistä ihmisistä, on 5 prosenttia mansievertiä kohti. Jos 1000 ihmistä altistuu, kukin keskimäärin 100 millisievertin säteilyannokselle, kollektiivinen

annos on 100 mansievertiä. Sama kollektiivinen annos syntyy, jos 10 000 ihmistä saa 10 millisievertin annoksen. Arvion mukaan kummassakin tapauksessa tästä seuraa pitkän ajan kuluessa viisi ylimääräistä syöpäkuolemaa. Koska viidesosa kaikista ihmisistä kuolee aikanaan syöpään muista syistä, pientä ylimäärää ei voida havaita. Riskilukua ei voi soveltaa yksittäisiin ihmisiin, koska ikä ja muut ominaisuudet vaikuttavat riskiin paljon. Lapsena tapahtunut altistuminen aiheuttaa suuremman riskin, ja vanhusten riski on huomattavasti alhaisempi.

Syöpätapausten määrän arvio koko väestön altistuksen perusteella nojautuu lineaariseen riskimaliin, jonka mukaan syöpäriski on suoraan verrannollinen säteilyannokseen. Riski annosyksikköä kohden on tällöin sama, oli kyse pienestä tai suuresta annoksesta.



Voimakkaan säteilylähteen aiheuttama palovamma kuusi viikkoa altistuksen jälkeen. Lähde oli käsitelty metalliromuna. Vuosi myöhemmin peukalo jouduttiin amputoimaan.

Useimmat suuremmilla annoksilla tehdyt havainnot tukevat tätä mallia, mutta hyvin pienten annosten osalta tilastollista näyttöä riskin todellisesta suuruudesta ei voi saada. Toisten mielestä lineaarinen malli yliarvioi syöpäriskiä pienillä annoksilla, toisten mielestä taas riski annosyksikköä kohti voi pienillä annoksilla olla jopa suurempi.

Vaikka pienten säteilyannosten aiheuttama syöpäriski ei yleensä näy tilastollisesti, tämä ei aina koske lapsia. On käynyt ilmi, että säteilyaltistus varhaislapsuudessa tai jopa kohdussa saattaa aiheuttaa syöpää jo siinä iässä, kun syöpä muista syistä on hyvin harvinainen. Tällöin tilastollinen lisä saattaa tulla näkyviin, vaikka yksittäisen altistuneen lapsen riski on pieni. Tämä nähtiin Tshernobylin laskeumalle pahiten altistuneissa maissa Valko-Venäjällä, Ukrainassa ja Länsi-Venäjällä.

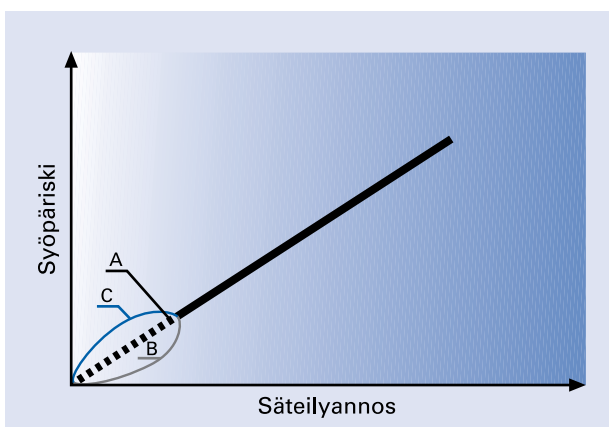
Laskeumassa oli radioaktiivista jodia, joka kulkeutui ihmisiin hengitysilman ja ruuan, etenkin maidon, mukana. Radioaktiivinen jodi hakeutuu nopeasti kilpirauhaseen, joka näin saa suuremman säteilyannoksen kuin mikään muu elin. Altistuneita lapsia on näissä maissa yhteensä melkein kolme miljoonaa. Jo neljä vuotta onnettomuuden jälkeen havaittiin, että kilpirauhassyöpä lasten keskuudessa oli yleistynyt moninkertaisesti. Vuoteen 2002 mennessä yli tuhat alle 15-vuotiasta lasta oli sairastunut, joukossa paljon sellaisiakin, joiden säteilyannos ei ollut kovin suuri. Suurin osa potilaista on toipunut, mutta yli kymmenen lasta on kuollut. Kilpirauhassyöpä olisi ollut ehkäistävässä, jos lapset olisivat saaneet joditabletteja ajoissa ja jos saastuneen maidon käyttö olisi tehokkaasti estetty. Näiden kolmen maan ulkopuolella lasten kilpirauhassyövän ei ole

todettu yleistyneen Tshernobylin onnettomuuden seurauksena.

Perinnöllinen haitta

Perinnöllinen haitta voi syntyä, jos altistuneen ihmisen sukusoluun syntyy perimämuutos ja tästä solusta aikanaan kehittyy lapsi. Silloin muutos esiintyy jokaisessa lapsen solussa ja periytyy myös lapsen jälkeläisille. Mahdolliset seuraukset terveydelle riippuvat siitä, millainen muutos on kyseessä. Tällaisia muutoksia syntyy joka sukupolvessa aivan itsestäänkin, eikä säteilyn mahdollisesti aiheuttamia muutoksia voi erottaa itsestään syntyvistä (spontaaneista) muutoksista. Säteily ei siis aiheuta jälkeläisissä mitään sellaisia outoja piirteitä, joita ei voisi esiintyä väestössä muutoinkin.

Eläinkokeissa on selvästi osoitettu, että säteily voi aiheuttaa perinnöllisiä muutoksia. Riski on



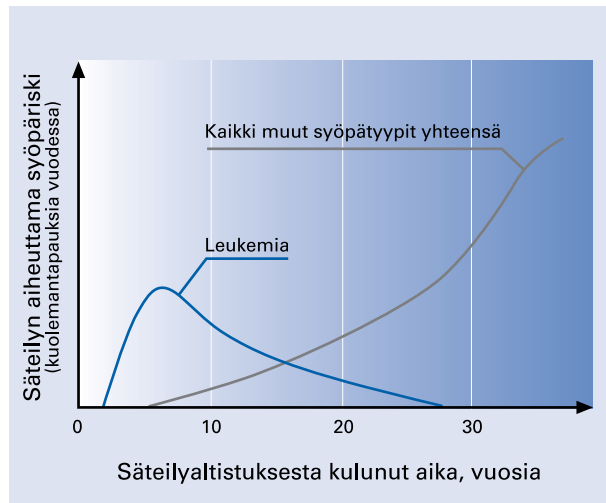
Syöpäriski kasvaa säteilyannoksen mukana.

Käyrä A mukaan annosvaste on lineaarinen eli syöpäriski on suoraan verrannollinen säteilyannokseen.

Käyrä B: Pienillä annoksilla syöpäriski annosyksikköä kohti on alhaisempi kuin suurilla annoksilla. Lineaarinen malli yliarvioi pienten annosten riskiä.

Käyrä C: Pienillä annoksilla syöpäriski annosyksikköä kohti on suurempi kuin suurilla annoksilla. Lineaarinen malli aliarvioi pienten annosten riskiä.

Hiroshiman ja Nagasakin pommituksissa säteilylle altistuneiden ihmisten joukossa leukemiamäärä nousi jo kaksi vuotta altistuksen jälkeen. Huippu saavutettiin 5–10 vuoden kuluttua altistuksesta, minkä jälkeen määrä on laskenut. Kiinteiden kasvainten määrä nousi vasta 5–10 vuoden jälkeen.



kuitenkin huomattavasti pienempi kuin syöpäriski. Virheelliset sukusolut tai alkiot karsiutuvat helposti pois, jolloin niistä ei kehity jälkeläisiä.

Säteily ja raskaus

Raskaudenaikainen säteilyaltistus saattaa herättää pelkoa siitä, että altistus aiheuttaisi sikiölle kehitysvamman. Kehittyvä sikiö onkin herkkä säteilylle, koska sikiön solujen jakautuminen on vilkasta ja säteily voi aiheuttaa solutuhoa. Ei ole kuitenkaan mitään näyttöä siitä, että pieni säteilyannos voisi satunnaisesti aiheuttaa sikiölle ison vamman. Säteilyn vaikutus sikiöön riippuu säteilyannoksesta, annosnopeudesta sekä raskauden vaiheesta.

Altistus on voinut tapahtua

jo ennen kuin raskaus on ollut tiedossa. Pari päivää hedelmöityksen jälkeen kehittyvä alkio koostuu vain muutamasta solusta. Teoriassa säteilyaltistus tässä vaiheessa voisi aiheuttaa yhteen soluun perimämuutoksen, josta seuraisi kehitysvamma. Tätä ei ole kuitenkaan pystytty osoittamaan eläinkokeissa. Sen sijaan korkea säteilyannos hyvin varhaisessa vaiheessa johtaa helposti alkion kuolemaan. Ihmisellä se tarkoittaisi, että raskaus keskeytyy ennen kuin se on edes todettu. Luonto karsii tehokkaasti epäonnistuneet hedelmöitystuotteet. Arviolta jopa puolet kaikista alkaneista raskauksista keskeytyy jo ennen kuukautisten poisjäämistä, koska kehitys on jostakin syystä menossa vinoon.

Jos naiselle on tehty alavatsan röntgentutkimus ja myöhemmin ilmenee, että raskaus olikin alkamassa, ei ole syytä pelkoon. Jos raskaus jatkuu eikä keskenmeno tule, on lapsi kaiken todennäköisyyden mukaan täysin terve.

Kahden viikon kuluttua hedelmöityksestä (raskausviikolla 4), kun kuukautiset jäävät pois, alkion soluja on jo niin paljon, että satunnainen perimämuutos yhdessä solussa ei pysty johtamaan kehitystä väärään suuntaan. Tästä eteenpäin ainoastaan merkittävä solutuho tai muu moniin soluihin vaikuttava häiriö voi haitata kehitystä. Näin voi tapahtua, jos säteily ylittää tietyn vähimmäismäärän eli kynnyksarvon. Tämä kynnyksarvo riippuu sikiön kehitysvaiheesta sekä säteilyn laadusta ja

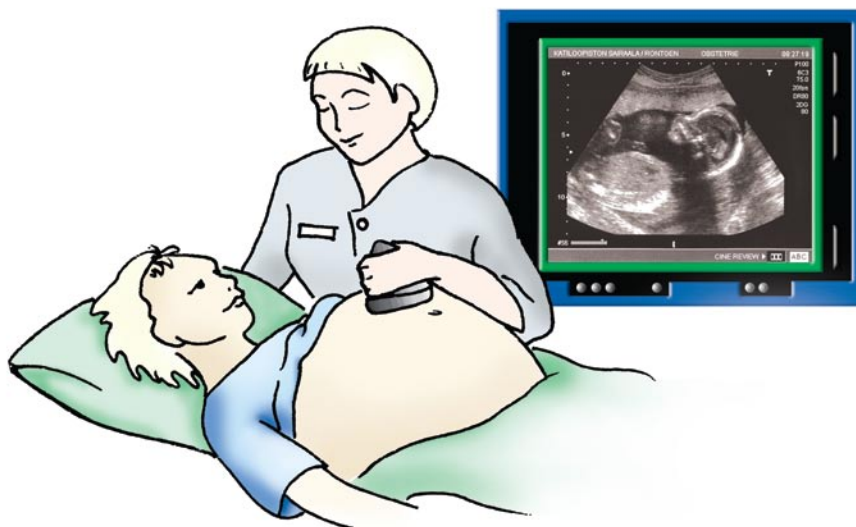
annosnopeudesta. Kehitysvaiheesta riippuu myös se, millainen kehityshäiriö altistuksesta seuraa.

Raskausviikot 5–9 ovat vilkkaan kehityksen aikaa, jolloin kaikkien elinten pääpiirteet muotoutuvat. Tänä aikana erilaiset ulkoiset tekijät voivat aiheuttaa epämuodostumia ja muita kehityshäiriöitä. Säteily vaurioittaa ensisijaisesti kehittyvää keskushermostoa. On kuvattu lapsia, joiden äidit ovat saaneet sädehoitoa raskauden alkuvaiheessa, jolloin sikiökin on saanut usean sievertin säteilyannoksen. Tällainen lapsi on yleensä pienikokoinen ja vakavasti jälkeenjäänyt. Sillä on pieni, pyöreä pää ja usein myös pienet silmät. Joillakin lapsilla on ollut

myös muita häiriöitä, kuten harmaakaihia, muita silmämuutoksia, luustomuutoksia tai sukuelinten muutoksia. Kuitenkaan ei ole koskaan kuvattu sellaista säteilyaltistukseen liittyvää kehitysvammaa, johon ei samalla liittyisi myös henkistä jälkeenjääneisyttä, pienipäisyyttä tai yleistä kasvuhäiriötä. Näitä voidaankin pitää säteilyvamman merkkivaurioina. Jos lapsella ei ole mikään näistä, mahdollista muuta kehityshäiriötä ei tulisi pitää säteilyn aiheuttamana, vaikka raskauden aikana olisi tapahtunut säteilyaltistus. Usealla prosentilla syntyvistä lapsista on jokin pieni kehityshäiriö, jonka syytä yleensä ei voida osoittaa.

Raskausviikkoina 10–40 sikiö kasvaa ennen kaikkea kooltaan. Keskushermoston kehitys jatkuu kuitenkin vilkkaana etenkin tämän kauden alussa. Hermosolut jakautuvat ja vaeltavat viimeisen jakautumisen jälkeen lopullisiin paikkoihinsa, joissa ne eivät enää pysty jakautumaan. Jatkossa solut kasvavat vain kooltaan, niistä kasvaa ulokkeita ja ne muodostavat hermoyhteyksiä naapurisoluihin.

Hermostolujen jakautuminen ja vaeltaminen on tarkkaan ohjattu tapahtumasarja, joka on altis säteilyn aiheuttamalle häiriölle. Raskausviikkoina 10–17 keskushermosto vaurioituu säteilystä kaikkein herkimmin. Suhteellisen



Raskauden aikana lantion röntgen-tutkimuksia on vältettävä. Korvaavina menetelminä käytetään ultraäänitutkimusta tai magneettikuvausta.

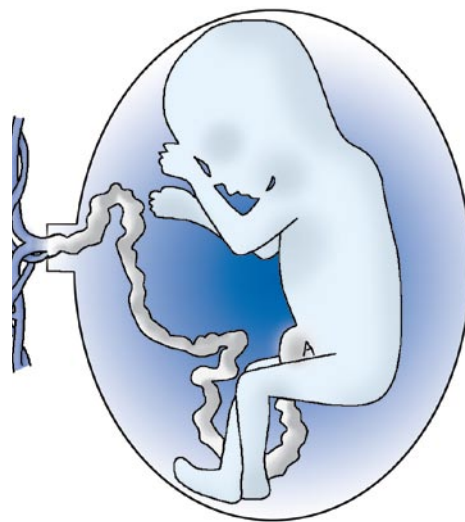
alhainen säteilyannos, mahdollisesti jopa alle 100 millisievertiä, voi tänä aikana aiheuttaa pieni-päisyyttä ja vähäistä älykkyyden alenemista. Korkeampi annos (yli 0,5 sievertiä) aiheuttaa usein vakavaa jälkeenjääneisyyttä. Raskausviikkoina 18–27 altistuneilla vakavaa jälkeenjääneisyyttä on todettu vasta yli yhden sievertin annoksen jälkeen. Loppuraskauden aikana ei ole enää todettu säteilyn aiheuttavan kehityshäiriötä.

Laajassa alavatsan röntgentutkimuksessa sikiö voi saada usean kymmenen millisievertin säteilyannoksen. Tällainen annos ei voi satunnaisesti aiheuttaa isoja epämuodostumia kehittyviin elimiin. Keskushermoston vilkkaimman kehityksen aikana (raskausviikot 10–17) näin korkea annos voisi mahdollisesti jossakin määrin vaikuttaa toimivien hermosolujen lopulliseen määrään ja sitä kautta myös älykkyyteen. Vaikutus on kuitenkin siinä tapauksessa niin heikko, että sitä ei ole pystytty toteamaan tutkituissa väestöryhmissä.

Sikiö voi saada säteilyaltistuksesta myös satunnaisen haitan. Satunnainen perimämuutos yhdessä solussa missä tahansa sikiökehityksen vaiheessa saattaa

luoda solukloonin, jossa syntyy syöpä normaalia helpommin joko lapsuudessa tai myöhemmin sen takia, että ensimmäinen askel kohti syöpää on jo otettu. Riski saada syöpä lapsuusiässä raskaudenaikaisen säteilyaltistuksen jälkeen on arviolta kuusi prosenttia sievertiä kohti. Jos sikiö on saanut 10 millisievertin annoksen, lapsuudenaikaisen syövän riski olisi tämän mukaan 1:1700. Ilman säteilyä yksi lapsi neljästä sadasta sairastuu syöpään alle 15 vuoden ikäisenä.

Vatsan ja lantion röntgentutkimuksia on vältettävä koko raskauden aikana etenkin lapsen syöpärisikin vuoksi. Useimmiten tutkimus voidaan korvata joko ultraäänitutkimuksella tai magneettikuvauksella. Vähemmän kiireellinen tutkimus voidaan siirtää tehtäväksi synnytyksen jälkeen. Jos tutkimus on kiireellinen eikä sitä voi korvata muulla menetelmällä, se voi kuitenkin olla tärkeä myös sikiön terveyden kannalta. Sen tekemättä jättämisestä saattaa silloin olla sikiölle enemmän haittaa kuin säteilyaltistuksesta. Röntgentutkimuksesta aiheutuva altistus ei anna aihetta harkita raskauden keskeytystä. Sädehoidon kohdalla asia on toisin.



Kehittyvä sikiö on herkkä säteilylle, koska sikiön solujen jakautuminen on vilkasta. Ei ole kuitenkaan mitään näyttöä siitä, että pieni säteilyannos voisi satunnaisesti aiheuttaa sikiölle ison vammian. Säteilyn vaikutus raskauden aikana riippuu säteilyannoksesta, säteilyn annosnopeudesta ja raskauden vaiheesta.

Terveyshaittoja ehkäistään säteilysojelulla

Säteilysojelman tavoitteena on ehkäistä ennalta säteilyn terveyshaittojen syntyminen. Periaatteena on, että kaikissa tilanteissa tulee torjua säteilyn suorat haitat. Säteilyn satunnaishaitat, syöpä ja perinnölliset haitat, pyritään rajoittamaan mahdollisimman vähäisiksi toisaalta annosrajojen avulla ja toisaalta pitämällä säteilyaltistus aina niin alhaisena kuin käytännön toimin on mahdollista. Tätä kutsutaan ALARA-periaatteeksi (As Low As Reasonably Achievable).

Ionisoiva säteily voi vahingoittaa eläviä soluja. Suuri säteilyannos voi aiheuttaa vaikeita paikallisia vammoja tai säteily sairauden. Pienikin säteilyannos voi muuttaa solun perimää ja aiheuttaa pienen lisäyksen elinikäiseen syöpäriskiin. Sukusolun perimän muuttuminen saattaa aiheuttaa sairautta jälkeläisille. Raskauden aikaisesta altistuksesta aiheutuu riski sikiölle.

Lisätietoa

Säteily- ja ydinturvallisuus -kirjasarja, osa 4: Säteilyn terveysvaikutukset. Säteilyturvakeskus 2002.

Paile W, Mustonen R, Salomaa S, Voutilainen A. Säteily ja terveys. Helsinki 1996:

Säteilyturvakeskus ja Edita Oy.

www.stuk.fi



Laippatie 4, 00880 Helsinki
Puh. (09) 759 881, faksi (09) 759 88 500
www.stuk.fi

Vammalan Kirjapaino Oy
Helsinki 2009