

4

SÄTEILYVAMMAT

Wendla Paile

SISÄLLYSLUETTELO

4.1	Säteily sairaus	50
4.2	Paikalliset säteilyvauriot	56
4.3	Yhdistelmä vamma ja kontaminaatio	61
4.4	Mitä tehdä, jos epäilee säteilyaltistusta?	62

Säteilyvammat ovat deterministisiä vaurioita, jotka johtuvat solukuolemasta. Jakautuvat solut ovat herkkiä säteilyn soluja tappavalle vaikutukselle. Jatkuvasti uusiutuvaa solukkoa on ihossa, limakalvoissa ja luuytimessä. Nämä kudokset vaurioituvat muita helpommin. Muissa kudoksissa säteilyvaurion kynnyksessä määrätty verisuonien säteilyherkkyydestä. Korkea paikallinen säteilyannos vaurioittaa verisuonia, jotka ajan myötä arpeutuvat ja voivat tukkeutua kokonaan, jolloin kyseinen elin surkastuu tai menee kuoliin.

Säteilyn vaikutukset määräytyvät säteilylajista, säteilyannoksesta, annoksen jakautumisesta kudoksiin sekä annosnopeudesta. Gammasäteily tunkeutuu kudosten läpi ja voi aiheuttaa muun muassa luuydinvaurion ja suolistovaurion. Kovat röntgensäteet ovat samankaltaisia. Pehmeä röntgensäteily sen sijaan absorboituu jo pinnallisiin kudoksiin ja vaurioittaa näin ensisijaisesti ihoa. Kova beetasäteily on erityisen vaarallinen iholle, koska kaikki säteilyenergia absorboituu ihoon ja ihonalaiseen kudokseen.

4.1 | Säteilysairaus

Säteilysairaus uhkaa välittömästi ihmisen henkeä, jos hänen koko kehonsa altistuu lyhyessä ajassa usean grayn (Gy) säteilyannokselle. Tämä koskee läpikäytyä gamma- tai röntgensäteilyä tai neutronisäteilyä. Tällaiset tapaukset ovat perin harvinaisia.

Hiroshiman ja Nagasakin atomipommien välittömien uhrien lisäksi kymmenet tuhannet ihmiset menehtyivät säteilysairauteen pommituksia seuraavina viikkoina. Tshernobylin voimalassa onnettomuusyönä pelastustöihin osallistuneista ihmisistä pari sataa sairastui säteilysairauteen. Heistä 28 kuoli. Näiden tapausten lisäksi maailmassa tunnetaan vain satakunta säteilysairauden uhria. Muutamat onnettomuudet ovat tapahtuneet sterilointilaitoksissa, joissa käytetään hyvin voimakasta säteilyä. Vuonna 1999 Japanissa sattui Tokaimuran ydinlaitoksessa onnettomuus, jossa kolme ihmistä sai suuren annoksen neutronisäteilyä. Kaksi heistä kuoli usean kuukauden sairastamisen jälkeen. Muutoin säteilysairaus on yleensä liittynyt tilanteisiin, joissa voimakas säteilylähde on joutunut harhateille puutteellisen valvonnan vuoksi, ja sivulliset ihmiset ovat näin joutuneet altistetuiksi.

Ydinaseräjähdyistä lukuun ottamatta on hyvin epätodennäköistä, että radioaktiiviselle laskeumalle altistuvan väestön joukossa voisi esiintyä sätei-

lysairautta tai muunlaisia säteilyvammoja. Pripjatin kaupungissa Tshernobylin ydinvoimalan liepeillä väestö olisi ehkä voinut saada lievää säteily-sairautta, ellei heitä olisi kahden vuorokauden sisällä siirretty alueelta pois. Kauempana onnettomuudesta kukaan väestöön kuuluva ei saanut niin suurta annosta. On arvioitu, että ulkomailla tapahtuva ydinvoimalaitosonnettomuus ei voisi missään olosuhteissa aiheuttaa Suomessa niin suuria säteilyannoksia, että altistunut väestö saisi siitä mitään oireita. Väestönsuojelutoimet ydinonnettomuuden jälkeisessä säteilytilanteessa tehdään syöpäriskin vähentämiseksi. Laskeumalle altistuneet ihmiset voivat kuitenkin helposti tulkita jokapäiväisiä oireitaan säteilyperäisiksi. Tällöin on tärkeää, että lääkäri ja muu terveydenhuoltohenkilökunta pystyvät riittävällä varmuudella vakuuttamaan heille että näin ei ole. Oireet eivät voi olla säteilyperäisiä, kun säteilyannokset jäävät kauaksi säteilyn äkillisten vaikutusten kynnyksarvon alapuolelle.¹ Muillakin asiantuntijoilla on syytä olla selkeä tieto asiasta, jotta ristiriitaisia käsityksiä ei leviä.

Säteily sairautta ei kehity, jos vuorokaudessa saatu kokokehoannos jää alle yhden grayn. Puolen grayn annoksen jälkeen saattaa kuitenkin näkyä vähäisiä muutoksia verenkuvassa.

Säteily sairauden taudinkuva

Koska ihminen ei voi aistia säteilyä, mitään tuntoaistimuksia ei ilmene säteilyaltistuksen aikana tai välittömästi sen jälkeen, vaikka annos olisi hengenvaarallinen. Jos annos on ylittänyt kynnyksarvon, säteily sairauden alkuoireet kehittyvät kuitenkin muutaman tunnin kuluessa. Oireet ovat varsin epämääräisiä: väsymystä, ruokahaluttomuutta, pahoinvointia ja vaikeammissa tapauksissa oksentelua ja lämmön nousua.

Mitä suurempi säteilyannos on, sitä nopeammin ja voimakkaammin alkuoireet ilmenevät. Jos pahoinvointi alkaa tunnin sisällä altistuksesta, ihminen on luultavasti saanut hengenvaarallisen annoksen. Toisaalta tällaiset oireet voivat johtua myös pelkästään psyykkisistä syistä. Niinpä ne eivät sinänsä vielä todista mitään annoksen suuruudesta. On kuitenkin selvää, että jollei ihmiselle ilmaannu minkäänlaista pahoinvointia, kokokehoannos ei ole ollut hengenvaarallisen korkea. Yksilöllinen herkkyys

¹ Esimerkiksi jos ulkoisen säteilyn annosnopeus on 100 mikrosievertiä tunnissa, kestäisi 10 000 tuntia, ennen kuin kertyisi yhden grayn annos. Kuitenkin tässä tilanteessa ihmisiä jo kehoitettaisiin suojautumaan sisätiloihin.

vaikuttaa siihen, minkä kokoisesta annoksesta ihminen voi saada alkuaireita. Taulukossa 4.1 esitetään tyypillisiä alkuaireita ja niihin liittyviä äkillisiä säteilyannoksia.

Muutamassa vuorokaudessa säteilyaltistuksen alkuaireet asettuvat, ja olo saattaa tuntua välillä hyvältä. Varsinaiset säteily sairauden oireet kehittyvät parissa viikossa. Ne liittyvät ennen kaikkea luuydin vaurioon ja toisaalta suoliston limakalvovaurioon.

Luuydin vaurio ilmenee kaikkien verisolujen vähenemisenä. Verisolut syntyvät punaisessa luuytimessä. Valkosolut ovat tärkeitä kaikenlaisten infektioiden torjunnassa. Valkosoluihin kuuluvien granulosityttien määrä laskee luuydin vaurion seurauksena dramaattisesti, ja tästä seuraa lisääntynyt infektioherkkyys. Infektiovaara on ilmeinen, jos granulosityttien määrä alenee alle puoleen normaalista. Granulosityttien määrä on alhaisimmillaan noin neljä viikkoa säteilyaltistuksesta.

Punasolujen määrä laskee valkosoluja hitaammin, ja kehittyy anemia. Verihiutaleiden eli trombosyyttien määrä alenee myös jyrkästi. Verihiutaleiden puute johtaa verenvuototaipumukseen. Kun verihiutaleiden määrä on alle 20 prosenttia normaaliarvosta, ihossa ja limakalvoissa syntyy itsestään verenvuotoja. Kuvassa 4.1 on esitetty kaavamaisesti, miten granulositytit ja trombosyytit alenevat eri suuruisen säteilyannosten jälkeen. Yli kuuden-

Säteilyannos	Oire
1,2 Gy	Ruokahaluttomuus
1,7 Gy	Pahoinvointi
2,1 Gy	Oksennus
2,4 Gy	Ripuli

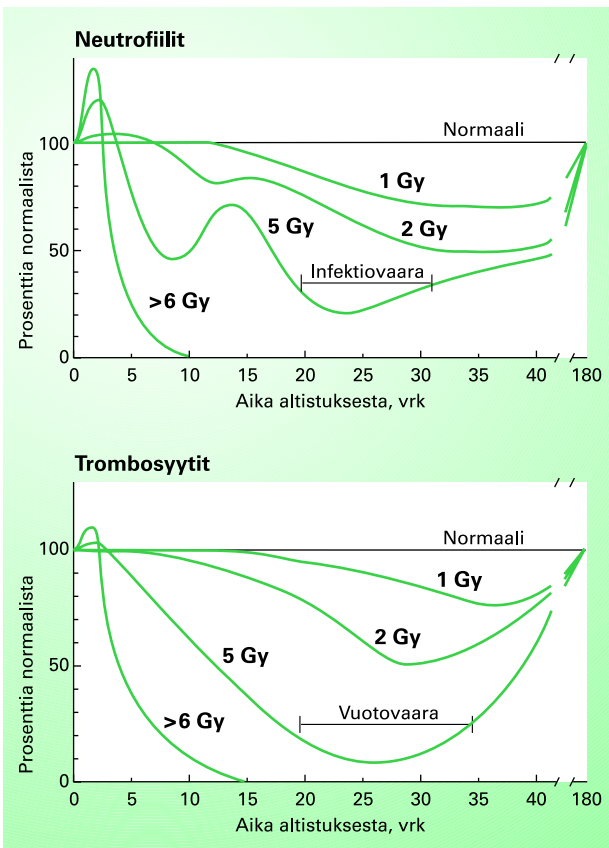
TAULUKKO 4.1 Säteilyannokset, joiden jälkeen puolet altistuneista saa vastaavia alkuaireita.

seitsemän grayn kokokehoannos johtaa täydelliseen luuydintuhoon. Tällöin potilas ei voi toipua, koska elävää kantasolukkoa ei ole jäljellä. Potilas menehtyy infektioihin ja verenvuotoihin viimeistään toisen kuukauden aikana altistuksesta. Potilaan henki voidaan pelastaa vain luuydinsiirrolla tai verestä eristettyjen kantasolujen siirrolla. Kokemukset Tshernobylin uhreille tehdyistä luuydinsiirroista eivät kuitenkaan ole kovin rohkaisevia. Jos oma luuydin ei ole kokonaan tuhoutunut, siirrosta on enemmän hyötyä, koska silloin potilaalle kehittyi hylkimisreaktio, joka on sinänsä hengenvaarallinen.

Lymfosyytit eli imusolut ovat yksi valkosolutyyppeistä. Lymfosyytit eroavat muista verisoluista siten, että säteily tappaa veressä kiertäviä lymfosyyttejä suoraan (solu tekee ”itse murhan”, vertaa luku 2.7), ilman että tapahtu-

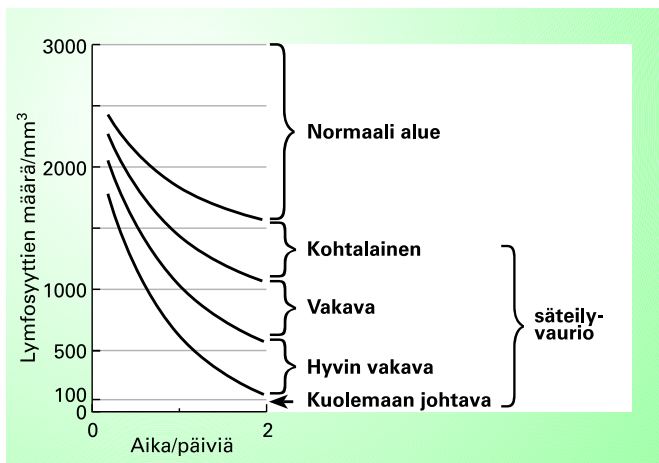
maan liittyy solunjakautumista. Koska lymfosyytit tuhoutuvat nopeasti, niiden väheneminen tulee esille nopeammin kuin muut veren kuvan muutokset. Seuraamalla lymfosyyttien määrän kehitystä saadaankin melko tarkka tieto säteilyannoksen suuruudesta jo muutaman päivän kuluessa säteilyaltistuksesta. Tähän tarvitaan sarja verinäytteitä.

Jos arvioidaan, että tapaturmassa aiheutunut annos on saattanut nousta yli puolen grayn, on otettava verinäyte mahdollisimman pian altistumisen jälkeen. Näytteestä tehdään verisolujen erittelylaskenta ja saadaan selville lymfosyyttien määrä lähtötilanteessa. Toinen näyte otetaan vuorokauden kuluttua ja seuraava näyte kahden vuorokauden kuluttua altistuksesta. Jos lymfosyyttien määrä ei alene tässä ajassa ollenkaan, on varmaa, ettei äkillinen annos ole ylittänyt yhtä graytä eikä säteilysairautta tule kehittymään, vaikka potilaalla olisikin ollut epämääräisiä alkuaireita. Oireet selittyvät tällöin puhtaasti psyykkisenä reaktiona. Toisaalta, jos lymfosyyttien määrä alenee kahdessa vuorokaudessa nollaan, on kokokehoannos ollut yli kuusi



KUVA 4.1
a) Granulosyyttien ja b) Trombosyyttien määrän muutos veressä eri suuruisien äkillisten säteilyannosten jälkeen.

Solujen määrä on alhaisimmillaan noin 3–5 viikkoa altistuksesta. Infektiovaara on ilmeinen, kun granulosityttien määrä on alle 40 prosenttia normaaliarvosta. Verenvuotovaara alkaa, kun trombosyyttien määrä on alle 20 prosenttia normaaliarvosta.



KUVA 4.2 Veren lymfosyyttien määrän muutos kahden vuorokauden aikana äkillisen kokokehoaltistuksen jälkeen antaa hyvän kuvan annoksen suuruudesta.

graytä ja potilaan ennuste on huono. Luuydinsiirto tai kantasolujen siirto on käytännössä ainoa mahdollisuus hengen pelastamiseksi. Kuva 4.2 osoittaa lymfosyyttien määrän kehittymisen kahden vuorokauden kuluessa eri suuruisten äkillisten kokokehoannosten jälkeen.

Jos säteilyannos on ollut yli kolme graytä, vaurioituu myös suolisto. Ohutsuolen limakalvon vaurio johtaa ripuliin ja nestehukkaan. Suoliston bakteereita pääsee vaurioituneen limakalvon kautta helposti verenkiertoon, mikä on erityisen vaarallista, kun immuunipuolustus on heikentynyt valkosolujen vähyden takia. Myös suun limakalvo tulehtuu, ja siihen voi tulla haavaumia. Limakalvovaurio yhdessä verihitaleiden vähyden ja verenvuototaipumuksen kanssa voi lisäksi johtaa veriripuliin ja verenhukkaan.

Jos säteilyannos on yli 12 graytä, on suoliston toipuminen mahdotonta, koska limakalvo on tuhoutunut täysin eikä kantasolukkoa ole jäljellä. Potilas menehtyy tällöin veriripuliin ja nestehukkaan mahdollisesti jo parissa viikossa. Tällaisessa tapauksessa luuydinsiirrosta ei ole apua.

Äärimmäinen tilanne syntyy, jos äkillinen annos on ollut yli 50 graytä. Tällöin keskushermoston oireet ovat vallitsevia. Puolen tunnin sisällä ilmenee pahoinvointia, oksennusta, voimakasta väsymystä, sekavuutta ja usein kouristuksia. Potilas menettää tajuntansa muutamassa tunnissa ja kuolee parin vuorokauden sisällä. Syynä on aivojen verisuonivaurio, joka johtaa aivopöhhöön.

Hoito ja toipuminen

Säteily sairauden alkuaireita voi hoitaa yleissairaalassa. Hoito on oireiden mukainen (esimerkiksi pahoinvointilääkettä). Varsinaista ensiapua ei ole olemassa. Alkuvaiheessa on kuitenkin tärkeä selvittää mahdollinen säteilyannos, jotta voidaan päättää jatkohoidon tarpeesta ja tasosta. Annosarvioon tarvitaan tieto tapahtumasta, alkuaireista ja niiden esiintymisajasta sekä päivittäinen verenkuvasta ja erittelylaskenta. Päätös potilaan siirtämisestä erikoissairaalaan voidaan hyvin lykätä, kunnes on tietoa lymfositien määrän kehityksestä ensimmäisen vuorokauden aikana.

Yhden tai kahden grayn annoksen jälkeen säteily sairaus jää lieväksi, ja potilas toipuu aikanaan ilman hoitoakin. Jos potilas on saanut 2–7 grayn annoksen, voidaan korkeatasoisella hoidolla vaikuttaa ratkaisevasti potilaan ennusteeseen. Vaikea säteily sairaus edellyttää hoitoa hematologisella osastolla. Potilas eristetään mahdollisimman puhtaaseen ympäristöön, jotta vältetään ulkoa tulevia infektioita. Nestetasapainosta huolehditaan, ja tarvittaessa annetaan verituotteita. Jos infektiosta on vähäisiäkin viitteitä, käytetään laajatehoista mikrobilääkitystä. Kyseeseen tulevat bakteerilääkkeet, sienilääkkeet ja viruslääkkeet. Luuytimen toipumista voi edistää myös kantasoluja stimuloivilla kasvutekijöillä (G-CSF tai GM-CSF).

Jos potilas pystytään pitämään näillä toimenpiteillä hengissä ensimmäiset kaksi kuukautta, ennuste on jo paljon parempi. Suoliston limakalvo on tällöin saattanut toipua, ja luuytimessä alkaa pikkuhiljaa muodostua uusia verisoluja. Granulosyyttien ja trombosyyttien määrä palautuu normaaliksi parissa kuukaudessa. Punasolujen määrä nousee hitaammin, ja anemia voi kestää puolikin vuotta. Lopulta luuydin toipuu täydellisesti, eikä jälkioireita yleensä jää.

Säteily sairauden muunnelmia

Jos säteily altistus tapahtuu pitemmän ajan kuluessa, ihminen sietää korkeampia annoksia sairastumatta. Jos annos on suuri, syntyy taudinkuva, joka on muunnelmaksi edellä kuvatusta. Se kehittyy vähitellen eikä ole yhtä raju. Luuytimen puutteellinen solutuotanto on tämän taudinkuvan tärkein ilmiö. Hitaasti tapahtuva luuydintuho saattaa johtaa kuolemaan kuuksien kuluessa.

Meksikosta tunnetaan tapaus, jossa voimakasta säteilylähdettä säilytettiin keittiölaatikossa neljä kuukautta. Lähteen kotiin tuonut henkilö ei tiennyt sen olevan vaarallinen. Kuukausien kuluessa neljä perheenjäsentä - kaksi lasta, äiti ja isoäiti - menehtyi yksi toisensa jälkeen. Jälkeenpäin heidän arvioitiin saaneen noin 15–40 grayn säteilyannoksia.

Jos säteily on kohdistunut melko tasaisesti kehon kaikkiin osiin, ihmisen säteilynsietokyky määräytyy luuytimen ja suoliston sekä ääritapauksessa keskushermoston mukaan. Muiden elimien mahdolliset säteilyvauriot eivät vaikuta taudinkuvaan ratkaisevasti.

Jos säteilyannos on jakautunut epätasaisesti, tilanne saattaa olla toisin. Mikäli pienikin osa luuytimestä on ollut suojattuna ja säilynyt ilman vauriota, sen kantasolut voivat lisääntyä ja vähitellen korvata tuhoutuneen luuytimen täysin. Tällöin muidenkin elimien säteilynsietokyky saattaa olla tärkeä. Jos voimakasta säteilylähdettä on esimerkiksi kannettu taskussa, annos on jakautunut keholle kovin epätasaisesti. Näissä tapauksissa paikallisvaurio voi olla erittäin paha, vaikka luuydin- tai suolistovaurio ei olisi hengenvaarallinen.

4.2 Paikalliset säteilyvauriot

Paikallinen tapaturmainen säteilyvamma, samoin kuin säteilynsairauskin, on hyvin harvinainen tapahtuma, koska säteilyn ja säteilylähteiden käyttö on tiukan valvonnan ja kontrollin kohteena. Säteilyn käyttäjät ovat meidän maassamme hyvin koulutettuja, ja tieto säteilyn vaaroista ja oikeista työtavoista vähentää tapaturman riskiä. Tapaturmaiset altistukset ovatkin yleensä liittyneet tilanteisiin, joissa voimakas säteilylähde on joutunut harhateille ja päättynyt tietämättömien ihmisten käsiin. Suomessa tämän tyyppisistä onnettomuuksista on toistaiseksi kokonaan välttytty. Tulli vartioikin nykyään tarkasti säteilymittausten avulla, ettei Suomen rajan yli vahingossa kulkeudu ek-syneitä säteilylähteitä.

Taannoin Virossa metalliromun sekaan eksynyt voimakas lähde aiheutti yhden miehen kuoleman ja usealle muulle ihmiselle vaikeita säteilyvam-moja (katso kuva 4.3, kuvaliite kirjan lopussa). Tapaus paljastui, kun val-pas lääkäri osasi epäillä vainajan poikapuoletta sormiin ilmestyneitä rak-kuloita säteilyvammaksi. Säteilymittarilla varustettu partio löysi pojan ko-dista keittiölaatikosta säteilylähteen, joka oli kuukauden päivät säteilyttänyt kaikkia perheenjäseniä.

Ihovaurio (”säteilypalovamma”)

Iho kuuluu säteilyherkimpiin elimiin. Iho vaurioituu säteilyonnettomuudessa herkästi, etenkin jos se joutuu suoraan kosketukseen radioaktiivisen aineen kanssa. Kova beetasäteily on erityisen vaarallista iholle, koska kaikki säteilyenergia absorboituu ihoon ja ihonalaisiin kudoksiin. Röntgensäteily polttaa ihoa sitä helpommin, mitä pehmeämpää säteily on, sillä pehmeä säteily absorboituu pinnallisiin kudoksiin.

Jos koskee voimakkaaseen säteilylähteeseen paljaalla kädellä, vaikea palovamma voi syntyä sekunneissa. Silti esine ei tunnu kuumalta eikä kosketus aiheuta kipua tai muita tuntemuksia. Ihmiseltä puuttuu säteilystä varoittava aisti. Vamma ei myöskään tule näkyviin välittömästi, vaan vasta usean tunnin kuluttua tai seuraavana päivänä alkaa punoitus.

Säteilyvamman tyypillinen sijainti ovat kädet, erityisesti sormet. On myös kuvattu useita tapauksia, joissa lähde on pidetty taskussa. Tällöin ihovaurio on ollut pakarassa, reidessä tai rintalihaksen kohdalla. Punoitus eli eryteema on ensimmäinen merkki siitä, että iho on altistunut säteilylle. Se ilmenee vuorokauden sisällä ja häviää mutamassa päivässä. Se ei sinänsä jätä jälkiä. Eryteeman esiintyminen varoittaa kuitenkin siitä, että annos on ollut kohtalaisen korkea (kynnysarvo on noin viisi graytä) ja myöhemmin ilmenevät komplikaatiot ovat mahdollisia. Jo kahden grayn ihoannos saattaa aiheuttaa hyvin heikkoa, juuri ja juuri havaittavaa punoitusta. Mitä korkeampi säteilyannos, sitä aikaisemmin ja voimakkaammin punoitus alkaa. Punoituksen ulottuvuus ei kuitenkaan välttämättä kerro vamman lopullista laajuutta.

Jos kerta-annos on ylittänyt kuusi graytä, alkaa iholla toinen punoitusaalto parin viikon kuluttua. Tämä johtuu ihon tyvisolukerroksen vaurion laukaisemasta tulehdusreaktiosta. Punoitus on voimakkaimmillaan kolmannen viikon aikana. Tyvisolukerroksen vaurion laajuus riippuu annoksesta. Kymmenen grayn ihoannos johtaa 3–6 viikon kuluessa kuivaan hilseilyyn, joka paranee parissa viikossa. Paraneminen on lähtöisin altistuneen alueen siälle eloon jääneistä tyvisoluista.

Tyvisolukerros vaurioituu 15 grayn annoksen jälkeen niin pahoin, että syntyy nestetäytteisiä rakkuloita ja kosteaa hilseilyä, jolloin iho kuoriutuu siten että syntyy paljas, nestettä vuotava pinta. Vamma muistuttaa tavanomaista palovammaa. Iho paranee parissa viikossa. Suoranainen haavauma syntyy 20 grayn jälkeen, jolloin tyvisolukerros tuhoutuu täysin ja iho voi parantua vain alueen reunoista alkaen. Paraneminen on silloin hidasta ja jättää arpia. Liitteenä olevassa kuvassa 4.3 on esitettyinä tällainen vamma.

Jos paikallinen annos on ollut yli 15-20 graytä, tilanne saattaa kuitenkin jälleen pahentua, ja muutaman kuukauden jälkeen iholla syntyy vielä kolmas punoitusaalto. Tällöin syynä on ihonalaisten verisuonten vaurio, joka voi arpeutumisen myötä ajan mittaan aiheuttaa verisuonten täydellisen tukkeutumisen. Tästä seuraa kudosten hapenpuute, joka voi johtaa laajaan kudostuhoon ja uusien haavaumien syntyyn. Vaurio osoittautuu tässä vaiheessa usein laajemmaksi kuin on alun perin arvioitu.

Tilanne saattaa pahentua ja alue laajentua vielä usean kuukauden tai jopa vuoden aikana. Tämä on ominaista nimenomaan säteilyvammalle, ja se onkin tärkeä ero tavanomaisen palovamman ja säteilyvamman välillä. Tässä vaiheessa potilas joutuu kärsimään pitkäaikaisesta ja joskus sietämättömän voimakkaasta kivusta. Haavaumat paranevat huonosti, ja korjaava leikkaushoito on erittäin vaikeaa tuhoutuneen verisuoniston ja hapenpuutteen vuoksi. Jos vaurio on raajoissa, saattaa amputaatio jäädä ainoaksi ratkaisuksi.

Jos paikallinen annos on ollut useita kymmeniä graytä, kulku poikkeaa edellä kuvatusta sikäli, että alkuvaiheen punoitus ei koskaan astu, vaan kuolio kehittyy suoraan punoituksen jälkeen jo muutamassa viikossa. Näissäkin tapauksissa on tyypillistä, että uusia haavaumia ilmenee alkuperäisen alueen ulkopuolella vielä pitkän aikaa tapahtuman jälkeen.

Säteilyaltistus aiheuttaa myös ihokarvojen lähdön. Jos ihoannos on ylittänyt kolme graytä, karvat putoavat noin kolmen viikon kuluttua. Hiustenlähde kuuluukin kohtalaisen vaikean säteily sairauden taudinkuvaan silloin kun kokokehoannos nousee yli tämän kynnyksen. Jos ihoannos ylittää kuusi-seitsemän graytä, karvat eivät enää kasva takaisin. Jos hiuskarvat kasvavat uudestaan, ne ovat entistä ohuempia ja usein väriltään aiempaa vaaleampia tai harmaita.

Säteilypalovamma on mahdollinen myös lääketieteellisen toimenpiteen seurauksena. Lievä punoitus sädehoidon jälkeen on hyväksyttävä sivuvaikutus, ja sädehoidossa kudosten annosjakauma on aina hyvin hallinnassa. Toimenpideradiologiaan sen sijaan liittyy odottamattoman korkean ihoannoksen vaara, varsinkin käytettäessä nykyaikaista läpivalaisulaitetta, jossa on tehostetun toiminnon mahdollisuus. Jos potilas on lihava, laite nostaa annosnopeutta automaattisesti, ja jos toimenpide pitkittyy, palovamman vaara on olemassa. USA:ssa on kuvattu erittäin vaikeita ihovaurioita pitkittyneiden radiologisten toimenpiteiden yhteydessä. Suo-

mesta tällaisia tapauksia ei tunneta. Aihe on käsitelty lähemmin Suomen Lääkärilehdessä (Servomaa ym., 1995).

Silmän säteilyvaurio

Silmän rakenteista mykiö vaurioituu säteilystä helpoimmin. Mykiön reu-
nassa sijaitsevat solut jakautuvat koko elämän ajan. Säteilyn aiheuttama
solutuho tässä vyöhykkeessä johtaa ajan mittaan mykiön samentumiseen
eli harmaakaihiin.

Kahden grayn röntgensäteilyannosta pidetään kynnsarvona, jonka jälkeen
voi syntyä tutkimuksella havaittava samentuma. Näkökykyä haittaava sa-
mentuma syntyy kuitenkin vasta 5–6 grayn annoksen jälkeen. Muutos ta-
pahtuu hitaasti, aikaisintaan vuoden kuluttua altistuksesta. Samentuma
esiintyy alussa tyypillisenä renkaana mykiön takaosassa. Myöhemmin sa-
mentuma leviää koko mykiöön, eikä sitä voi enää erottaa tavanomaisesta,
ikäntymiseen liittyvästä harmaakaihista.

Neuroradiologisissa toimenpiteissä mykiö saattaa altistua niin korkealle
säteilyannokselle, että voi kehittyä samentuma. Projektion vaihto toi-
menpiteen aikana saattaa olla tarpeen, jotta kumpikaan silmä ei saisi liian
suurta annosta.

Sukurauhasten sädeherkkyys

Sukurauhaset kuuluvat kaikkein säteilyherkimpiin elimiin sekä miehellä
että naisella. Jo 150 milligrayn äkillinen annos aiheuttaa siittiösolujen vä-
henemisen noin kuukauden kuluttua altistuksesta. Parin grayn annos joh-
taa kuukausia tai vuosia kestävään steriliteettiin. Jos annos on yli kuusi-
seitsemän graytä, miehen steriliteetti on yleensä pysyvä. Naisilla pysyvään
steriliteettiin johtava annos vaihtelee iän mukaan. Nuorilla naisilla kynns
voi olla jopa kymmenen graytä, kun taas yli 40-vuotiailla se on kolmen
grayn luokkaa.

Jos tilapäisen, säteilyn aiheuttaman steriliteetin jälkeen saakin lapsen,
lapsi on todennäköisesti terve. Lääketieteessä on raportoitu useista täl-
laisista tapauksista. Ne koskevat sekä miehiä että naisia. Sukurauhasiin
on saattanut kohdistua jopa yli kuuden grayn annoksia. Yhdessäkään jul-
kaistussa tapauksessa syntynyt lapsi ei ole ollut epämuodostunut. Tämä
johtuu siitä, että säteilyn pahasti vaurioittama sukusolu ei kelpaa suvun

jatkaajaksi. Raskaus ei ala ollenkaan, tai se saattaa keskeytyä ennen kuin sitä on edes huomattu. Nämä yleismaailmalliset tiedot säteilyn vaikutuksista ovat tärkeitä, kun pohditaan esimerkiksi sädehoitoa saaneiden ihmisten mahdollisuutta saada terve lapsi. Jos raskaus alkaa, sen kannattaa antaa jatkua. Geneettisen haitan riski on olemassa, mutta yksilön kannalta katsoen se on aina pieni verrattuna muihin riskeihin, joita liittyy jokaiseen raskauteen.

Verisuonivaurio sädehoidon sivuvaikutusten syynä

Kun potilaalle annetaan sädehoitoa pahanlaatuisen kasvaimen, säteilyä annetaan eri suunnista, siten että suurin annos osuu kasvaimen. Paikallinen annos voi olla useita kymmeniä graytä, ja se tähtää kasvaimen täydelliseen tuhoamiseen. Annos jaetaan useaan osaan sivuvaikutusten vähentämiseksi ja tehon parantamiseksi. Kasvainta ympäröivät kudokset voivat saada melko suuria säteilyannoksia, eikä näiden kudosten vaurioita aina voida kokonaan välttää.

Useimpien elinten säteilynsietokyky määräytyy verisuonten säteilyherkkyyden mukaan, koska elinten varsinaiset toimivat solut (parenkymisolut) sievät säteilyä verisuonia paremmin. Säteilyn vaikutuksesta verisuonet ensin laajenevat, ja seinämän läpäisykyky lisääntyy. Kudokseen karkaa nestettä ja fibriniä, ja kudoksesta turpoaa. Myöhemmin verisuonen seinämään kehittyä sidekudosta, suoni ahtautuu, ja saattaa syntyä täydellinen tukos. Verenkierron huonontuessa elin surkastuu, ja toimivat solut korvautuvat sidekudoksella. Alkuvaiheen fibrinivuodon takia sidekudosta voi muodostua runsaasti. Tämä saattaa ajan mittaan aiheuttaa ongelmia, koska sidekudossäikeet kutistuvat vähitellen ja voivat myöhemmin aiheuttaa ahtaumia ja kuroutumia.

Säteilyperäinen munuaistauti

Munuaisten verisuonten säteilyvaurio voi muodostua ihmiselle kohtalokkaaksi. Munuaisten tärkein toimiva yksikkö, munuaisheräinen eli glomerulus, koostuu erikoistuneesta hiussuonesta. Säteilyperäinen munuaistauti on syystä pelätty sädehoidon sivuvaikutus.

Vakavan munuaisvaurion riski on suuri, jos molemmat munuaiset saavat useiden viikkojen aikana yhteensä 30 grayn säteilyannoksen. Tauti ilmenee joko varhaismuotona 6–12 kuukauden kuluessa hoidosta tai kroonise-

na muotona 1–5 vuoden kuluttua. Kummassakin tapauksessa se etenee hitaasti ja johtaa lopulta munuaistoiminnan pettämiseen ja virtsamyrkytykseen. Siihen liittyy myös munuaisperäinen verenpainetauti, joka on toisinaan pahanlaatuinen ja saattaa johtaa kuolemaan jo vuoden sisällä.

Säteilyn aiheuttama keuhkotulehdus

Keuhkorakkuloiden seinämät ja niissä kulkevat hiussuonet vaurioituvat, jos keuhkoihin kohdistuu yli kahdeksan grayn äkillinen säteilyannos. Vaurio ilmenee keuhkotulehduksena, joka alkaa muutamia viikkoja altistuksen jälkeen. Keuhkorakkuloihin kertyy fibriinipitoista nestettä. Oireina ovat yskä, lämmönnousu ja korkea hengitystaajuus. Tauti saattaa johtaa kuolemaan.

Vaikka äkillinen vaihe menisikin ohi, tauti ei parane jättämättä arpea. Keuhkorakkuloiden seinämiin kehittyy sidekudosta, hiussuonten määrä vähenee ja ilmatila pienenee. Hengitystoiminta heikkenee pysyvästi, ja tästä seuraa taipumus keuhkoinfektioihin. Muutokset saattavat johtaa myös keuhkoperäiseen sydäntautiin: keuhkoverenkierron lisääntyneen vastuksen johdosta kehittyy sydämen oikean puoliskon vajaatoiminta. Nämä krooniset muutokset saattavat johtaa kuolemaan vielä useita kuukausia tai jopa vuosia altistuksen jälkeen. Tauti on pelätty komplikaatio leukemian hoidossa, kun sairas luuydin tuhotaan korkealla säteilyannoksella ja korvataan luuydinsiirrolla.

4.3 | Yhdistelmävamma ja kontaminaatio

Tapaturmaiset altistustilanteet ovat useimmiten komplisoituneita, ja niihin saattaa liittyä monen eri kudoksen säteilyvaurioita, konventionaalisia vammoja sekä myös kontaminaatiota. Altistus on usein epätasainen ja se voi olla äkillinen, pitkittynyt tai epäsäännöllisesti toistuva.

Säteilylähteet, jotka synnyttävät sekä kovaa beetasäteilyä että myös voimakasta gammasäteilyä, ovat erityisen vaarallisia. Altistus pienikokoiselle lähteelle on tyypillisesti hyvin epätasainen. Lähimpänä lähdettä voi syntyä vaikea ihovamma beeta- ja gammasäteilyn yhdistelmästä. Samalla gammasäteily voi tunkeutua syvälle ja aiheuttaa vaikeita säteilyvammoja myös sisäelimiin. Jos paikallinen annos on erittäin korkea, nekrooseja voi kehittyä ihoon ja/tai sisäelimiin jo varhaisvaiheessa viikon tai kahden sisällä. Jos gammasäteily ulottuu mahalaukuun saakka, alkuvaiheessa voi esiin-

tyä pahoinvointia. Toisaalta epätasaisesta annosjakaumasta johtuen tähän ei välttämättä liity luuydindepressiota.

Työssä, jossa käsitellään voimakkaita avolähteitä liuoksina, iho voi kontaminoitua tapaturmaisesti. Silloin radioaktiivinen aine olisi mahdollisimman nopeasti pestävä pois lämpimällä vedellä ja saippualla. Likaantuneet vaatteet suljetaan muovisäkkiin. Pesuveden saa laskea viemäriin. Tilanne on vakavampi, jos ihoon on samalla tullut avohaava. Olisi varottava, ettei radioaktiivista ainetta pääse haavan kautta kehoon.

Pesun jälkeen säteilymittarilla kontrolloidaan, onko iho puhdas. Tarvittaessa puhdistus jatketaan pehmeällä harjalla vahingoittamatta ihoa.

Jos potilas on tapaturmassa saanut sekä konventionaalisia vammoja että säteilyvamman, tai on kontaminoitunut, vakavat konventionaaliset vammat on aina hoidettava ensin. Säteilyvamman hoito ei ole kiireellinen, ja dekontaminaatiokin voi odottaa, kunnes potilaan tila on stabiili. On hyvin epätodennäköistä, että liuksesta kontaminoituneen ihon säteilyannos nousisi niin suureksi, että siitä kehittyisi palovamma.

Tärkeä on myös muistaa, että säteilyä saanut potilas ei ole vaaraksi ympäristölleen. Vaikka hän olisi kontaminoitunut, käytännössä hoitavalle henkilökunnalle siitä mahdollisesti aiheutuva annos jää miltei aina hyvin pieneksi. Suomessa kontaminoituneen potilaan hoitoon on varauduttu ydinvoimaloissa ja läheisissä terveydenhoitoyksiköissä.

4.4 | Mitä tehdä, jos epäilee säteilyaltistusta?

Säteily sairautta ei ole tavattu Suomessa koskaan. Kuitenkin tavallisen lääkärin eteen voi tulla tilanne, jolloin syystä tai toisesta epäillään säteilyaltistusta. Tällöin on hyvä tuntea säteily sairauden taudinkuva pääpiirteissään. Potilaalla on mahdollisesti pahoinvointia ja luulee sitä säteilyperäiseksi. Jos epäilyyn näyttää olevan aihetta, esimerkiksi on sattunut poikkeava tapahtuma säteilyn käytön yhteydessä, verenkuvan seuranta on tärkeä ensimmäisen vaiheen apuväline (vertaa kohta 4.1). Jos lymfosyyttien määrä pysyy vakiona yhden vuorokauden ajan, mahdollinen pahoinvointi ei johtunut säteilystä.

Jos palorakkulan tapainen muutos ilmestyy sormiin tai taskun kohdalle, ilman että palovamma, hyönteisen purema, hankaus tai muu syy on tiedossa, säteilyvaurion mahdollisuus olisi pidettävä mielessä, niin epäto-

dennäköistä kuin se Suomen oloissa onkin. Epäiltäessä säteilyvammaa voidaan yrittää anamnestisesti selvittää, onko potilas pitänyt tuntematonta esinettä kädessä tai taskussa muutama viikko sitten. Samoin kysytään onko hänen läheisillään vastaavanlaisia oireita. Jos epäily on vahva, on syytä kääntyä poliisin tai palokunnan puoleen, jotta voidaan mitata säteilytaso potilaan elinympäristössä.

Jos on syytä epäillä poikkeavaa säteilyaltistusta, kromosomianalyysi tarjoaa mahdollisuuden biologiseen annosmittaukseen (katso luku 10). Siitä sovitaan tapauskohtaisesti Säteilyturvakeskuksen kanssa. Menetelmä on kallis ja aikaa vievä, eikä analyysia tehdä ilman perusteltua syytä. Menetelmä antaa luotettavan annosarvion, jos kokokehoaltistus on ollut yli 100 milligraytä. Jos kromosomianalysissä ei ole merkkiä poikkeavasta altistuksesta, mahdolliset oireet eivät voi johtua säteilystä. Kromosomianalyysi voidaan tehdä vielä useita kuukausia altistuksen jälkeen.

KIRJALLISUUTTA

IAEA. The radiological accident in Tammiku. Vienna: International Atomic Energy Agency, 1998.

Mettler F A, Upton A C. Medical effects of ionizing radiation. Philadelphia: WB Saunders, 1995.

Paile W, Mustonen R, Salomaa S, Voutilainen A. Säteily & Terveys. Helsinki: Oy Edita Ab, 1996.

Servomaa A, Paile W, Karppinen J. Säteilyhaitat toimenpideradiologiasa. Suomen Lääkärilehti 1995; 34: 3699–3704.