

# 9

## SÄTEILY JA RASKAUS

Wendla Paile

### SISÄLLYSLUETTELO

9.1	Raskauden alkuvuikot .....	132
9.2	Organogeneesi .....	134
9.3	Sikiökausi .....	134
9.4	Sikiön syöpäriski .....	137
9.5	Varotoimet raskauden aikana .....	138

Raskaudenaikainen säteilyaltistus herättää usein voimakasta pelkoa siitä, että säteilyaltistus aiheuttaisi sikiölle kehitysvamman. Kehittyvä sikiö onkin herkkä säteilylle, koska sikiön solujen jakautuminen on vilkasta. Ei ole kuitenkaan mitään näyttöä siitä, että pieni säteilyannos voisi satunnaisesti aiheuttaa sikiölle huomattavan vamman. Säteilyn vaikutus raskauden aikana riippuu säteilyannoksesta, säteilyn annosnopeudesta ja raskauden vaiheesta.

Raskaana oleva nainen voi altistua säteilylle esimerkiksi tavanomaisessa säteilytyössä. Säteilytyötä tekevä voi altistua säteilylle myös vahingossa, huolimattomuuttaan tai tapaturmassa. Sikiölle aiheutuu säteilyannos myös silloin, jos raskaana olevalle naiselle tehdään alavatsan röntgentutkimus tai isotooppitutkimus. Sädehoito on äärimmäinen esimerkki mahdollisesta sikiöaltistuksesta.

Luonnonsäteily aiheuttaa koko raskauden aikana kehittyvälle sikiölle yhteensä noin yhden millisievertin säteilyannoksen. Huoneilman radonkaasu ei aiheuta sikiölle säteilyannosta.

## 9.1 | Raskauden alkuvaiheet

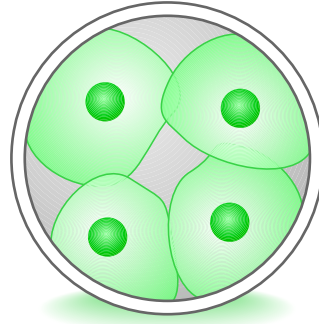
Sikiön kehitys alkaa hedelmöityksestä. Raskauden lasketaan kuitenkin alkaneen jo kaksi viikkoa aikaisemmin eli viimeisten kuukautisten ensimmäisenä päivänä. Näin laskettuna raskaus kestää normaalitapauksessa 40 viikkoa. Raskauden vaiheet on esitetty taulukossa 9.1.

Ensimmäisen ja toisen raskausviikon aikana hedelmöitys ei siis ole vielä tapahtunut. Kolmannen ja neljännen viikon aikana raskaus ei ole vielä selvillä, mutta yleensä kuitenkin tiedetään, onko raskaus mahdollinen tai todennäköinen.

Raskausviikot	Vaihe
0–2	Ennen hedelmöitystä
3–4	Hedelmöittynyt munasolu kulkeutuu kohtuun ja kiinnittyy
5–9	Organogeneesi Elimet muodostuvat Sikiön ulkomuoto valmistuu
10–40	Sikiökausi

**TAULUKKO 9.1 Raskauden vaiheet**

Kahden päivän kuluttua hedelmöityksestä esialkio koostuu neljästä solusta (kuva 9.1). Tässä vaiheessa jokainen solu pystyy vielä kehittymään täydelliseksi yksilöksi. Pari päivää myöhemmin soluja on jo sata. Näistä kuitenkin suurin osa kehittyy jatkossa istukaksi ja sikiökalvoiksi, ja vain kymmenkunta solua muodostaa varsinaisen lapsen alun.



**KUVA 9.1** Esialkio kahden vuorokauden jälkeen

Seuraavan viikon aikana kasvava rakkula alkioineen kiinnittyy kohdun limakalvoon ja istukka kehittyy. Alkion kehitys kiihtyy vasta tämän jälkeen, kun istukka pystyy huolehtimaan alkion hapensaannista.

Alkion kehitys keskeytyy helposti kokonaan säteilyn vaikutuksesta ennen kuin se on kiinnittynyt kohdun seinämään, koska jakautuvat solut ovat herkkiä säteilyn soluja tappavalle vaikutukselle. Toisaalta erikoistumattomat solut pystyvät helposti korvaamaan toisiaan. Eläinkokeista saatu kokemus viittaaakin siihen, että kolmannella ja neljännellä raskausviikolla (1–2 viikkoa hedelmöityksestä) säteily vaikuttaa alkioon niin, että raskaus joko ei ala ollenkaan eli se keskeytyy ennen kuin sitä on edes todettu, tai sikiö kehittyy jatkossa normaalisti ja lapsi syntyy terveenä.

On hyvä muistaa, että luonto karsii tehokkaasti epäonnistuneet hedelmöitystuotteet. Arviolta jopa puolet kaikista raskauksista keskeytyy varhaisessa vaiheessa tällaisesta syystä.

Jos yhdessä solussa tapahtuu mutaatio hyvin varhaisessa kehitysvaiheessa, säteilyaltistuksen seurauksena tai muusta syystä, osa kehittyvän lapsen soluista tulee olemaan geneettisesti poikkeavia. Tämä voisi periaatteessa johtaa kehityshäiriöön, koska kehitys ohjautuu geneettisen koodin avulla. Kokeellisesti ei kuitenkaan ole koskaan pystytty varmuudella osoittamaan, että säteilyllä olisi tällainen vaikutus sikiöön. Tämä herkkä vaihe on myös hyvin lyhyt ja päättyy viimeistään neljännen raskausviikon lopussa eli kahden viikon kuluttua hedelmöityksestä, kun alkion kasvu kiihtyy ja niin sanottu kliininen raskaus alkaa, eli kun kuukautiset jäävät pois. Varovaisuus säteilyaltistuksen suhteen on kuitenkin paikallaan.

Kun solujen kokonaisuus kasvaa, yhdessä solussa tapahtuva geneettinen muutos ei enää pysty ohjaamaan isomman solukon kehitystä väärään suuntaan. Tässä vaiheessa ainoastaan merkittävä solutuho tai muu, mo-

niin soluihin vaikuttava häiriö voi haitata kehitystä. Näin voi tapahtua, jos säteilyannos ylittää tietyn vähimmäismäärän eli kynnyksarvon. Tämä vähimmäismäärä riippuu sikiön kehitysvaiheesta sekä säteilyn laadusta ja annosnopeudesta. Kehitysvaiheesta riippuu myös se, millainen kehityshäiriö altistuksesta seuraa. Jos kynnyksarvo ylittyy, häiriön vaikeusaste kasvaa annoksen kasvaessa.

## 9.2 | Organogeneesi

Raskausviikot 5–9 ovat vilkkaan kehityksen aikaa, jolloin sikiön ulkoinen muoto ja kaikki elinsysteemit muodostuvat pääpiirteiltään. Tätä kautta kutsutaan nimellä organogeneesi. Organogeenin aikana erilaiset ulkoiset tai sisäiset tekijät voivat aiheuttaa epämuodostumia ja muita kehityshäiriöitä. Säteily vaurioittaa ensisijaisesti kehittyvää keskushermostoa.

Kirjallisuudessa on kuvattu useita tapauksia, joissa äidille on annettu sädehoitoa raskauden alkuvaiheessa ja kehittyvä sikiö on saanut usean grayn säteilyannoksen. Tällainen lapsi on yleensä pienikokoinen ja vakavasti jälkeenjäänyt. Sillä on pieni, pyöreä pää ja usein myös pienet silmät. Joissakin tapauksissa lapsella on ollut myös muita häiriöitä, kuten harmaakaihia ja muita silmämuutoksia sekä luustomuutoksia tai sukuelinten muutoksia.

Koskaan ei ole raportoitu säteilyn aiheuttavan kehitysvammaa, johon ei samalla liittyisi henkistä jälkeenjääneisyyttä, pienipäisyyttä tai yleistä kasvuhäiriötä. Näitä voidaankin pitää eräänlaisina säteilyvammaan merkkivaurioina. Jos lapsella ei ole mitään näistä, mahdollista muuta kehityshäiriötä ei tulisi pitää säteilyn aiheuttamana, vaikka sikiö olisikin altistunut säteilylle jonkin verran raskauden aikana. Alle yhden grayn annoksen jälkeen ihmisillä ei ole koskaan kuvattu muunlaista kehitysvammaa kuin keskushermostovauriota tai yleistä kasvuhäiriötä.

## 9.3 | Sikiökausi

Kymmenennestä raskausviikosta raskauden loppuun asti kestävä vaihetta kutsutaan sikiökaudeksi. Tällöin sikiö ennen kaikkea kasvaa kooltaan. Keskushermoston kehitys jatkuu kuitenkin vilkkaana etenkin sikiökauden alussa. Raskausviikkojen 10–17 aikana aivojen hermosolut jakautuvat vilkkaasti ja vaeltavat viimeisen jakautumisen jälkeen aivokammion seinämästä lopullisiin paikkoihinsa, joissa ne eivät pysty enää jakautumaan. Suurin osa isojen aivojen kuorikerroksen soluista ei raskauden 17. viikon jälkeen

enää koskaan jakaudu. Jatkossa hermosolut vain kasvavat kooltaan ja erilaistuvat. Niistä kasvaa ulokkeita ja hermoyhteyksiä eli synapseja muodostuu naapurisolujen kanssa. Samalla aivojen tukikudos kehittyy. Keskushermoston raskaudenaikaiset kehitysvaiheet on esitetty taulukossa 9.2.

Raskausviikot	Tapahtuma
3–9	Aivojen ulkoiset pääpiirteet muodostuvat Hermosolujen ja tukisolujen esiasteet syntyvät
10–17	Hermosolujen määrä lisääntyy voimakkaasti, ne menettävät jakautumiskykyänsä ja vaeltavat toiminnalliseen sijaintipaikkaansa
18–27	Eriilaistuminen paikan päällä kiihtyy, hermoyhteyksien (synapsien) muodostus lisääntyy, aivojen lopullinen rakenne valmistuu
28–40	Eriilaistuminen ja synapsimuodostus jatkuu, aivojen tukikudos kehittyy. Pikku-aivojen kasvu ja kehitys kiihtyy

**TAULUKKO 9.2 Keskushermoston kehitys**

Hermosolujen jakautuminen ja vaeltaminen on tarkkaan ohjattu tapahtumasarja, joka on altis säteilyn aiheuttamalle häiriölle. Onkin todettu, että raskausviikkoina 10–17 keskushermosto vaurioituu säteilystä kaikkein herkimmin. Suhteellisen alhainenkin säteilyannos, mahdollisesti jopa alle 100 milligrayn annos, voi tänä aikana aiheuttaa pienipäisyyttä ja jonkinasteista älykkyyden alenemista. Korkeampi annos (yli 0,5 Gy) aiheuttaa usein vakavaa henkistä jälkeenjääneisyyttä.

Japanin atomipommitusten jälkeen on tutkittu tarkkaan niitä ihmisiä, jotka altistuivat säteilylle kohdussa. Tutkitussa ryhmässä on noin 1 000 lasta, jotka altistuivat hyvin vähän tai ei ollenkaan (annos alle viisi milligraytä), sekä melkein 500 lasta, joiden annokset vaihtelivat kymmenestä milligraystä yli kahteen grayhin. Puolet niistä lapsista, jotka saivat yli puolen grayn säteilyannoksen 10.–17. raskausviikon aikana (8–15 viikkoa hedelmöityksestä), on vakavasti jälkeenjääneitä. Raskausviikkojen 18–27 aikana altistuneilla (16–25 viikkoa hedelmöityksestä) vakavaa jälkeenjääneisyyttä on todettu vasta yli yhden grayn annoksen jälkeen. Tutkitussa ryhmässä on säteilyn vuoksi vakavasti jälkeenjääneitä kaiken kaikkiaan alle 20. Todennäköisesti säteilyaltistus on näiden tapausten lisäksi usein vaikuttanut haitallisesti älykkyyteen, vaikka altistuksesta ei olekaan seurannut vakavaksi luokiteltua jälkeenjääneisyyttä.

Vakavaa jälkeenjääneisyyttä ei todettu niillä ihmisillä, jotka altistuivat säteilylle kohdussa ennen raskauden kymmenettä viikkoa tai 27. viikon jäl-

keen. Usean grayn annoksen jälkeen lapsi kuitenkin useimmiten kuoli kohtuun, joten tällaisen annoksen vaikutuksesta ei juuri ole tietoa Japanista. Sädehoidon yhteydessä altistuneet lapset osoittavat aivojen voivan vaurioitua myös organogeneesin aikana, vaikka aivot eivät ilmeisesti ole silloin yhtä herkät säteilylle kuin sikiökauden alussa.

Useilla niistä, jotka altistuivat atomipommien säteilylle raskauden alkuvaiheessa, on normaalia pienempi pää. Osa heistä on jälkeenjääneitä, mutta pienipäisyys on tavallista yleisempää myös normaaliälyisillä. Tämä koskee sekä organogeneesin aikana että sikiökauden alussa altistuneita. Vaikutus näyttää ilmenevän joillakin ihmisillä jo 100 milligrayn annoksen jälkeen. Kaiken kaikkiaan tutkittujen lasten keskuudessa pienipäisyyttä todettiin 62 henkilöllä, kun odotusarvo oli 37. Kahdeksannentoista raskausviikon jälkeen säteilylle altistuneilla pienipäisyyttä todettiin vain yhdellä jälkeenjääneellä, joka oli saanut yli yhden grayn annoksen.

Ei tiedetä tarkkaan, millä tavoin säteily häiritsee keskushermoston kehitystä. Keskushermoston säteilyherkkä kausi kestää ihmisellä useita viikkoja. Herkän kauden eri vaiheisiin saattaa liittyä erilaisia häiriömekanismeja.

Kypsyvien hermosolujen vaellushäiriö on yksi mekanismi, joka on selvästi osoitettu sekä kokeellisesti että myös ihmisillä. On kuvattu kolme tapausta, joissa kehittyvät lapset altistuivat atomipommien säteilylle raskauden kymmenennen viikon tienoilla. Arvioidut säteilyannokset olivat 0,69 graytä, 0,86 graytä ja 1,18 graytä. Kaikki lapset olivat vakavasti jälkeenjääneitä ja pienipäisiä.

Yhdelle, joka kuoli 16 vuoden iässä, on tehty ruumiinavaus, ja kahdelle on suoritettu aivojen magneettikuvaus. Kaikilla kolmella todettiin aivoissa samantyyppinen hermosolujen vaellushäiriö. Aivokammion seinämässä oli runsaasti harmaata aivoainetta väärässä paikassa. Siellä sikiökauden aikana muodostuneet hermosolut ovat jääneet paikoilleen eivätkä ole koskaan lähteneet vaeltamaan aivojen kuorikerrokseen päin.

Kokeellisesti on osoitettu, että herkimpänä ajankohtana säteily alentaa rotasikiön aivojen painoa suorassa suhteessa säteilyannokseen. 100 milligrayn kerta-annoksella röntgensäteilyä painonalennus oli 3,8 prosenttia. Pitkittyneellä annoksella vaikutus oli pienempi.

On harhakuvittelua, että muutaman kymmenen milligrayn suuruinen säteilyannos organogeneesin aikana voisi satunnaisesti aiheuttaa isoja epämuodostumia. Sen sijaan ei voida sulkea pois sitä mahdollisuutta, että

keskushermoston vilkkaimman kehityksen aikana sikiökauden alussa tämän suuruinen annos voisi jossain määrin vaikuttaa toimivien hermosolujen lopulliseen määrään ja sitä kautta myös älykkyyteen. Vaikutus on kuitenkin siinä tapauksessa niin heikko, että sitä ei ole voitu esimerkiksi Japanissa mitata.

## 9.4 | Sikiön syöpäriski

Edellä on kuvattu deterministisiä sikiövaurioita, joille on ominaista säteilyannoksen kynnsarvo, toisin sanoen vauriota ei synny, jos ei annos ole ylittänyt tiettyä kynnsarvoa. Mutta kohdunsisäinen säteilyaltistus saattaa aiheuttaa myös stokastista haittaa.

Satunnainen geneettinen muutos yhdessä solussa missä tahansa sikiökehityksen vaiheessa saattaa luoda solukloonin, jossa syntyy syöpä normaalia todennäköisemmin (lapsuuden aikana tai myöhemmin) sen takia, että ensimmäinen geneettinen askel kohti syöpää on jo otettu. Solukloonin koko syntyvässä lapsessa riippuu sikiön koosta mutaation tapahtuessa.

Riskin saada syöpä lapsuusiässä raskaudenaikaisen säteilyaltistuksen seurauksena on arvioitu olevan noin 6 prosenttia sievertiä kohti. Tämän mukaan riski olisi noin 1:17 000, kun sikiö on saanut 1 millisievertin annoksen. Normaalisti noin yksi lapsi viidestäsadasta sairastuu syöpään ennen kymmenen vuoden ikää. Suhteellisesti ilmaistuna lapsuudenaikaisen syövän riski kasvaa kymmenen millisievertin annoksen jälkeen noin 30 prosenttia, mitä ei voida pitää aivan merkityksettömänä. Arvio perustuu raskaudenaikaisten röntgentutkimusten jälkeen ilmenneisiin lasten syöpiin. Lukuisassa eri tapaus-verrokkitutkimuksessa, jotka kattavat raskauksia 40-luvulta 70-luvulle, on todettu riskin lisääntyneen. Harhat ja sekoittavat tekijät on pystytty sulkemaan pois. Yhteisanalyysin tuloksena on todettu, että raskaana olevan naisen vatsa-alueen röntgentutkimus menneinä vuosina on lisännyt lapsuudenaikaisen syövän riskiä noin 40 prosenttia. Suora havainto, että kymmenen millisievertin suuruusluokkaa oleva annos lisää syöpäriskiä mitattavassa määrin, on selkeä argumentti sitä vastaan, että syöpäriskin liittyy jokin kynnsarvo, jonka alapuolella riski olisi täysin olematon.

Pienen annoksen aiheuttama pieni riski on ollut todettavissa tilastollisesti siksi, että syöpäsairastuvuus lapsuudessa on muutoin niin alhainen. Todennäköisesti riski jatkuu kohonneena aikuisikään saakka, mutta tästä ei ole olemassa evidenssiin perustuvaa numeerista arviota.

## 9.5 Varotoimet raskauden aikana

Säteilytyötä tekevän naisen työ on raskauden toteamisen jälkeen järjestettävä siten, ettei sikiön säteilyannos ylitä yhtä millisievertiä. Tämän suhteellisen ankan rajoituksen ensisijaisena tarkoituksena ei ole estää kehitysvaurioiden syntymistä, vaan taata sikiölle yhtä hyvä suoja kuin kenelle tahansa sellaiselle, joka ei tee säteilytyötä. Näin voidaan ehkäistä satunnaisia haittavaikutuksia. Lisäksi on säädetty, että raskaana oleva nainen ei saa olla säteilytyössä luokkaa A. Tämä suojaa myös potentiaaliselta, poikkeaviin tapahtumiin liittyvältä altistukselta.

Kun sukukypsässä iässä olevalle naiselle suunnitellaan alavatsan röntgen-tutkimusta tai isotooppitutkimusta, on tiedusteltava, onko hän tai voiko hän mahdollisesti olla raskaana (onko esimerkiksi käytetty luotettavaa ehkäisyä). Jos nainen on raskaana, pitää harkita, voidaanko tutkimus siirtää tehtäväksi vasta synnytyksen jälkeen tai raskauden loppupuoliskolla, tai voidaanko tutkimus korvata toisella tutkimusmenetelmällä, kuten ultraääni- tai magneettikuvauksella. Jos tämä ei ole mahdollista, tehdään tutkimus siten, että sikiön annos jää mahdollisimman pieneksi esimerkiksi rajoittamalla kuvien määrää.

Jos röntgenkuvaus on tarpeellinen, sen tekemättä jättämisestä voi olla sikiön terveydelle enemmän haittaa kuin kuvauksesta aiheutuvasta säteilyannoksesta. Röntgenitutkimuksesta aiheutuva säteilyaltistus antaa tuskin koskaan aihetta harkita raskauden keskeytystä. Sädehoidon kohdalla asia on toisin.



## KIRJALLISUUTTA

Mettler FA, Upton AC. Medical Effects of Ionizing Radiation. Philadelphia: WB Saunders, 1995.

United Nations Scientific Committee on the Effects of Atomic Radiation. Sources and Effects of Ionizing Radiation. UNSCEAR 1993 Report, Scientific annex H: Radiation effects on the developing human brain. New York: United Nations, 1993.

Reyners H, Gianfelici de Reyners E, Poortmans F et al. Brain atrophy after foetal exposure to very low doses of ionizing radiation. International Journal of Radiation Biology 1992; 62: 619–626.

Doll R, Wakeford R. Review article: Risk of childhood cancer from fetal irradiation. British Journal of Radiology 1997; 70: 130–139.