

Zum Stand der Forschung auf diesem Gebiet

Beeinflussen Felder des Mobilfunks die Blut-Hirn-Schranke?

Roland Glaser

Immer wieder wird die Öffentlichkeit durch Berichte verunsichert, wonach beim Telefonieren mit einem Handy eine Öffnung der Blut-Hirn-Schranke (BHS) erfolgen könnte, und Nervenschäden oder gar Hirntumoren die Folge wären. Wie ernst sind solche Warnungen zu nehmen und wie sicher schützen uns die geltenden Grenzwerte vor dieser Gefahr?

Zunächst ist festzustellen, dass die BHS kein zusammenhängendes und anatomisch lokalisierbares Organ ist, sondern eine Besonderheit der Blutkapillaren in den meisten Hirnbezirken. Um das Gehirn, als empfindlichstes Organ im menschlichen Körper, vor toxischen Stoffen zu schützen, ist das Kapillarendothel an diesen Stellen durch spezielle Abdichtungsmechanismen für bestimmte Stoffe schwer oder gar nicht durchlässig. Lediglich die für die Zellatmung erforderlichen gelösten Gase: Sauerstoff und Kohlendioxid, sowie Nährstoffe wie D-Glukose-, D-Hexose und L-Aminosäuren, sowie lipidlösliche Moleküle (u.a. auch Alkohol!), können diese Barriere durchdringen. Bei Stress-Situationen, Schädeltrauma und verschiedenen Krankheiten kann es zu einer Störung dieser Barriere kommen; Veränderungen, die in

der Regel schnell wieder repariert werden (Blasberg et al. 79).

Man hat schon frühzeitig daran gedacht, dass hochfrequente Felder durch Erwärmung quasi ein künstliches Fieber erzeugen und damit zur Beeinflussung der BHS führen könnten. Dies wäre als unerwünschter Nebeneffekt bei der so genannten Kurzwellen-Therapie zu beachten, könnte andererseits vielleicht aber auch genutzt werden, um Pharmaka in das Gehirn einzuführen (Lin et al. 98). Deshalb wird dieser Effekte schon seit drei Jahrzehnten untersucht.

Erste Tierversuche im Zusammenhang mit möglichen Schäden der BHS durch Funk- und Radar-Felder wurden in den 70-er Jahren von Frey et al. durchgeführt, die zunächst auch daran dachten auf diese Weise Cancerostatica in das Gehirn zu befördern (Frey et al. 75, Frey 79). Sutton und Carroll (79) wiesen darauf hin, dass bei Ratten eine Erwärmung des Gehirns auf 45°C durch ein 2450 MHz-Feld zu einer verstärkten Proteinaufnahme führt.

Oscar und Hawkins (77) untersuchten die Aufnahme ¹⁴C-markierter Zucker unterschiedlichen Molekulargewichts bei Ratten, die mit verschiedenen Leistungsdichten kontinuierlicher und gepulster Felder von 1,3 GHz bestrahlt wurden. Während Dextran mit einem Molekulargewicht (MG) von 60.000-75.000 überhaupt nicht aufgenommen wurde, fanden sie für Mannitol (MG = 182,2) und Inulin (MG = 5.000-5.500) eine Aufnahme-Intensität als Funktion der applizierten Leistungsflussdichte, die ein Maximum bei etwa 10 W/m² aufwies. Pulse gleicher mittlerer Leistungs-

flusssdichte, aber unterschiedlicher Länge und Frequenz zeigten unterschiedliche Aufnahme-Intensitäten. Diese Ergebnisse konnten allerdings später nicht bestätigt werden (Merrit et al. 78, Preston et al. 79, Gruenau et al. 82, Ward et al. 82, 85).

Wie ist diese Widersprüchlichkeit der verschiedenen Untersuchungen zu erklären? Offenbar gibt es eine Reihe von methodischen Schwierigkeiten, die leicht zu Fehlinterpretationen führen können (Rapport et al. 79, Williams, Hoss et al. 84, Williams, Plattner et al. 84). So kann z.B. eine Veränderung der Kapillar-Durchblutung den Durchtritt von Substanzen geringfügig erhöhen, ohne dass es dabei zu einer Änderung der normalen Permeabilität käme. Gravierender noch sind Artefakte, die bei der Präparation des Gehirns und seiner histologischen Bearbeitung auftreten können: erfolgt die Fixierung bzw. das Einfrieren des Gewebes nicht sachgemäß, so kann die zu untersuchende Substanz während dieses Prozesses die BHS durchdringen; bei Lagerung des präparierten Gehirnes kann es zur Diffusion dieser Substanzen aus Hirnbereichen kommen, die nicht durch eine BHS geschützt sind; es können schließlich Verschmierungen der Indikatorsubstanzen beim Präparieren und insbesondere bei der Anfertigung histologischer Schnitte auftreten. Da die BHS unzweifelhaft bei deutlicher Erwärmung für große Moleküle durchlässig wird, ist bei den Experimenten ferner eine genaue Dosimetrie erforderlich. Eine Fehleinschätzung des lokalen SAR-Wertes im Gehirn bei der Applikation von HF-Feldern kann leicht zu einem solchen thermisch bedingten Effekt führen.

In verschiedenen Arbeiten zeigten Salford et al. (92, 93, 94), sowie Persson, Salford et al. (92) mit histochemischen Techniken, dass sowohl gepulste, als auch kontinuierliche 915 MHz- Felder in der Lage sind, die BHS vorübergehend für Plasma-Albumin zu öffnen. Leider fehlen in diesen Arbeiten zuverlässige Angaben über Leistungsdichte und SAR-Werte. Trotzdem

wurden diese Ergebnisse viel beachtet und es gab verschiedene Versuche, die Resultate zu verifizieren. Fritze et al. (97) exponierten Ratten im Verlaufe von 4 Stunden mit diesen Frequenzen, wobei verschiedene SAR-Werte von 0,3 bis 7,5 W/kg appliziert wurden. Diese Autoren konnten nur bei der extremen Befeldung mit 7,5 W/kg, die mit Sicherheit zu einer Erwärmung im Gehirn führte, signifikante Albumin-Übertritte in das Gehirn feststellen. Selbst dieser Effekt war jedoch gering im Vergleich zu den Effekten mit Positiv-Kontrollen, bei denen die Tiere einem Kälteschock ausgesetzt wurden. Zum gleichen Thema erschienen kürzlich zwei Publikationen von Finnie et al. (01, 02). In der ersten Publikation berichtet diese australische Arbeitsgruppe über Versuche mit einstündiger Befeldung von Mäusen bei SAR-Werten von 4 W/kg (898,4 MHz, 217 Hz gepulst). Im Gegensatz zu den Positiv-Kontrollen nach Applikation von Clostridium-Toxin, konnte kein Unterschied zwischen exponierten und nicht-exponierten Tieren gefunden werden. In der zweiten Publikation ging man der Frage nach, ob nicht vielleicht eine Langzeitexposition zu einem Durchtritt von

Albumin in das Gehirn führen könnte. Im Verlaufe von 104 Wochen wurden die Mäuse an 5 Tagen pro Woche für je eine Stunde einem 900 MHz-Fernfeld ausgesetzt, wobei SAR-Werte von 0,25 bis 4 W/kg erreicht wurden. Im Extremfall konnte bei diesen Langzeit-Experimenten geringfügige Albumin-Spuren im Gehirn gefunden werden, die jedoch vernachlässigbar waren im Vergleich zu dem Effekten, welche das Toxin erzeugte.

Auch Versuche zum Durchtritt anderer Substanzen durch die BHS unter dem Einfluss von Hochfrequenz-Feldern mit Intensitäten unterhalb der Grenzwerte zeigten keine Resultate (Lange et al. 91, Lin et al. 98, Masuda et al. 01, 02). Erwähnt sei noch eine japanische Arbeit von Tsurita et al. (2000). Hier wurden Ratten mit Feldern des japanischen TDMA-Standards für 2 Stunden pro Tag über 2 bis 4 Wochen bestrahlt (1439 MHz, SAR des Kopfes: 2 W/kg, Ganzkörper SAR 0,25 W/kg). In diesen sehr sorgfältig durchgeführten Versuchen konnten weder die Aufnahme des Vitalfarbstoffes Evans-Blau noch morphologische Änderungen im Cerebellum oder der Purkinje-Zellen nachgewiesen werden.



Auch hier gab es andererseits deutliche Effekte bei den Positiv-Kontrollen, in denen der Kopf kurzzeitig erhitzt bzw. unterkühlt wurde. In Auseinandersetzung mit den Arbeiten der Salford-Gruppe kritisieren Tsurita et al. in dieser Publikation deren mangelhafte Befeldungstechnik und Dosimetrie.

Fastet man die bisherigen Befunde zum derzeitigen Stand der Forschung auf diesem Gebiet zusammen, so kommt man zu dem Schluss, dass kein Einfluss schwacher Felder des Mobilfunks auf die BHS verifiziert werden konnte. Nur bei Flussdichten, die zu einer deutlichen Erwärmung des Gehirns führen, wird die BHS vorübergehend für Proteine und andere große Moleküle durchlässig.

Kürzlich tauchte nun nach 10 jähriger Pause ein Bericht der Arbeitsgruppe um Leif G. Salford über neuere Untersuchungen zur Einwirkung von Feldern des Mobilfunks auf das Gehirn von Ratten auf. Im Gegensatz zu den ersten Experimenten, die in einer wissenschaftlichen Zeitschrift mit Referee-System erschienen waren, wurde die vorliegende Arbeit in der Hauszeitschrift des National Institute of Environmental Health Sciences abgedruckt (Salford et al. 2003).

Es geht dabei um ein Experiment mit 32 Ratten beiderlei Geschlechts, eingeteilt in 4 Gruppen zu je 8 Tieren. Die Tiere von drei dieser Gruppen wurden einzeln und einmalig je zwei Stunden in einer TEM-Zelle mit Leistungsflussdichten von 0,24; 2,4 und 24 W/m² befeldet. Die Ratten der vierten Gruppe dienten als Kontrolle. Berechnungen ergaben Ganzkörper-SAR-Werte von 2; 20 und 200 mW/kg. Anschließend wurden die Tiere im Verlaufe von 50 Tagen beobachtet, schließlich nach Betäubung getötet und das Gehirn durch Formol-Perfusion fixiert. Histologische Untersuchungen zeigten bei den befeldeten Tieren Albumin-positive Anfärbungen in der Nähe kleiner Blutkapillaren und eine Weiterverbreitung des Albumins zwischen den naheliegenden Zellen und Neuronen.

Außerdem konnten bei den befeldeten Tieren durch Kresyl-Violett-Färbung verstreut dunkle, offenbar geschrumpfte und degenerierte Zellen nachgewiesen werden. Die Auswertung der histologischen Tests erfolgte blind nach einem halb-quantitativen Wertungssystem in drei Stufen: 0= keine oder wenige dunkle Neurone, 1= moderates Auftreten, 2= häufiges Auftreten solcher. Trägt man diese Zahlen gegen die Expositions-Intensität auf, so ist trotz starker Streuung eine Korrelation erkennbar. Die Autoren geben eine Signifikanz des Effektes von $p < 0,002$ an.

Die Autoren schließen aus diesen Experimenten, dass durch einen nicht-thermischen Effekt (die Versuchsanlage befand sich in einem thermostatierten Raum) infolge der HF-Einstrahlung eine Erhöhung der Permeabilität der Blut-Hirn-Schranke auftritt. Wie bereits in der früheren Arbeit vermerkt, würde dadurch Albumin aus dem Blut in das Gehirn eindringen und zur Degeneration von Nervenzellen führen.

Da es sich bei den Versuchstieren um junge Ratten im Alter von 12 bis 26 Wochen handelte, halten die Autoren diese Resultate für besonders relevant für die Frage, ob Teenager durch den Gebrauch von Handys besonders gefährdet sind. Es wird zwar eingeräumt, dass die hier beobachteten Effekte prinzipiell reparabel und daher nicht unmittelbar gesundheitsschädlich seien, sich jedoch auf Dauer akkumulieren bzw. Schäden in Zusammenhang mit anderen Negativ-Einflüssen erzeugen könnten. Dass bei der geringen Eindringtiefe dieser Felder zwar das gesamte Gehirn der Ratte, beim Menschen jedoch nur eine Oberflächenschicht davon beeinflusst wird, erwähnen die Autoren nicht.

Solche Befunde sind natürlich geeignet, Beunruhigung auszulösen; ein Grund vielleicht für die Autoren, diese Resultate sofort der Öffentlichkeit vorzulegen, anstatt sie einer internationalen Zeitschrift mit Referee-System, etwa der „Bioelectromagnetics“ zur Publikation einzureichen. Andererseits ist diese Vorgehensweise zu



bedauern, denn die Arbeit enthält eine ganze Reihe von Unkorrektheiten und Verstößen gegen die Regeln, auf die sich die internationale Gemeinschaft der Wissenschaftler zur Qualitäts-Sicherung solcher Versuche inzwischen geeinigt hat, und die auch von der WHO empfohlen werden. Dies würde den Autoren mit Sicherheit von den Rezensenten einer wissenschaftlichen Zeitschrift vorgehalten werden. Worum handelt es sich dabei im Einzelnen?

Die Autoren räumen selbst ein, dass die Anzahl der Versuchstiere eigentlich zu gering sei, um gesicherte Schlussfolgerungen zu ziehen. Dies trifft natürlich um so mehr zu, als es sich um eine halb-quantitative Bewertung der Effekte handelt, die nur durch eine absolut sichere Doppel-Blind-Auswertung unter Einsatz mehrerer unabhängiger Beobachter und einer hohen Anzahl von Präparaten zu sicheren Aussagen führen könnte. Das Auftreten degenerierter Nervenzellen, nachweisbar durch eine Kresyl-Violett-Färbung, ist in verschiedenen neurophysiologischen Arbeiten ohne Bezug auf die Problematik der Feldeinwirkung beschrieben. Mechanismus und Ursache dieser Zell-Degeneration sind bisher nicht genau bekannt. Zumeist handelt es sich um Phänomene der Differenzierung, des Alterns oder auch Folgen verschiedener Erkrankungen und Stress-Faktoren. Sie treten in verschiedenen Hirnbe-

zirken mit verschiedener Intensität auf. Auf diese neurobiologischen Aspekte gehen Salford et al. nicht näher ein.

Die vorher erwähnten Regeln empfehlen für Untersuchungen zur Wirkung von elektromagnetischen Feldern die Einbeziehung so genannter „Positiv-Kontrollen“. Wie bereits vermerkt, wurde dies von anderen Arbeitsgruppen auch beachtet. Man nutzte beispielsweise die Störung der BHS durch Temperaturschock-Behandlung (Fritze et al. 97, Tsurita et al. 00) oder durch bestimmte Toxine (Finnie et al. 01, 02). Erst durch den Einsatz solcher Positiv-Kontrollen ist es möglich, die Empfindlichkeit des eingesetzten Tests und die Aussagekraft des gefundenen Effekts zu bewerten. Nur durch einen solchen Vergleich lässt sich entscheiden, ob die beobachteten Veränderungen tatsächlich relevant sind, oder ob es sich lediglich um eine zufällige Streuung handelt. In keiner der Arbeiten von Salford et al., auch nicht in der letzten Studie, wurden solche Positiv-Kontrollen durchgeführt.

Man fragt sich auch, warum die Tiere erst 50 Tage nach der Exposition untersucht wurden. Wollte man Spätschäden ermitteln? Es ist aber bekannt, dass geringe Veränderungen der Permeabilität der BHS, wie sie beispielsweise bei einer fiebrigen Grippe auftreten, reversibel sind und die Folgen schnell repariert werden. Verschiedene Autoren haben nachgewiesen, dass Effekte, ausgelöst durch HF-Felder sehr hoher Intensität, die zu einer deutlichen Erhöhung der Temperatur im Gehirn führen, bereits nach Stunden nicht mehr nachweisbar sind. Sollte das Serum-Albumin selbst 50 Tage nach der Exposition noch nicht resorbiert worden sein? Andererseits sind die Tiere in den 50 Tagen nach der Exposition vielen anderen Einflüssen unterworfen, die sich auch durch eine tägliche Kontrolle nicht ausschließen lassen.

Trotz vieler Kritik der vorausgegangenen Experimente, sind auch in diesem Bericht die Expositionsbedingungen der Tiere

nur sehr unzureichend kontrolliert. Die Regel schreibt eine Messung der tatsächlichen Energie-Absorption in den befehlenden Objekten oder in geeigneten Modellobjekten vor. Hier wurde der SAR-Wert jedoch theoretisch ermittelt ohne experimentelle Kontrolle. Dies kann zu groben Fehleinschätzungen führen, wird doch das Feld in dem engen Raum durch den Körper des Tieres erheblich gestört. Auch ist die während der Exposition möglicherweise erfolgte Erwärmung der Tiere in dem engen, zwar mit Lüftungslöchern versehenen Käfig nicht gemessen worden. Es ist nicht auszuschließen, dass die Tiere durch die Befeldung „in's Schwitzen“ gekommen sind. Dies würde bereits die Auslösung des gemessenen geringen Effektes erklären.

Es ist kaum vorstellbar, dass die oben genannten Empfehlungen und Kriterien der Bioelectromagnetic Society (BEMS) und der WHO zur Durchführung zuverlässiger Experimente den Experimentatoren nicht bekannt waren.

Es gibt aber noch einen allgemeineren Codex wissenschaftlicher Arbeit, der hier unbeachtet blieb: Dieser schreibt vor, die eigenen Resultate im Lichte des aktuellen Forschungsstandes zu diskutieren. Dies wäre in diesem Falle von besonderer Bedeutung. Wir haben oben gesehen, dass nicht nur vor den ersten Experimenten der Salford-Gruppe Negativ-Befunde vorlagen, dass es vielmehr, angeregt durch die ersten Salford-Arbeiten, eine Reihe missglückter Versuche gab, diese Ergebnisse zu verifizieren. Auch wurden in diesen Publikationen die Schwachstellen der früheren Salford-Publikationen aufgedeckt und diskutiert. Es würde einer wissenschaftlichen Ehrlichkeit entsprechen, diese Arbeiten zu zitieren und wenigstens zu erklären, warum nur in Lund und nicht anderswo Einflüsse schwacher Felder auf die Blut-Hirn-Schranke messbar sind. Tatsächlich werden in diesem Bericht aber nur Publikationen zitiert, die den Autoren genehm sind, auch wenn sie zum Teil mit der eigentli-

chen Sache gar nichts zu tun haben. So wird dem unbefangenen Leser dieser Publikation der Eindruck suggeriert, die Ergebnisse der Salford-Gruppe befände sich in völliger Übereinstimmung mit der internationalen Forschung.

Wie ernst die Welt die Salford Ergebnisse von 1993 nahm, wurde übrigens auch auf dem internationalen BEMS-Kongress im Jahre 2001 in St. Paul (Minnesota) deutlich. Dort war eine spezielle Sektion dem Problemkreis Blut-Hirn-Schranke gewidmet. J. Merrit, P. Mason, J. Lin, H. Nagawa, H. Masuda zeigten in Vorträgen und Postern, dass es ihnen nicht gelungen sei, die Salford-Ergebnisse zu verifizieren oder andere Effekte zu finden. Man war auf den Vortrag gespannt, den die Gruppe aus Lund angemeldet hatte (B. Persson, A. Brun, L.G. Salford). Leider erwies sich aber, dass keiner der Autoren angereist war. Der Vortrag wurde schließlich von einem unbeteiligten Kollegen verlesen. Er enthielt jedoch nur die aus den vorausgegangenen Publikationen bereits bekannten Ergebnisse. Leider konnte der Referent in der Diskussion keine Frage beantworten, da er, wie er sagte, an den Experimenten nicht beteiligt war. Es wurde vorgeschlagen, die Ergebnisse der schwedischen Gruppe unter Vermeidung der methodischen Fehler in einer umfangreichen Untersuchung unter Einbeziehung der schwedischen Autoren zu wiederholen. Davon wird leider in der vorliegenden Publikation nichts erwähnt.

Es ist bedauerlich, dass immer wieder unter Umgehung der freiwilligen Qualitätskontrolle der Wissenschaft, wie es das Peer-Review-System darstellt, Befunde der Öffentlichkeit übergeben werden, die einer sachlichen Kritik letztlich nicht standhalten. Dies nutzt nicht dem dringend notwendigen Erkenntnisgewinn auf diesem Gebiet, sondern höchstens dem Anheizen von Emotionen.

Prof. Dr. Roland Glaser war Leiter des Instituts für Biophysik an der Humboldt-Universität Berlin.

Literaturnachweis

Blasberg, R. G.: Problems of quantifying effects of microwave irradiation on the blood-brain barrier. *Radio Science* 1979;14:335-344.

Finnie, J. W., Blumbergs, P. C., Manavis, J., Utteridge, T. D., GebSKI, V., Davies, R. A., VernonRoberts, B., and Kuchel, T. R.: Effect of long-term mobile communication microwave exposure on vascular permeability in mouse brain. *Pathology* 34(4), 344-347. 2002.

Finnie, J. W., Blumbergs, P. C., Manavis, J., Utteridge, T. D., GebSKI, V., Swift, J. G., VernonRoberts, B., and Kuchel, T. R.: Effect of global system for mobile communication (GSM)-like radiofrequency fields on vascular permeability in mouse brain. *Pathology* 33(3), 338-340. 2001.

Frey, A. H.: Studies of the blood-brain barrier: Preliminary findings and discussion. *Radio Science* 1979;14:349-350.

Frey, A. H., Feld, S. R., Frey, B.: Neural function and behaviour: defining the relationship. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1975;247:433-439.

Fritze, K., Sommer, C., Schmitz, B., Mies, G., Hossmann, K.A., Kiessling, M., Wiessner, C.: Effect of global system for mobile communication (GSM) microwave exposure on blood-brain barrier permeability in rat. *Acta Neuropathologica* 1997;94:465-470.

Gruenau, S. P., Oscar, K. J., Folker, T., and Rapoport, S. I.: Absence of microwave effects on blood-brain barrier permeability to [¹⁴C] sucrose in the conscious rat. *Exp. Neurol.* 1982;75:299-307.

Lange, D.G., Sedmak, J.: Japanese encephalitis virus (JEV) potentiation of lethality in mice by microwave radiation. *Bioelectromagnetics* 1991;12:335-348.

Lin, J.C., Yuan, P.M.K., Jung, D. T.: Enhancement of anticancer drug delivery to the brain by microwave induced hyperthermia. *Bioelectrochem. Bioenerg.* 1998;47:259-264.

Masuda, H., Wake, K., Watanabe, S., Taki, M., and Ohkubo, C.: Acute effects of local exposure to radio-frequency electromagnetic fields on the cerebral microcirculation in rats. *BEMS-Abstract P-51* 2001;139-140.

Masuda, H., Wake, K., Watanabe, S., Taki, M., and Ohkubo, C.: Sub-chronic effects of local exposure to radio-frequency electromagnetic fields on the cerebral microcirculation in rats. *BEMS-Abstracts* 2002;30-31.

Merrit, J.H., Chamness, A.P., Allen, S. J.: Studies on blood-brain barrier permeability after microwave radiation. *Radiat. Environ. Biophys.* 1978;15:367-377.

Oscar, K.J., Hawkins, T.D.: Microwave alteration of the blood-brain barrier system of rats. *Brain Res.* 1977;126:281-293.

Persson, B.R.R., Salford, L.G., Brun, A., Eberhardt, J.L., and Malmgren, L.: Increased permeability of the blood-brain barrier induced by magnetic and electromagnetic fields. *Ann. N.Y. Acad. Sci.* 1992;649:356-358.

Preston, E., Vavasour, E.J., Assenheim, H.M.: Permeability of the blood brain barrier to manitol in the

rat following 2450 MHz microwave irradiation. *Brain Res.* 1979;174:109-117.

Rapoport, S.I., Ohno, K., Fredericks, W. R., and Pettigrew.: A quantitative method for measuring altered cerebrovascular permeability. *Radio Science* 1979;14:345-348.

Salford, L.G., Brun, A., Eberhardt JL, and Persson, B.: Permeability of the blood-brain barrier induced by various SAR (W/kg) levels of 915 MHz electromagnetic radiation, continuous wave and modulated at 8, 16, 50 and 200 Hz. In: *The First World Congress for Electricity and Magnetism in Biology and Medicine, Abstract Book, June 14-19, Lake Buena Vista, Florida* 1992;1-5.

Salford, L.G., Brun, A., Eberhardt JL, and Persson, B.: 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, L.G., Brun, A., Eberhardt JL, and Persson, B.: 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;27:535-542.

Salford, L.G., Brun, A., Eberhardt JL, Malmgren, L., and Persson, B.: Nerve cell damage in mammalian brain after exposure to microwaves from GSM mobile phones. *Environmental Health Perspectives, Journal of the National Institute of Environm. Health Sciences* 2003;1-17.

Sutton, C.H., Carroll, F.B.: Effects of microwave induced hyperthermia on the blood-brain barrier of the rat. *Radio Science* 1979;14:329-334.

Tsurita, G., Nagawa, H., Ueno, S., Watanabe, S., and Taki, M.: Biological and morphological effects on the brain after exposure of rats to a 1439 MHz TDMA field. *Bioelectromagnetics* 21(5), 364-371. 2000.

Valberg, P.A.: Designing EMF Experiments - What Is Required to Characterize Exposure. *Bioelectromagnetics* 1995;16:396-401.

Ward, T.R., Ali, J.S.: Blood-brain barrier permeation in the rat during exposure to lower-power 1.7 GHz microwave radiation. *Bioelectromagnetics* 1985;6:131-143.

Ward, T. R., Elder, J.A., Long, M.D., and Svendsgaard, D.: Measurement of blood-brain barrier permeation in rats during exposure to 2450 MHz microwaves. *Bioelectromagnetics* 1982;3:371-383.

Williams, W. M., Hoss, W., Formaniak, M., and Michaelson, S. M.: Effect of 2450 MHz microwave energy on the blood-brain barrier to hydrophilic molecules. A. Effect on permeability to sodium fluorescein. *Brain Res. Rev.* 1984;7:165-170.

Williams, W.M., Plattner, J., Michaelson, S.M.: Effect of 2450 MHz microwave energy on the blood-brain barrier to hydrophilic molecules. B. Effect on the permeability to HRP. *Brain Res. Rev.* 1984;7:171-181.

Williams, W.M., Plattner, J., Michaelson, S.M.: Effect of 2450 MHz microwave energy on the blood-brain barrier to hydrophilic molecules. C. Effect on permeability to [¹⁴C] sucrose. *Brain Res. Rev.* 1984;7:183-190. ■