



Datasimulering av energidispositionen i huvudet på en vuxen man, en tioåring och en femåring när man har en mobiltelefon mot vänster öra. Telefonen i detta fall sänder med frekvensen 835 MHz. Färgskalan hänför sig till det s.k. SAR-värdet, dvs. Specific Absorption Rate, och anges i Watt/kg. Bilden är producerad av professor Om Gandhi, University of Utah, Salt Lake City, USA, och publiceras med hans tillstånd.

Rapport från en internationell workshop

Biologiska effekter av elektromagnetiska fält

I oktober 2002 samlades 170 forskare på Rhodos för att diskutera kunskapsläget om biologiska effekter av elektromagnetiska fält. Här rapporterar Kjell Hansson Mild och medarbetare om vad som sades. En rad undersökningar presenterades som visar på biologiska effekter vid låga, icke-termiska stråldoser.

Vid den 2:a internationella workshopen om biologiska effekter av elektromagnetiska fält som hölls i Grekland 7–11 oktober, 2002, var intresset stort för effekter av svaga mikrovågssignaler av den typ som finns vid mobiltelefoner och deras basstationer. I mötet deltog ca 170 deltagare från 40 olika länder och totalt presenterades över 150 olika föredrag och posters. Konferensrapporten var på över 1000 sidor.

Såväl kliniska tillämpningar som de

mer direkt hälsovådliga aspekterna av en fältexponering fanns representerade bland bidragen. Vi kommer här att ta upp några av de mest intressanta.

Inledande översikt av Repacholi

Inledningsanförandet på mötet hölls av dr Mike Repacholi från WHO, Genève, som är projektledare för WHO's program om elektromagnetiska fält. Han redogjorde för de olika utvärderingar av ämnesområdet som gjorts och som planeras. Vad gäller

lägfrekventa fält diskuterade han den senaste IARC-utvärderingen av magnetfält där klassificeringen blev klass 2 B – möjligen carcinogen (se Hansson Mild m fl, [1]). En total WHO-utvärdering kommer att följas upp nästa år varvid inte bara cancerfrågan skall behandlas utan även de övriga potentiella utfallen av magnetfälts-exponering som till exempel Alzheimers sjukdom, ALS, depressioner och graviditetsstörningar. På radiofrekvensområdet och särskilt då mobiltelefoner kommer IARC att göra en utvärdering tidigast 2004/2005, följt av en total WHO-utvärdering ett år senare.

Dr Repacholi tog också upp den senaste studien av Utteridge et al [2] med exponering av transgena möss för mobiltelefonssignaler. I ett experiment publicerat

1997 av Repacholi et al [3] fann man en ökning av lymfom hos de exponerade mösen jämfört med kontrolldjuren. I det nu upprepade försöket såg man ingen effekt. Emellertid skiljer sig försöken åt på flera punkter, bland annat genom att exponeringen nu är en timme per dag under fem dagar i 24 månader medan i den tidigare studien exponeringen skedde en halvtimme på morgonen innan ljuset slogs på och en andra omgång 12 h senare, 7 dagar per vecka i 18 månader. Djuren i den nya studien var placerade i plexiglastuber under exponeringen utan möjlighet att röra sig, mot att de i den första kunde röra sig fritt i sina burar. Man fann nu en mycket högre andel spontana tumörer; hela 74 procent av kontrolldjuren hade tumörer vid försökets slut mot endast 20–30 procent förväntat som i Repacholi's försök. Detta ansågs bero på viruspåverkan eller genetisk förändring av musstammen. Allt detta sammantaget, menade dr Repacholi, gör att man inte kan säga att det nu är visat att mikrovågor inte har någon effekt på cancerutveckling hos försöksdjuren.

Repacholi avslutade sitt föredrag med att konstatera att det finns så kallade icke-termiska effekter – det vill säga effekter där mikrovågsabsorptionen är så låg att en temperaturförhöjning inte är möjlig och kan förklara den biologiska effekten. Eftersom området i stort sett är utforskat beträffande påverkan på människan går det inte idag att avgöra om hälsovådliga effekter finns eller ej. Ytterligare forskning på detta område är nödvändig och WHO har på sin hemsida pekat på flera olika luckor i vår kunskap kring detta (www.who.int/emf).

Drygt 300 forskningsprojekt

I en översikt av pågående forskning på mobiltelefonområdet visade Sheila Johnston från UK att det pågår över 300 forskningsprojekt världen över. Totalt uppgår forskningsanslagen för dessa till ca 150 miljarder euro under de närmaste 2–3 åren, varav industrin bidrar med 40 procent. Forskningsatsningen gäller till exempel cancerproblematiken, genotoxicitet, nervsystemets påverkan, termiska effekter, störningar på elektronik, dosimetri samt

”anecdotal evidence”, inkluderande såväl subjektiva besvär som direkt värmepåverkan. Ungefär hälften av forskningsmedlen går till studier angående cancer.

Dr CK Chou från Motorola i USA redovisade i sitt föredrag hur mycket användning av handsfree minskar exponeringen. Baserat på datorberäkningar angav han minskad exponering från 2,0 W/kg till 0,26 W/kg med handsfree. Om dessutom mobilen var placerad nära kroppen och sladden följde kroppen minskade hjärnans exponering ytterligare till 0,02 W/kg beroende på absorption till andra kroppsdelar. Motsvarande värden i en experimentell studie var minskning från 1,2 W/kg till 0,05 W/kg med handsfree och till 0,02 W/kg med mobilen från kroppen.

Basstationer och exponering

Flera föredrag behandlade mätningar av mikrovågor från basstationer för mobiltelefoner, och en mycket samstämmig bild gavs. Medianexponeringen ligger i storleksordning 0,01–0,100 mW/m², och den högsta exponeringen är någon enstaka mW/m². Nattetid sjunker värdena med en faktor 2–4 eftersom användarantal per sta-

tion sjunker. Exponeringen är beroende av bland annat hur högt över marken antennen sitter. Antennläge 50–90 m över marken ger maximal strålning på ett avstånd av ca 300 m, lägre antenn, 15–20 m över marken, på cirka 50 m. Generellt sett uppmäts låga värden på avstånd > 750 m. Till detta kommer andra faktorer som riktning på antennen, uteffekten och topografi.

Det gällande riktvärdet för Europa är 4,5 W/m² (EU har antagit ICNIRP (1998) [4] som gällande rekommendation) och här ligger man alltså mycket långt under. För yrkesmässig exponering kan man faktiskt komma inom några centimeter ifrån antennen innan ICNIRP-rekommendationen överskridits.

Dessa värden skall jämföras med striktare gränsvärdesättning i en del länder som Belgien 1,2 W/m², Schweiz och Italien 90 mW/m² och enligt Salzburgerresolutionen 1 mW/m².

Tre av presentationerna behandlade subjektiva besvär kopplade till elektromagnetiska fält och speciellt basstationer. Dessa tre kom från Spanien, Schweiz, och Österrike. I studien av Hutter och medarbetare från Österrike ingick faktiska mätningar av radiofrekventa fält (RF) i bostaden som en del i en studie av omgivningshygieniska faktorer som buller och luftkvalitet. Mätningarna föregicks av en enkätstudie om symtom. Av de 365 som enkäten skickades till deltog 336 i de fortsatta fältstudierna. Vid mättillfället genomfördes ett antal kognitiva test samt frågeformulär angående sömnsvårigheter. Inga samband mellan sömnsvårigheter, de olika testen och uppmätt RF i bostad förelåg. Däremot fanns ett samband mellan kardiovaskulära symtom och RF, både för gruppen som ansåg sig oroad av basstationernas eventuella påverkan på hälsan och de som inte oroade sig.

Gómez-Perretta från Spanien presenterade en studie där man skickat ut 2000 frågeformulär om olika subjektiva symptom om något som betecknades ”mikrovågsyndromet” till personer inom ett begränsat område. Fyra svarsalternativ fanns för de 16 frågorna, från inga besvär till mycket ofta. Mätningar av RF genomfördes i bostaden hos de 97 personer som inkom-



Repacholi avslutade sitt föredrag med att konstatera att det finns så kallade icke-termiska effekter – det vill säga effekter där mikrovågsabsorptionen är så låg att en temperaturförhöjning inte är möjlig.



mit med enkätsvar. Viss korrelation kunde ses mellan graden av symtom och uppmätta RF-värden men studiernas upplägg var dock sådan att frågeställningen symtom och närhet till basstation och /eller exponering för RF måste tolkas med stor försiktighet.

Studien från Schweiz fokuserade på symtombild hos personer som ansåg att deras besvär relaterades till exponering för elektromagnetiska fält. Vanligast var sömnsvärigheter (59%), huvudvärk (43%), nervösa besvär (20%), koncentrationssvärigheter (18%) och trötthet 16%. Symptomen relaterades vanligast till basstationer (78%), mobiltelefoner (38%) och kraftledningar (28%).

Av den efterföljande diskussionen framkom att ett behov finns för en väl upplagd studie angående subjektiva besvär och exponering för RF från basstationer.

Laboratoriestudier

David De Pomerai från England visade i nya försök med rundmasken *C. elegans* att exponering för mikrovågor, 1,0 GHz, under 2–20 h med SAR-värden i storleksordning 20–30 mW/kg inducerar en heat shock protein (hsp) respons. Detta är en effekt som sker utan att en temperaturförhöjning kan mätas och karakteriseras därför som en icke-termisk effekt. De Pomerai diskuterade möjliga växelverkningsmekanismer och en var att mikrovågorna påverkade proteinkonfigurationen och detta i sin tur utlöste hsp-reaktionen. Han har andra försök under publicering som stöder en proteinkonfigurationsförändring i samband med exponeringen, och detta skulle i sin tur – om verifierat av andra – kunna vara en mekanism bakom uppkomsten av sjukdomar som Alzheimer och ALS, vilka båda satts i samband med EMF-exponering.

Blod järnbarriären

Dariusz Leczcynski från STUK, Helsingfors, hade arrangerat två sessioner kring den nya tekniken kring genomik och proteomik. Han höll själv ett mycket uppskattat föredrag kring de studier han och hans grupp gjort på humana endotelceller som exponerats för mikrovågor motsva-

rande dem från en mobiltelefon. Han visade på att cellerna efter en timmes exponering svarade med en ökning av fosforyleringen av heat shock protein 27 (hsp27). Ökningen var direkt relaterad till styrkan på exponeringen. Cellerna svarade också med en ökande produktion av stressfibrer vilket i sin tur ledde till att cellerna ändrade både form och storlek. Han menade att detta skulle kunna vara en mekanism både för de effekter andra funnit i form av ökat läckage av albumin över blod-hjärnbarriären, och för cancerutveckling. Forskargruppen studerar även induktion av olika gener. Möjligheten av nedreglering av vissa gener som inducerar programmerad celdöd (apoptos) diskuterades vilket är av intresse med hänsyn till risken för cancer. Samtliga dessa resultat utgör icke-termiska effekter. En del av de resultat han presenterade finns publicerade [5].

Jacob Eberhardt från Lunds universitet redogjorde för de försök han gjort tillsammans med professorerna Bertil Persson och Leif Salford på råtta om påverkan på blod-hjärnbarriären av mikrovågor. Gruppen har nu exponerat över 1600 djur för



Jacob Eberhardt från Lunds universitet redogjorde för de försök han gjort tillsammans med professorerna Bertil Persson och Leif Salford på råtta om påverkan på blod-hjärnbarriären av mikrovågor.

mikrovågor med mycket låga absorptionsvärden. De finner att läckaget över blodhjärnbarriären ökar vid såväl 900 MHz som 1800 MHz och de största effekterna finns i området kring enstaka mW/kg och lägre. De har nu fortsatt dessa studier och undersökt skadade neuroner i råttjärnan efter mikrovågsexponeringen i området 0,002 till 0,2 W/kg. De finner ett linjärt dosrespons samband med SAR-värdena och andelen skadade neuroner (dark neurons). I sin diskussion av dessa resultat nämnde han att dessa effekter skulle kunna vara inblandade i sjukdomar med autoimmunt inslag som MS, Alzheimer och ALS.

Dr H. Hirbec från Frankrike redogjorde för sina försök med råtta som exponerats för 900 MHz, 6 W/kg under 15 min. De såg en dosberoende sänkning av cerebellärt GABA och en stark glial reaktion i cortex, hippocampus och striatum. Däremot fann man inte vid detta försök någon signifikant påverkan på beteendet, varken omedelbart eller efter 24 timmars exponering. Fyra dagar efter exponeringen kunde de se en ökad tillväxt av astrocyter. Slutsatsen drogs att akut exponering av 900 MHz EMF ändrar neurotransmittor-systemet och inducerar glial reaktion på flera hjärnstrukturer, men att ytterligare studier behövs för att studera effekterna av lång eller kronisk exponering. Detta var ytterligare ett exempel på icke termiska effekter. Det förtjänar att påpekas att en studie på zebrafiskar nyligen publicerats som visar påverkan av aktiviteten i neuroner i hjärnan vid exponering för GSM 900 MHz 0,1 mW/cm² – en icke termisk effekt [6].

Ett arbete av Trosic m.fl. visade ökad bildning av mikrokärnor i perifert blod hos råtta efter exponering för 2450 MHz RF mikrovågor, 5–15 mW/cm² två timmar dagligen under en månad. Kuokka från Finland rapporterade fynd om brett spektrum av olika signalsystem som påverkas vid RF-exponering. Det rörde sig om ett flertal proteiner och gener som aktiveras av mikrovågsstrålning. Dr Kwee från Danmark rapporterade intressanta fynd om ökning av heat shock protein 70 (hsp 70) samt signifikant ökning av cellproliferation i cellkultur av humana amnionceller. ➤

Detta sågs både efter exponering för 50 Hz, 80 mT ELF EMF och 960 MHz GSM med SAR 2,1 mW/kg.

Epidemiologiska studier

Vår publicerade epidemiologiska studie om cancerrisker och mobiltelefoni diskuterades [7]. Vi redovisade det fortsatta analysarbetet av undersökningen. Genom att göra en omatchad logistisk regression med justering för ålder, kön och socioekonomiskt index kan hela materialet inkluderas i analysen motsvarande 1 429 fall och 1 470 kontroller. Det tidigare fyndet om signifikant överrisk för analoga mobiltelefoner bekräftades, OR=1,3, 95% CI= 1,04–1,6. Ipsilateral användning ökade risken till OR=1,7, 95% CI=1,2–2,3, jämfört med contralateral användning OR=1,0, 95% CI=0,7–1,4. För astrocytom var motsvarande resultat för ipsilateral användning OR=1,8, 95% CI=1,1–3,2, jämfört med för contralateral användning OR=1,1, 95% CI=0,6–2,3. Den största risken påvisades för tumörer i tinningregionen och för acuticusneurinom. Riskökningen på 30% motsvarar 57 extra tumörfall i studien (etiologisk fraktion 4%). Resultaten har publicerats i sin helhet [8].

Kliniska försök

Behandling av svårläkta benfrakturer, så kallade non-unions, med pulsade magnetfält är sedan länge en etablerad metod, bland annat godkänd av amerikanska

FDA. Nu visade MK MacDonald och medarbetare att även svaga elektriska fält kan göra samma sak. Med hjälp av en batteridriven enhet (stor som en fjärrkontroll till en TV) och två mjuka elektrodplattor hade de framgångsrikt behandlat 155 patienter med svårläkta frakturer varav 76 procent var framgångsrika. Det elektriska fältet de använt hade en frekvens på 58 kHz och var amplitudmodulerat med 16 Hz.

Slutord

Sammanfattningsvis visade konferensen på ett stort intresse och engagemang inom forskningsområdet elektromagnetiska fält. Genom användandet av nya metoder inom gentekniken har möjligheter att studera kausala biologiska effekter ökat. Helt klart finns nu en rad undersökningar som visar på biologiska effekter vid låga, icke-termiska stråldoser, och en upprepning av dessa studier på andra laboratorier är önskvärd. De mekanistiska studierna pekar på möjliga vägar för till exempel påverkan av blod-hjärnbarriären i djurstudier och den ökade cancerrisken som rapporterats för människan. De biologiska effekterna indikerar vidare att en ökad risk för kroniska neurodegenerativa sjukdomar kan finnas på lång sikt och bör studeras vidare. Likaså är fortsatta studier av risken för hjärntumörer, särskilt för GSM och trådlösa telefoner, nödvändig att utreda. Den snabba utbyggnaden av basstationer och den oro som finns om eventuell hälsopåverkan

pekar på behovet av väl designade studier av boende i närområdet.

För den mer fullständiga rapporteringen hänvisas till konferenspublikationen: (http://www.uoi.gr/conf_sem/bioeffects/).

Kjell Hansson Mild^{1,2},
Professor

Lennart Hardell^{2,3}
Professor, överläkare,

*Arne Hallquist*⁴
Med dr överläkare

*Monica Sandström*¹
Dr Med Vet.

1. Arbetslivsinstitutet, Umeå
2. Institutionen för Naturvetenskap, Örebro universitet
3. Onkologiska kliniken, Örebro universitetssjukhus
4. Institutionen för Onkologi/Patologi, Radiumhemmet, KI, Stockholm

Litteratur

1. Hansson Mild K, Hamnerius Y, Hardell L, Mattsson M-O, Sandström M. Internationell konsensus om lågfrekventa fält: "Möjlig cancerframkallande". Läkartidningen nr 46, vol 98, 2001, pp 5188-5191.
2. Utteridge TD, Gebiski V, Finnie JW, Vernon-Roberts B, Kuchel TR. Long-term exposure of Eμ-Pim1 transgenic mice to 898.4 MHz microwaves does not increase lymphoma incidence. Radiation Research, 158, pp 357-364, 2002.
3. Repacholi MH, Basten A, Gebiski V, et al. Lymphomas in Eμ-Pim1 transgenic

mice exposed to pulsed 900 MHz electromagnetic fields. Radiat Res 147, 631-640, 1997.

4. ICNIRP. Guidelines for limiting exposure to time-varying electric, magnetic, and electromagnetic fields (up to 300 GHz). Health Physics 74: 494-522, 1998.
5. Leszczynski D, Joenväärä S, Reivinen J, and Kuokka R. Non-thermal activation of the hsp27/p38MAPK stress pathway by mobile phone radiation in human endothelial cells: Molecular mechanisms for cancer- and blood-brain barrier-related effects. Differentiation 70, pp 120-129, 2002.
6. Beason-Held RC, Semm P. Responses of

neurons to an amplitude modulated microwave stimulus. Neuroscience Letters 33, 175-178.

7. Hardell L, Hallquist A, Hansson Mild K, Carlberg M, Pahlson A, Lilja A. Cellular and cordless telephones and the risk for brain tumours. Eur J Cancer Prev 2002; 11:377-386.
8. Hardell L, Hansson Mild K, Carlberg M. Further aspects on cellular and cordless telephones and brain tumours. Int J Oncology 22, 399-407, 2003.