

6

VÄLITAAJUISTEN KENTTIEN VAIKUTUKSIA

Jukka Juutilainen, Hannele Huuskonen

SISÄLLYSLUETTELO

6.1	Johdanto	250
6.2	Yleistä haitallisuutta testaavat tutkimukset	251
6.3	Syöpä	251
6.4	Hermosto	251
6.5	Lisääntymisterveys	252
6.6	Muita vaikutuksia	255

6.1 | Johdanto

Välitaajuisien (300 Hz – 100 kHz) sähkömagneettisten kenttien biologisia vaikutuksia on tutkittu hyvin vähän verrattuna hyvin pientaajuisien kenttien ja radiotaajuisien kenttien vaikutuksiin, joista on saatavilla runsaasti tutkimustietoa (katso luvut 5 ja 7). Osittain tämä johtuu siitä, että sellaiset laitteet, jotka synnyttävät kenttiä tällä taajuusalueella, ovat olleet suhteellisen harvinaisia. Laitteiden määrä on kuitenkin kasvamassa erityisesti uusissa kuluttajille suunnatuissa laitteissa ja teollisuuden sovelluksissa, katso taulukko 6.1. Tutkimustiedon niukkuuden takia välitaajuuskenttien altistumisrajat perustuvatkin siihen oletukseen, että tieto suurempien ja pienempien taajuuksien vaikutuksista voidaan ekstrapoloida koskemaan myös tätä taajuusaluetta. Tässä luvussa esitetään esimerkkejä välitaajuuskenttien biologisia vaikutuksia koskevista empiirisistä havainnoista, ja yhteenvedo siitä mitä sen perusteella voidaan päätellä ihmisen terveyteen kohdistuvista haittavaikutuksista.

Välitaajuisille kentille on ominaista se, että voimakkaiden kenttien tapauksessa pääasiallinen biologinen vaikutus on stimulaatio, jonka kynnyсарvo kasvaa taajuuden funktiona kunnes yli 100 kHz taajuudella lämpövaikutukset astuvat kuvaan. Välitaajuisille kentille altistuminen jää yleensä reilusti raja-arvojen alapuolelle muutamia lääketieteellisiä sovelluksia lukuun ottamatta. Altistuminen voi olla joissakin tapauksissa merkittävää induktiokuumentimien käyttäjillä ja sairaalan henkilökunta voi altistua raja-arvoa suuremmille laajakaistaisille 100 Hz – 10 kHz gradienttikentille magneettikuvauslaitteiden välittömässä läheisyydessä, taulukko 6.1.

Ihmiset altistuvat usealle ympäristössä esiintyvälle altisteelle samanaikaisesti. Siksi myös tekijä, joka ei ehkä yksinään johtaisi esimerkiksi syövän kehittymiseen, saattaa joidenkin muiden karsinogeenien kanssa

Laite	
Teollisuus	Induktiokuumentimet, hitsaus, hakkuriteholähteet
Kuluttajat	Induktiokaittasot, tuotesuojaportit, metallinpaljastimet, näyttöpäätteet, televisiot
Sairaalat	Magneettikuvauslaitteiden gradienttikentät, sähkömagneettiset hermosimulaattorit, magneettiterapialaitteet
Sotilaalliset sovellukset	Tutkien pulssimodulaattorit, vedenalaiset kommunikointijärjestelmät

Taulukko 6.1 Välitaajuisien kenttien (300 Hz – 100 kHz) lähteitä

pystyä vaikuttamaan syövän kehittymiseen. Eläinkokeet, joissa altistetaan yhdelle tekijälle tarkkaan kontrolloidussa ympäristössä ei välttämättä vastaa ihmisten altistumistilanteita.

6.2 | Yleistä haitallisuutta testaavat tutkimukset

Välitaajuisten kenttien mahdollisia haittavaikutuksia on testattu samanlaisilla toksisuus- eli myrkyllisyystesteillä, joita yleisesti käytetään kemikaalien myrkyllisyyden tutkimiseen. Eräessä hiirillä tehdyssä 14 ja 90 päivää kestäneessä kokeessa altistettiin koe-eläimiä 10 kHz taajuiselle magneettikentälle välillä 0,08–1 mT. Tutkimuksessa ei havaittu mitään vaikutuksia eläinten kuolleisuuteen, käyttäytymiseen, painoon eikä verenkuvaan. Kaikki elimet olivat kokeiden päätyttyä normaalit sekä makroskooppisesti että mikroskooppisesti. Kokeessa ei siis löytynyt mitään viitteitä terveydelle haitallisista vaikutuksista. Tämänäyttypisiä kokeita ei ole toistaiseksi tehty muilla välitaajuuskenttien taajuuksilla eikä voimakkuuksilla.

6.3 | Syöpä

Välitaajuisten magneettikenttien mahdollista syöpää aiheuttavaa vaikutusta on tutkittu hyvin vähän. Eräessä kokeessa altistettiin hiiriä sekä pelkälle 20 kHz magneettikentälle että yhdessä ionisoivan säteilyn kanssa. Magneettikentän ei ole havaittu aiheuttavan syöpää yksinään, eikä se myöskään edistänyt ionisoivan säteilyn aiheuttamien lymfoomien kehittymistä. Vakiosähkö- ja magneettikentässä kehoon indusoitunut sähkökenttä kasvaa suoraan verrannollisesti taajuuteen. Mutta toisaalta myös kudosten herkkyys biologisille vaikutuksille voi vastaavasti pienentyä, kuten hermosolun sähköisen stimulaation osalta on osoitettu (katso kohta 4.4).

6.4 | Hermosto

Vaikka hermosolut ovat periaatteessa keskitaajuisten kenttien vaikutusten tärkeä kohde, tutkimustietoa muista hermostoon kohdistuvista vaikutuksista kuin stimulaatiosta on hyvin vähän tällä taajuusalueella. Eräessä Takashimen ryhmän tutkimuksessa raportoitiin muutoksia kaniinin EEG:n spektrissä, kun eläimiä oli altistettu kuuden viikon ajan 1–10 MHz sähkökentille kentänvoimakkuuksilla 0,5–1 kV/m. Kenttää oli moduloitu 15 Hz taajuudella, millä voi mahdollisesti olla merkitystä biologisten vaikutusten kannalta.

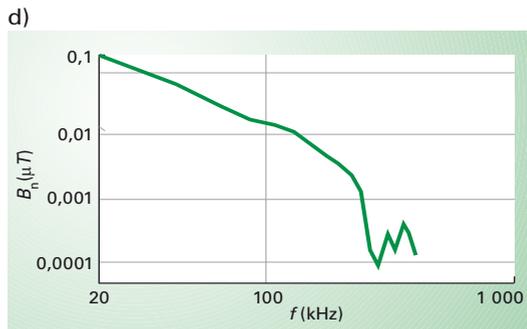
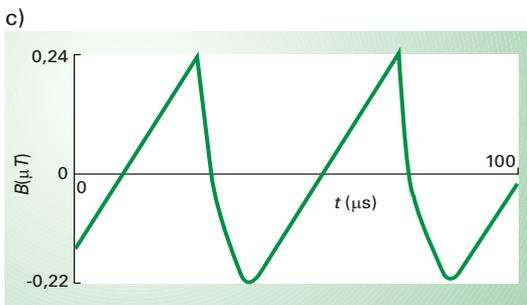
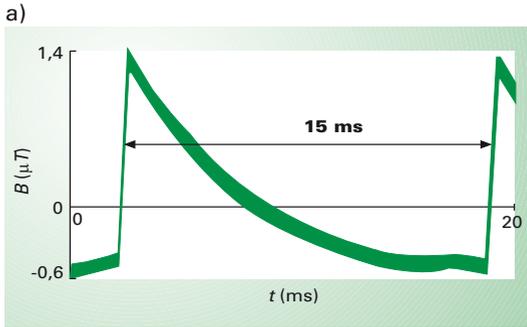
Kananalkiot

Sähkömagneettisten kenttien vaikutuksista kanan- ja muiden linnunalkioiden kehitykseen on julkaistu monta tutkimusta. Useimmat näistä tutkimuksista on tehty hyvin pientaajuisilla magneettikentillä. Kuopion yliopistossa tehdyssä Juutilaisen ja Saalin tutkimuksessa altistettiin kananalkioita välitaajuisille magneettikentille taajuuksilla 1 kHz, 10 kHz ja 100 kHz, ja useilla eri magneettivuon tiheyksillä 130 μT saakka. Alkiot tutkittiin kahden vuorokauden haudonnan jälkeen ja luokiteltiin normaaleihin ja epänormaaleihin. Kaikilla taajuuksilla havaittiin epänormaalien alkioiden lisääntyvän suurilla yli 1 μT vuontiheyksillä, mutta pienehköjen yksittäisten 20 alkion ryhmäkokojen vuoksi tuloksista on vaikea päätellä tarkkoja kynnyksarvoja eri taajuuksilla. Näiden tulosten käyttöä välitaajuisien kenttien terveysriskien arviointiin vaikeuttaa tutkimustiedon vähäisyys (yksi tutkimus) ja se, että linnunalkioilla saaduista tuloksista on vaikea päätellä vaikutuksia ihmisiin.

Nisäkkäät

Nisäkkäillä tehtyjen kokeiden tulosten voidaan perustellusti katsoa antavan kananalkiokokeisiin verrattuna parempaa tietoa ihmisiin kohdistuvista vaikutuksista. Välitaajuisien kenttien vaikutusta nisäkkäiden sikiönkehitykseen on tutkittu useissa kokeissa rotilla ja hiirillä. Näissä tutkimuksissa on käytetty magneettikenttiä, joiden taajuus on ollut 15–20 kHz ja aaltomuoto kolmiomainen sahalaita-aalto (katso kuva 6.1c). Tämän tyyppisten kenttien käytöllä pyrittiin jäljittelemään näyttöpäätteiden synnyttämiä magneettikenttiä; tutkimusten tavoitteena oli selvittää näyttöpäätteen käytön mahdollisia vaikutuksia lisääntymisterveyteen, kuva 6.1. Useissa näistä tutkimuksista magneettikentän voimakkuus oli 15 μT (tehollisarvo 4,3 μT), mutta joissakin niistä käytettiin myös suurempia vuontiheyksiä 66 μT saakka. Kaikki käytetyt kentät ovat huomattavasti voimakkaampia kuin näyttöpäätteen käyttäjään kohdistuvat alle 1 μT välitaajuiset magneettikentät.

Kaikkien tutkimusten tuloksille on yhteistä se, että niissä ei havaittu viitteitä vakavista vaikutuksista, kuten selvistä epämuodostumista tai sikiönkehityksen keskeytymisestä (Taulukko 5.4). Lievien luostumuutosten havaittiin kuitenkin lisääntyvän useassa tutkimuksessa sekä hiirillä että ro-



Kuva 6.1 Tyypillinen näyttöpäätteen synnyttämä magneettikenttä 30 cm etäisyydellä laitteen ruudusta

a) Näyttöpäätteen synnyttämän, suhteellisen hitaasti muuttuvan magneettikentän aaltomuoto on likimain sahalaitainen ja yhden jakson pituus on noin 15 ms.

b) Matalataajuuisen magneettikentän spektri taajuustasossa. Merkittävin osa spektristä on alle 300 Hz taajuuksilla.

c) Tämän hitaasti muuttuvan magneettikentän päällä ratsastaa välitaajuinen sahalaitainen signaali, jonka jaksonpituus on kymmeniä mikrosekunteja.

d) Välitaajuuisen magneettikentän spektri.

tilla. Mahdollisesti tämä vaikutus on ominainen vain tietyille eläinkannoille; kahdessa Kuopion yliopistossa tehdyssä samanlaisessa kokeessa luustomuutokset lisääntyivät vain toisella käytetyistä hiirikannoista.

Yhdessä ruotsalaisen Frölenin ryhmän tutkimuksessa varhaiset sikiökuolemat lisääntyivät 20 kHz magneettikentälle (15 μ T, sahalaita-aalto) altistetuissa hiirissä. Tulos oli tilastollisesti merkitsevä ja toistui useissa eri kokeissa, mutta elävänä syntyneiden poikasten määrä ei vähentynyt samassa määrin kuin sikiöiden kuolleisuus. Koska nämä ruotsalaiset tutkimustulokset näyttivät tärkeiltä magneettikenttien lisääntymisterveydelisten riskien arvioinnin kannalta, suomalainen Juutilaisen ja Huuskosen tutkimusryhmä yritti toistaa näitä tuloksia. Suomalaisen tutkimuksen tulokset eivät antaneet yksiselitteistä tukea ruotsalaisten tuloksille. Varhaiset sikiökuolemat kyllä lisääntyivät magneettikentälle altistetuissa hiirissä, mutta lisäys ei ollut tilastollisesti merkitsevä. Toisaalta tulos ei ollut tilastollisesti merkitsevästi erilainen myöskään ruotsalaisen tutkimusryhmän tuloksesta.

Yhdessä Chiangin ryhmän tutkimuksessa on raportoitu 15,6 kHz taajuuden ja voimakkuudeltaan 40 μ T magneettikentän yhteisvaikutus huuli- ja kitalakihalkioiden syntyyn yhdessä tällaisia vaurioita tunnetusti aiheuttavan kemikaalin (sytyosiinarabinosidin) kanssa. Tulos on mielenkiintoinen, ja se on saatu menetelmällä, joka poikkeaa tavanomaisista teratologisen tutkimuksen lähestymistavoista. Tämä on kuitenkin vain yksittäinen tutkimustulos. Johtopäätöksiä ei voi vetää ilman, että saadaan lisää tietoa yhteisvaikutuksista tunnettujen teratogeenien kanssa.

Monissa tutkimuksissa on selvitetty näyttöpäätteille tyypillisten 15–20 kHz magneettikenttien vaikutuksia jyrsijöiden lisääntymiseen ja sikiönkehitykseen. Muuntyyppisiä välitaajuisia kenttiä on tutkittu vain yhdessä Dawsonin ryhmän tutkimuksessa. Koesarjassa altistettiin uros- ja naarasrottia ennen parittelua sekä naarasrottia raskauden aikana 10 kHz sinimuotoiselle magneettikentälle voimakkuuksilla 95, 240 ja 950 μ T. Ongelmana voidaan pitää sitä, että myös vertailuryhmän eläimet altistuivat selvästi normaalia taustatasoa korkeammille (5–10 μ T) kentille. Tutkimuksessa ei havaittu mitään lisääntymisterveydellisiä vaikutuksia.

Kaiken kaikkiaan tulokset viittaavat siihen, että välitaajuisilla magneettikentillä ei ole voimakkaita vaikutuksia nisäkkäiden lisääntymiseen tai sikiönkehitykseen. Havaittujen lievien muutosten merkitys on toistaiseksi epäselvä.

Epidemiologiset tutkimukset

Näyttöpäätteen käyttäjät altistuvat periaatteessa sekä hyvin pientaajuisille että välitaajuisille magneettikentille. Välitaajuisten magneettikentän voimakkuus näyttöpäätteen ympärillä on kuitenkin hyvin pieni, joten päätteiden käyttäjien tutkiminen ei kerro mitään voimakkaiden välitaajuisten kenttien vaikutuksista. Näyttöpäätteen käytön lisääntymisterveydellisistä vaikutuksista tehtyjä epidemiologisia tutkimuksia on esitelty hyvin pientaajuisten magneettikenttien yhteydessä luvussa 5.

6.6 | Muita vaikutuksia

Välitaajuiset kentät sairauksien hoidossa

Magneettikenttiä on kokeiltu useiden erilaisten sairauksien hoitoon. Eri-tyisesti pulssimainen laajakaistainen magneettikenttä näyttää edistävän vaikeiden, muihin hoitoihin reagoimattomien luunmurtumien parantumista. Yleensä on käytetty pitkäaikaista käsittelyä melko voimakkaalla, mutta hermostimulaatiokynnyksen alittavalla, paikallisella magneettikentällä. Käytössä on erilaisia monimutkaisia aaltomuotoja, joissa merkittävä osa energiasta on välitaajuusalueella, mutta mukana on muita taajuuskomponentteja ELF- ja jopa RF-alueilla.

Näitä magneettikenttien hyödyllisiä vaikutuksia on tässä esitelty siksi, että myös myönteinen muutos osoittaa biologisten vaikutusten olemassaoloa. Tätä voidaan verrata ionisoivan säteilyn hyötykäyttöön sädehoidossa. Kontrolloimattomassa altistuksessa samat biologiset vaikutukset voivat periaatteessa johtaa terveydelle haitallisiin muutoksiin. Toistaiseksi magneettikenttien terapeuttisesta käytöstä saatu tieto ei kuitenkaan ole käyttökelpoista mahdollisten haittavaikutusten arvioinnissa, sillä vaikutuksen mekanismista ei ole selvyyttä, eikä myöskään ole systemaattista tutkimustietoa siitä, miten vaikutus riippuu kentän voimakkuudesta, taajuudesta ja aaltomuodosta.

Solutason vaikutukset

Useissa viljellyillä soluilla tehdyissä kokeissa on tutkittu välitaajuisten (100 Hz – 1 MHz) sähkökenttien vaikutusta Ca^{2+} -, Na^+ -, K^+ - ja Rb^+ -ionien passiiviseen ja aktiiviseen kulkeutumiseen solukalvon läpi. Tällai-

sia ilmiöitä on odotettavissa, jos solukalvoon indusoituu riittävän suuri jännite (luku 4). Suurilla sähkökentän voimakkuuksilla vaikutuksia onkin havaittu. Kokeissa sähkökenttä on yleensä synnitetty elektrodeilla suoraan solujen kasvatusliuokseen, ja liuoksen sisäiset kentänvoimakkuudet ovat yleensä olleet suuria, jopa 2 kV/m. Näin suuria kentänvoimakkuuksia ei synny käytännön olosuhteissa sähkökentille altistuvan ihmisen kudoksiin. Altistumistilanteessa elimistön sisäinen sähkökenttä on lisäksi paljon pienempi kuin kehon ulkopuolinen sähkökenttä, luku 3. Pienemmillä kentänvoimakkuuksilla useissa tutkimuksissa ei ole havaittu mitään vaikutuksia, mutta eräs tutkimusryhmä on julkaissut tutkimuksia, joissa jo 5 mV/m sähkökenttä vaikutti $\text{Na}^+\text{-K}^+\text{-ATP}$ asientsyymiin (natrium-kaliumpumpun) aktiivisuuteen. Vaikutus ilmeni laajalla taajuusalueella yhdestä hertsistä useisiin kilohertzeihin.

Eräässä tutkimuksessa mitattiin solunsisäistä kalsiumionin pitoisuutta hiiren neuroblastomasoluissa, joita altistettiin 16 Hz moduloidulle 5 kHz sähkökentälle kentänvoimakkuuksilla 80 tai 800 V/m. Kalsiumtasossa havaittiin sähkökentän aiheuttamia muutoksia jo 80 V/m kentänvoimakkuuksilla. Merkittävää tässä havainnossa oli se, että kyseessä näytti olevan yhteisvaikutus: vaikutus riippui UV-säteilystä, jota käytettiin viritämään kalsiumtasoa ilmaisevaa fluoresoivaa väriainetta (FURA-2). Tällaiset yhteisvaikutukset saattaisivat osittain selittää tutkimustulosten ristiriitaisuutta. Mikäli tässä kalsiumtasoa olisi mitattu toisenlaisella menetelmällä eli ilman UV-säteilyä, vaikutus olisi jäänyt havaitsematta.

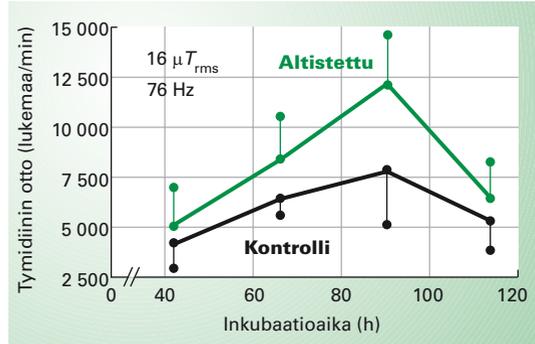
Yksi tutkimusryhmä on raportoinut 60 kHz sähkökentän lisäävän kondrosyyttien (rustosolu) kasvua jo 2 V/m kentänvoimakkuudella. Myös tymidiinin otto soluihin lisääntyi (ilmaisee lisääntyntä DNA-synteesiä). Toisaalta toinen tutkimusryhmä totesi fibroblastien kasvavan täysin normaalisti, kun niitä altistettiin 0,5, 2,5 tai 15 MHz sähkökentille jopa 40 kV/m voimakkuudella.

Laajalla taajuusalueella tehdyssä Liboffin ryhmän koesarjassa magneetikenttien havaittiin stimuloivan viljelyksessä ihmisen fibroblastien DNA-synteesiä, joka on mitattu tymidiinin ottona soluihin (katso kuva 6.2). Vaikutus havaittiin taajuuksilla 15 Hz – 4 kHz ja useilla $2 \mu\text{T}$ ylittävillä magneettivuon tiheyksillä. Mielenkiintoista näissä havainnoissa on se, että vaikutuksen voimakkuus ei näyttänyt riippuvan taajuudesta tai kentän voimakkuudesta kynnysarvon yläpuolella.

Tutkijat päättelivätkin havainnon viittaavan suoraan magneettiseen vuorovaikutukseen pikemmin kuin magneetikentän indusoimiin sähkökent-

Kuva 6.2 Magneettikentän stimuloiva vaikutus DNA-synteesiin

Stimulaation vaikutus ihmisen fibroblastien DNA-synteesiin on mitattu tymidiinin ottona soluihin. Tämä vaikutus on voimakaimmillaan keskellä solun jakautumiskierron S-vaihetta. (Liboff ym., 1984)



tiin ja -virtoihin. Eräs toinen tutkimusryhmä on raportoinut useissa julkaisuissa samantapaisia vaikutuksia: kahden entsyymin ($\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPaasin}$ ja sytokromioksidaasin) aktiivisuus näyttää lisääntyvän laajalla taajuusalueella muutamasta hertsistä kilohertzeihin. Vaikutuksella näyttäisi olevan alarajataajuus, joka kuitenkin oli erilainen kahdelle tutkitulle entsyymille, mutta tämän rajan yläpuolella vaikutus riippuu vain vähän taajuudesta. Vaikutus $\text{Na}^+ - \text{K}^+ - \text{ATPaasin}$ aktiivisuuteen ilmeni jo noin $0,5 \mu\text{T}$ kentänvoimakkuudella (60 Hz). Vaikutus ei enää voimistunut, kun kentänvoimakkuutta nostettiin huomattavastikin tämän kynnyksarvon yläpuolelle.

Näiden kaltaiset havainnot voivat olla potentiaalisesti tärkeitä, koska ne viittaavat vaikutuksiin varsin pienillä magneettikentän voimakkuuksilla. Nämä havainnot ovat mielenkiintoisia myös siksi, että niiden mukaan samantapaisia biologisia vaikutuksia voisi esiintyä laajalla taajuusalueella, joka ulottuu hyvin pienistä taajuuksista välitaajuuksiin. Merkillepantavaa on myös se, että Kuopion yliopistossa kananalkioilla saadut tulokset muistuttavat näitä viljellyillä soluilla saatuja tuloksia sekä taajuus- että kentänvoimakkuusriippuvuuden suhteen.

Solukasvu ja aineenvaihdunta

Välitaajuisien magneettikenttien vaikutuksia solukasvuun ja aineenvaihduntaan on myös tutkittu laajasti solukokeissa, joiden tavoitteena on ollut ymmärtää mekanismeja, jotka selittäisivät magneettikenttien menestyksellistä terapeutista käyttöä ennen kaikkea luunmurtumien hoidossa. Näissä tutkimuksissa on usein käytetty luu-, rusto- tai side-

kudossoluja ja niitä aaltomuodoltaan monimutkaisia magneettikenttiä, joita luunmurtumien hoitoon käytetyt laitteet tuottavat. Näiden hoitoon käytettävien magneettikenttien ominaisuudet vaihtelevat, mutta yleensä ne ovat pulssimaisia ja sisältävät silloin sekä hyvin pientaajuisia että välitaajuisia komponentteja. Hyvin monissa näistä kokeista on havaittu solujen kasvua ja aineenvaihduntaa stimuloivia vaikutuksia. Näitä havaintoja on vaikea käyttää terveystarvikkeiden arviointiin, sillä vaikutusten riippuvuutta taajuudesta ja kentänvoimakkuudesta ei tunneta.

Eräässä tutkimuksessa havaittiin magneettikenttien estävän rotan fibroblastien (sidekudossolujen) ja luuytimen kantasolujen kiinnittymistä alustaan. Kokeessa käytettiin 1 kHz ja 60 Hz vaihtokenttiä, staattista magneettikenttää sekä staattista ja vaihtokenttää yhdessä. Vaihtokenttien voimakkuus oli enimmillään 0,18 mT. Vaikutus havaittiin kaikissa altistusolosuhteissa, mutta oli voimakkain silloin, kun käytettiin vaihtokenttää ja staattista kenttää yhdessä. Kiinnittymiskykynsä menettäneissä soluissa havaittiin myös apoptoosille eli ohjelmoidulle solukuolemalle tyypillisiä muutoksia.

Välitaajuisien kenttien kykyä aiheuttaa DNA-vaurioita on tutkittu vain yhdessä viljellyillä soluilla tehdyssä kokeessa. Tässä kokeessa käytettiin 15,6 kHz magneettikenttää, jolla oli sahalaita-aaltomuoto ja 40 μ T voimakkuus. Magneettikenttä lisäsi metyylinitrosoguanidiinilla aiheutettujen DNA-vaurioiden määrää.

Kaiken kaikkiaan välitaajuisien kenttien solutason vaikutuksia on tutkittu vähän. Lisäksi eri kokeissa on tutkittu hyvin erilaisia biologisia vaikutuksia ja käytetty erilaisia soluja ja vaihtelevia altistusparametreja (sähkötai magneettikenttä, taajuus, kentänvoimakkuus, aaltomuoto, altistusai-ka). Tämä hajanaisuus vaikeuttaa tulosten toistettavuuden ja niiden käytännön merkityksen arviointia.

Välitaajuisien kenttien terveyshaittojen arviointia haittaa käytettävissä olevan tutkimustiedon vähyys; on nojattava oletuksiin ja ekstrapolaatioon suuremmilta ja pienemmiltä taajuuksilta. Tehdyt tutkimukset eivät ole antaneet selvää osoitusta vakavista terveyshaitoista nykyisiä altistusrajoja pienemmillä kentänvoimakkuuksilla. Lisää suoraa tietoa biologisista vaikutuksista ja terveyshaitoista kuitenkin kaivattaisiin, sillä välitaajuuskenttien määrä elinympäristössämme on kasvussa, ja joissakin yksittäisissä tutkimuksissa on havaittu vaikutuksista yllättävän heikoilla kentillä.

On myös huomattava, että välitaajuudet saattavat olla biologiselta kannalta mielivaltaisen käsite. Suurten kentänvoimakkuuksien hyvin tunnetut vaikutukset, joita on käsitelty luvussa 4, ovat periaatteessa samantapaisia koko välitaajuusalueella, mutta muiden mahdollisten vaikutusten osalta emme voi tehdä samanlaista oletusta. Ilman systemaattista tutkimustietoa ei ole mitään syytä etukäteen olettaa, että kaikki biologiset ilmiöt olisivat samanlaisia koko 300 Hz – 100 kHz alueella. Tähänastinen tutkimustieto on niin hajanaista, että sen perusteella ei voi paljontaan päätellä vaikutusten yleistettävyydestä koko taajuusalueelle.

KIRJALLISUUTTA

Matthes R, van Rongen E, Repacholi M. (eds.) Proceedings of the International Seminar on Health Effects of Exposure to Electromagnetic Fields in the Frequency Range 300 Hz to 10 MHz. ICNIRP 8/99 Maastricht: ICNIRP, 1999.

Litvak E, Foster KR, Repacholi MH. Health and safety implications of exposure to electromagnetic fields in the frequency range 300 Hz to 10 MHz. *Bioelectromagnetics*, 23: 68–8, 2002,.

Huuskonen H, Lindbohm M-L, Juutilainen J. Teratogenic and reproductive effects of low frequency magnetic fields. *Mutation Research*, 410: 167–181, 1998.

Blank M, Soo L. Frequency dependence of cytochrome oxidase activity in magnetic fields. *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 46: 139–143, 1998.

Liboff, AR, Williams T, Strong, DM, Wistar R. Time varying magnetic fields: Effect on DNA synthesis. *Science*, 223: 818–820, 1984.

