

# Mobiltelefoni – kan det påvirke blod-hjerne-barrieren?

Professor Olaf B. Paulson

H:S Rigshospitalet, Neurobiologisk Forskningsenhed

Debatten om mobiltelefoner og sendemaster går højt for tiden, og som så ofte er holdningerne præget af emotioner i mindst lige så høj grad som af facts. Specielt har der været megen debat og ængstelse om selve sendemasterne til mobiltelefoni. Dette på trods af at den stråling, vi måtte udsættes for fra disse master, kun er en brøkdel af den stråling, man udsættes for ved brug af en mobiltelefon. Man skal således stå få meter foran (ikke under) en sendemast for at blive udsat for flere radiobølger end dem, man udsættes for, når man taler i en mobiltelefon. I praksis betyder det, at radiobølgerne fra sendemasten er betydeligt lavere end radiobølgerne fra mobiltelefonerne, og med afstanden falder de hurtigt til niveauet for baggrundsmængden af radiobølger. Det er således radiobølger i almindelighed, der burde have langt større interesse end sendemasterne. Men uanset disse betragtninger er spørgsmålet om en evt. biologisk og specielt en skadelig biologisk effekt af radiobølger af stor interesse i betragtning af, at der hele tiden, stort set uafhængigt af hvor vi befinder os, er radiobølger i omgivelserne. Dette indlæg indskrænker sig til at diskutere evt. biologiske effekter af radiobølger på blod-hjerne-barrieren.

Spørgsmålet om, hvorvidt radiobølger påvirker eller ikke påvirker blod-hjerne-barrieren, var emne for et nyligt afholdt møde, der var arrangeret af Forschungsgemeinschaft Funk EV og afholdt på Schloss Reisenburg i Tyskland den 2.-6. november 2003. Mødet, hvis titel var »The blood-brain barrier – can it be influenced by RF field?«, kan således siges at være højaktuelt. Ved mødet var der indbudt 54 forskere, der havde arbejdet med blod-hjerne-barrieren, og specielt de forskere, som havde undersøgt en mulig indvirkning af radiobølger (mikrobølger, RF-field) på blod-hjerne-barrieren. Forskningsresultaterne kan i høj grad siges at være modstridende. Nærværende statusartikel søger at give et overblik over de fremlagte resultater og at pege på veje, som kan bidrage til yderligere afklaring af de spørgsmål, som blev diskuteret ved mødets slutning.

Blod-hjerne-barrieren er karakteriseret ved, at endotelcellerne er bundet helt fast sammen, dvs. at der ingen porer eller sprækker er mellem de enkelte celler. Herved adskiller hjernens karseng sig fra karsengen i de fleste andre organer [1, 2]. Blod-hjerne-barrieren tillader ikke vandopløselige molekyler at passere, medmindre der er specielle transportmekanismer,

som f.eks. for glukose. Herved opretholder blod-hjerne-barrieren et meget konstant mikrokemisk miljø omkring hjernecellerne.

*Leif Salford & Bertil Perssons* gruppe fra Lund hører til de første, som viste, at radiobølger muligvis kunne have en indvirkning på blod-hjerne-barrieren [3-6]. De observerede, at serumalbumin enkelte steder i hjernen kunne passere blodkarrene og komme ind i hjernevævet. Dette sås hos 17% af kontroldyrerne, og hos 50% af de dyr, som havde været eksponeret for radiobølger. Det helt påfaldende og uforståelige var, at jo mindre dosis af radiobølger var, jo mere udtalt var den øgede forekomst af albumin, som var trængt ud af karrene. Skulle dette oversættes til almindelig mobiltelefoni, ville det betyde, at der rent faktisk var mere påvirkning af hjernen, hvis man stod et par meter fra mobiltelefonen, end hvis man holdt den i hånden og talte i den. Et af *Salford & Perssons* nyere fund var, at de så flere »mørke« nerverceller i hjernen hos dyr, der havde været eksponeret for radiobølger, men tolkningen af dette er endnu usikkert. *Salford & Perssons* materiale er omfattende med undersøgelse af ca. 1.600 dyr, men ikke desto mindre kan der rettes væsentlig kritik mod det: Undersøgelserne har strakt sig over 14 år og er ikke fra starten tilrettelagt mhp. at påvise ganske små forandringer. Det er således usikkert, i hvilken udstrækning kontroldyrerne og forsøgsdyrene er sammenlignelige mht. kønsfordeling og alder, faktorer som kan have en indflydelse. Ligeledes blev der i starten lavet færre kontrolundersøgelser end undersøgelser af eksponerede dyr, hvilket der senere er rettet op på. I betragtning af at det er meget små ændringer, man har set ved udsættelse for radiobølger, er disse faktorer overordentlig vigtige og rejser en vis usikkerhed mht. undersøgelsesresultat.

*Konstantin-Alexander Hossmanns* gruppe fra Köln havde lavet lignende undersøgelser med en lidt anden metode [7, 8]. En væsentlig observation i deres undersøgelser var, at alene det at sætte rotterne ind i et lille bur, hvor de skulle eksponeres for radiobølger, havde en indflydelse på de variable, man ønskede at måle. Mængden af steder, hvor albumin trængte ud af blodkarrene, var således højere hos de rotter, der var sat i burene uden at være eksponeret, end hos de rotter, som gik frit omkring. Hvad angik antallet af steder, hvor albumin var trængt ud af karrene, var dette lidt større hos de rotter, som var eksponerede for radiobølger end hos kontroldyrerne, når begge grupper var anbragt i de specielle bure. Materialet var forholdsvist lille, og *Hossmann* selv var af den opfattelse, at det ikke havde nogen patologisk betydning, hvorfor han ikke forfulgte sagen yderligere.

*Stephanie Millers* gruppe fra National Airforce i USA havde

## VIDENSKAB OG PRAKSIS | STATUSARTIKEL

lavet nogle omfattende undersøgelser [9]. En undersøgelse, der omhandlede pyridostigmins passage over blod-hjernebarrieren blev udført for at undersøge, om radiobølger kunne medføre, at pyridostigmin gik over blod-hjernebarrieren og påvirkede hjernen. Undersøgelsen gav et helt negativt resultat. Den anden undersøgelse, hun havde stået for, var en på alle måder gennemarbejdet og gennemkontrolleret undersøgelse af albumins passage over blod-hjernebarrieren og af den mulige indflydelse af radiobølger herpå. Undersøgelsen er nu afsluttet, men som man gør ved undersøgelser, hvor man leder efter margineffekter, er alle dyr og al eksponering kodet. Først når resultaterne er endeligt analyserede, bliver koden brudt; det forventes at ske om et halvt år, og disse resultater afventes selvsagt med den største interesse.

*John W. Finnies* gruppe fra Australien har eksponeret mus for radiobølger i lang tid (to år), uden at det førte til påviselige ændringer i blod-hjernebarrieren [10, 11]. Undersøgelserne fortsætter.

*James C. Lins* gruppe fra Chicago havde interesse for stoffers passage over blod-hjernebarrieren, idet en øget passage kan have terapeutisk betydning ved behandling af cancersygdomme i hjernen. De havde derfor undersøgt passagen af fluorescerende stoffer, af farvestoffer og af methotrexat over blod-hjernebarrieren ved eksponering for radiobølger [12-15]. De brugte doser af radiobølger, som var helt op til 1.000 gange større end de doser, som *Salford* havde brugt. Ved anvendelse af så store doser af radiobølger sker der en opvarmning af hjernevævet. Ved radiobølger anvendt som f.eks. i mobiltelefoner er opvarmningen minimal og fjernes hele tiden med det cirkulerende blod, men ved brug af de store doser kunne hjernevævet opvarmes helt op til 42 °C og 43 °C, og da var der utætheder i blod-hjernebarrieren. Dette var ikke tilfældet ved brug af mindre dosis radiobølger, som ikke opvarmede hjernevævet så meget. Hos de dyr, der fik de største doser radiobølger, havde han undersøgt en anden gruppe, som havde fået alkohol for at nedbringe legemstemperaturen. Disse alkoholnedkølede dyr fik ingen forandringer i blod-hjernebarrieren, selv om de blev udsat for de samme høje doser af radiobølger.

En japansk gruppe med *H. Masuda* & *S. Hirota* havde udført omhyggelige undersøgelser med et specielt implanteret kranievindue for at iagttage en række karakteristika ved de små arteriekar på hjernens overflade, som har en klar tilknytning til blod-hjernebarrieren, om end de ikke repræsenterer selve blod-hjernebarrieren [16-18]. En række karakteristika blev undersøgt: cirkulationsforhold, de hvide blodlegemers opførsel og passagen af fluorescerende stoffer. Resultaterne var helt negative, radiobølgerne havde ingen indflydelse på passagen over blod-hjernebarrieren.

*Pierre Aubineau* fra Bordeaux forelagde nogle resultater, hvor han hos enkelte forsøgsdyr, der var udsat for radiobølger, havde iagttaget en øget permeabilitet for albumin og således bekræftede *Leif Salford* & *Bertil Perssons* resultater. Hans

fund blev dog forelagt i præliminær form og tillader ikke, at referenten vurderer dem nærmere.

*Volkert Hansen* og *Helmut Frankes* grupper fra to institutter i Tyskland havde lavet nogle in vitro-undersøgelser af endotelcellekulturer, som blev udsat for radiobølger [19, 20]. Opsætningen var overordentlig sofistikeret med kontrol af alle mulige parametre, og kun computeren vidste, om den enkelte cellekultur var eller ikke var blevet eksponeret for radiobølger, idet computeren styrede dette ved tilfældighedens princip. Når alle data var gjort op, kunne computeren så rubricere de enkelte undersøgelser korrekt. Der var ingen tegn på, at radiobølger påvirkede disse vævskulturer.

*Dariusz Leszczynskis* gruppe fra Finland havde undersøgt proteinsyntese og specielt *heat-shock* og relaterede proteiner i vævskulturer udsat for radiobølger [21]. Han fandt aktivering af proteiner som det, man ser ved let temperaturstigning, selv om radiobølgerne ikke fremkaldte en tilsvarende temperaturstigning.

*Hugo Kroeze et al* fra Holland forelagde resultater over beregning af temperaturstigning [22]. Ved udsættelse for radiobølger, som var 10-100 gange kraftigere, end det man almindeligvis ser ved brug af mobiltelefon, ville hudtemperaturen stige 0,16 °C og hjernetemperaturen ville stige 0,13 °C.

Sammenfattende vil referenten mene, at den viden, vi har om en mulig påvirkning af blod-hjernebarrieren ved brug af mobiltelefoner, ikke kan give anledning til bekymring. Udsættelse for massive doser af radiobølger har, så længe der ikke er massiv temperaturstigning, ikke haft nogen påviselig indflydelse på blod-hjernebarrieren. Undersøgelser ved lavere doser af radiobølger svarende til dem, der udsendes fra mobiltelefoner, har været kontroversielle og har ikke kunnet give faste holdepunkter for, at der i det hele taget er en påvirkning af blod-hjernebarrieren. Flere undersøgelser vil blive offentliggjort inden for de kommende år, og disse afventes selvsagt med spænding.

### Afsluttende betragtninger

Vi ved, at nogle trækfugle navigerer ved på en eller anden måde at registrere jordmagnetismens retning. Magnetismen og muligvis radiobølger kan således have en biologisk effekt. Men et spørgsmål er, i hvilken udstrækning der kan være biologiske effekter af radiobølger og magnetfelter, et andet spørgsmål er, om sådanne biologiske effekter kan være skadelige. I nærværende indlæg er en eventuel effekt på blod-hjernebarrieren diskuteret, og det konkluderes, at der næppe er nogen påvirkning af blod-hjernebarrieren, medmindre det drejer sig om ekstensivt store mængder radiobølger, så store, at de fører til en væsentlig temperaturstigning. Men der er også andre biologiske mekanismer end blod-hjernebarrieren, som kunne tænkes at blive påvirket af radiobølger. Dog er der indtil videre ikke fundet sikre tegn på en biologisk effekt og derfor heller ingen særlig grund til ængstelse. Havde det været en virkning eller bivirkning af et medikament eller af en an-

## VIDENSKAB OG PRAKSIS | STATUSARTIKEL

den behandlingsform, man havde undersøgt, ville man være nået frem til, at en eventuel biologisk effekt måtte være så minimal, at man måtte opgive at lede efter den. Men i betragtning af den enorme udbredelse af radiobølger og daglige brug af instrumenter, som udsender radiobølger, har spørgsmålet alligevel fået interesse for folkesundheden. Den fortsatte udvikling og forskning følges derfor med opmærksomhed. Bekæmpelsen af mange alvorlige sygdomme og vor forventede stadigt øgede levetid gør, at vi i stigende grad får interesse i og mulighed for at vurdere sundhedsproblemer, som forudsætter meget nøje kontrollerede undersøgelser og store materialer, for at man i det hele taget kan påvise en effekt. Den teknologiske udvikling giver os også mulighed for at tage nye metoder i brug til vurdering af sådanne sundhedsproblemer.

Korrespondance: *Olaf B. Paulson*, Neurobiologisk Forskningsenhed 9201, H:S Rigshospitalet, Blegdamsvej 9, DK-2100 København Ø.  
E-mail: paulson@nru.dk

Antaget: 27. februar 2004

Interessekonflikter: Ingen angivet

## Litteratur

- Kuschinsky W, Paulson OB. Capillary circulation in the brain. *Cerebrovasc Brain Metab Rev* 1992;4:261-86.
- Begley DJ, Brightman MW. Structural and functional aspects of the blood-brain barrier. I: Prokai L, Prokai-Tatrai K, eds. *Progress in drug research* 2003;61:40-78.
- Persson BRR, Salford LG, Brun A et al. Increased permeability of the blood-brain barrier induced by magnetic and electromagnetic fields. *Ann NY Acad Sci* 1992;649:356-8.
- Salford LG, Brun A, Eberhardt JL et al. Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, and 200 Hz. *Bioelectrochem Bioenerg* 1993;30:293-301.
- Salford LG, Brun A, Stureson K et al. Permeability of the blood-brain barrier induced by 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50, and 200 Hz. *Microsc Res Technique* 1994;27:535-42.
- Salford LG, Brun AE, Eberhardt JL et al. Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *J Natl Instit Environ Health Sciences* 2003;1-17.
- Fritze K, Sommer C, Schmitz B et al. Effect of global system for mobile communication (GSM) microwave exposure on blood-brain barrier permeability in rat. *Acta Neuropathol* 1997;94:465-70.
- Hossmann KA, Hermann DM. Effects of electromagnetic radiation of mobile phones on the central nervous system. *Bioelectromagnetics* 2003;24:49-62.
- Miller SA, Merritt JH, Murphy MR et al. The Air Force Research Laboratory's current blood-brain barrier (BBB) research effort. [www.cost281.org/download.php?fid=354/feb 2004](http://www.cost281.org/download.php?fid=354/feb 2004).
- Finnie JW, Blumenbergs PC, Manavis J et al. Effect of global system for mobile communication (GSM)-like radiofrequency fields on vascular permeability in mouse brain. *Pathology* 2001;33:338-40.
- Finnie JW, Blumenbergs PC, Manavis J et al. Effect of long-term mobile communication microwave exposure on vascular permeability in mouse brain. *Pathology* 2002;34:344-7.
- Lin JC, Yuan PMK, Jung DT. Enhancement of anticancer drug delivery to the brain by microwave induced hyperthermia. *Bioelectrochem Bioenerg* 1998;47:259-64.
- Goldman H, Lin JC, Murphy MF. Cerebral permeability to <sup>86</sup>Rb in the rat after exposure to pulsed microwaves. *Bioelectromagnetics* 1984;5:323-30.
- Neilly JP, Lin JC. Interaction of microwaves on the blood-brain barrier of rats. *Bioelectromagnetics* 1986;7:405-14.
- Lin JC, Lin MF. Studies on microwave and blood-barrier interaction. *Bioelectromagnetics* 1980;1:313-23.
- Tsurita G, Nagawa H, Ueno S et al. Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. *Bioelectromagnetics* 2000;21:364-71.
- Masuda H, Wake K, Watanabe S et al. Acute effects of local exposure to radio-frequency electromagnetic fields on the cerebral microcirculation in rats. <http://bioelectromagnetics.org/doc/bems2001-abstracts.pdf/> feb 2004.
- Masuda H, Wake K, Watanabe S et al. Sub-chronic effects of local exposure to radio-frequency electromagnetic fields on the cerebral microcirculation in rats. <http://bioelectromagnetics.org/doc/bems2001-abstracts.pdf/> feb 2004.
- Bitz A, Streckert J, Hansen V. RF exposure system for blood brain barrier model enabling on-line LF spectral impedance measurements. [www.cost281.org/download.php?fid=348/](http://www.cost281.org/download.php?fid=348/) feb 2004.
- Franke H. Effects of mobile phone radiation on the function of the blood-brain-barrier in vitro [www.cost281.org/download.php?fid=350/](http://www.cost281.org/download.php?fid=350/) feb 2004.
- Leszczynski D. Mobile phones and blood-brain barrier: The available scientific evidence is insufficient to dismiss or to support claims of a health risk in humans. [www.cost281.org/download.php?fid=349/](http://www.cost281.org/download.php?fid=349/) feb 2004.
- Kroeze H, Flyckt VMM, van de Kamer JB et al. Thermal and RF modelling of cellular phone exposure. [www.cost281.org/download.php?fid=347/feb 2004](http://www.cost281.org/download.php?fid=347/feb 2004).