

BfS-Programm

In vivo-Experimente unter Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern der Mobilkommunikation- Blut-Hirn-Schranke.

EXECUTIVE SUMMARY:
Auswirkung der Exposition mit GSM-1800 und UMTS

November 2007

LEITERIN DER FORSCHUNG: Isabelle Lagroye, PharmD, PhD

ANTRAGSTELLER: IMS-MCM Labor, ENSCPB, Universität Bordeaux 1
CNRS UMR 5218, EPHE, Pessac, Frankreich

TEILNEHMER: Bernard Billaudel, Emmanuelle Haro, Annabelle Hurtier,
Elodie Ladevèze, Isabelle Lagroye, Philippe Lévêque, Laetitia Mayeur,
Gilles Ruffié, Murielle Taxile, Bernard Veyret

Der Bericht zeigt die Ansicht und den Standpunkt des Vertragsnehmers, der vom Standpunkt des Bundesministers für Umwelt, Naturschutz und Reaktorsicherheit abweichen kann.

Executive summary

Ziele

Im Rahmen ihrer Forschungsempfehlungen hat die Weltgesundheitsorganisation (WHO) den Bedarf an "Studien zur Erfassung der Genauigkeit und Reproduzierbarkeit veröffentlichter Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf die Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke und andere Neuropathologien (z. B. Entzündungen der Dura Mater, dunkle Neuronen)" hervorgehoben, die als "kurzfristige oder dringende Bedürfnisse" (www.who.int/peh-emf/research/agenda/en/index.html) erachtet werden.

Unter den übergeordneten Belangen in Sachen Tierversuche im Labor führte die WHO aus, "Tierversuchsstudien sollten nach Möglichkeit unter Verwendung kommerziell bedeutender Hochfrequenzsignale durchgeführt und die Frequenz nicht skaliert werden. Tierversuchsmodelle mit einem Potential für klare Reaktionen auf die Exposition mit hochfrequenten elektromagnetischen Feldern sollten in einleitenden Studien über neue Signale verwendet werden."

Das vorliegende BfS-Projekt konzentrierte sich spezifisch auf die Blut-Hirn-Schranke von Ratten und das Vorhandensein von dunklen und entartenden Neuronen bei Exposition mit neuen Mobilfunksignalen: GSM-1800 und UMTS. Diese *In vivo*-Studien wurden über einen Zeitraum von drei Jahren an insgesamt 1.200 Ratten durchgeführt.

Die Literatur zeigt widersprüchliche Daten bezüglich des Auftretens der Durchdringung der Blut-Hirn-Schranke nach der Exposition mit niederfrequenten elektromagnetischen Feldern (RF)¹, aber die derzeitige Last von Nachweisen schädlicher Auswirkungen von hochfrequenten elektromagnetischen Feldern auf die Blut-Hirn-Schranke wird mit der wachsenden Datensammlung immer schwächer.

Die neuronale Degeneration wurde nicht in großem Rahmen erforscht. Beschrieben wurde das Auftreten von dunklen Neuronen, die als entartende Neuronen gelten, 50 Tage nach einer einmaligen zweistündigen Exposition von Ratten mit GSM-900². Bei dieser Untersuchung konnte eine gewisse experimentelle Verzerrung nicht ausgeschlossen werden, die zu einer Überschätzung der Zahl dunkler Neuronen führte. Weiter gibt es keinen Nachweis dafür, dass es sich bei "dunklen" Neuronen tatsächlich um entartende Zellen handelt.

Die vorliegende Studie wurde bei Verwendung von Tieren unter genau kontrollierten Bedingungen (Alter, Geschlecht, Haltung, Gewöhnung an die Fixierung in der Expositionsanlage, Expositionsbedingungen) und Einfärbeprozessen mit einem spezifischen Färbeprozess für entartende Neuronen (Fluoro-Jade B im Vergleich zu Cresyl Violet) durchgeführt. Es wurde darauf geachtet, dass alle Einfärbeverfahren und Datenanalysen blind durchgeführt wurden. Eine umfassende statistische Datenanalyse wurde durchgeführt. Eine weitere Unzulänglichkeit vieler früherer Studien über mögliche gesundheitliche Auswirkungen elektromagnetischer Felder bestand in der ungeeigneten Definition und Beschreibung des jeweiligen Expositionsaufbaus, sowie der schlecht charakterisierten Dosimetrie. In der vorliegenden Studie enthält die Dosimetrie die genaue Bestimmung der Feldstärke in den Hirnen der Tiere, sowie eine Studie zu deren Variabilität.

Das Ziel des gegenwärtigen BfS-Forschungsprojekts war die Beantwortung von Schlüsselfragen, die in Verbindung mit derzeitigen und früheren Studien zu den Auswirkungen hochfrequenter elektromagnetischer Felder auf lebende Systeme einen Beitrag zu einer angemessenen Datenbasis für die Einschätzung von Gesundheitsrisiken seitens staatlicher Gesundheitsbehörden, einschließlich der WHO, würden leisten können. Dieser Bericht erfasst Ergebnisse bezüglich des Einflusses von GSM-1800 and UMTS-Signalen auf das Auftreten von Hirnschädigungen (Vorhandensein von dunklen und entartenden Neuronen) und der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke unter folgenden Bedingungen: unmittelbar und 50 Tage nach einer vierwöchigen

¹ Person et al. (1992); Fritze et al. (1997); Tsurita et al. (2000); Finnie et al. (2001); Finnie et al. (2002); Salford et al. (2003); Kuribayashi et al. (2005); Cosquer et al. (2005); Finnie et al. (2006).

² Salford et al. 2003.

Exposition mit GSM-1800 oder UMTS (2 Std./Tag, 5 Tage/Woche) oder unmittelbar, eine Stunde, 1, 7 oder 50 Tage nach einer einmaligen zweistündigen Exposition mit GSM-1800 oder UMTS.

Ergebnisse

Expositionssysteme

Die Exposition wurde unter Verwendung des RFR-Head-Only-Expositionssystems vorgenommen, das in unserer Gruppe zur Verfügung stand, d. h. mit der Loop-Antenne. Die Charakterisierung des vom Hirn absorbierten SAR-Werts (BASAR³) wurde bei 900 MHz⁴ durchgeführt. Der gleiche Ansatz wurde als Bestandteil des Projekts bei 1800 und 1960 MHz in Zusammenarbeit mit Dr. Philippe Lévêque (X-LIM, Universität Limoges, Frankreich) unter Verwendung experimenteller Messungen und numerischer Simulationen durchgeführt (FDTD).

Bei diesem Projekt waren vier lokale SAR-Stärkegrade zu verwenden: 0,02, 0,2, 2,0, und 10,0 W/kg. Diese Stärkegrade wurden auf Grund ihrer Bedeutung für die menschliche Exposition mit Mobiltelefonen gewählt, aber da die Köpfe von Ratten (50 gr.) viel kleiner sind als die Köpfe von Menschen, auf welche als Definition üblicherweise ein durchschnittlicher SAR-Wert von 10 gr. (ICNIRP) angewandt wird, wurde der örtliche SAR-Wert in den Köpfen von Ratten in unserem Labor als BASAR definiert.

Im Anschluss an die Feststellung der BASAR-Werte in Bordeaux (Temperaturmessungen) und Limoges (FDTD-Berechnungen), ergaben sich folgende, in den derzeitigen Versuchen verwendeten Werte: 0,026, 0,26, 2,6 und 13 W/kg.

Einmalige Exposition mit GSM-1800 und UMTS

Nach einer einmaligen zweistündigen Exposition mit GSM-1800 konnte kein konsistenter Einfluss auf die "dunklen" und entartenden Neuronen gefunden werden; ein frühzeitiger vorübergehender Rückgang bei der Durchlässigkeit der Hirn-Blut-Schranke wurde beim höchsten Expositionsstärkegrad beobachtet. Insgesamt blieben die beobachteten Veränderungen begrenzt (0 Veränderung /240 d.h. keine Veränderung bei der Cresyl Violet-Einfärbung, 3 Veränderungen /240 d. h. 1% bei der Fluoro-Jade B-Einfärbung und 2 Veränderungen /60 d. h. 3% bei der Durchlässigkeit der Hirn-Blut-Schranke) und ließen keine Vermutung auf schädliche Auswirkungen zu.

Nach einer einmaligen zweistündigen Exposition mit UMTS zeigte sich keine konsistente Auswirkung auf dunkle und entartende Neuronen. Anstiege wurden nur bei der Verwendung der Cresyl Violet-Einfärbung beobachtet; die Veränderungen stimmten nicht mit Fluoro-Jade überein. Parallel dazu wurde ein frühzeitiger vorübergehender Abfall der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke beim höchsten Expositionsstärkegrad beobachtet. Insgesamt bestanden die beobachteten Auswirkungen hauptsächlich in Abnahmen bei den getesteten Parametern.

Die Versuchsbedingungen, die beim $p = 0,05$ zu signifikanten Anstiegen bezüglich neuronaler Schädigungen führten, zeigten sich stark begrenzt (1% bei der Cresyl Violet-Einfärbung, keine Schädigung bei der Fluoro-Jade B-Einfärbung und keine Schädigung bei der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke). Insgesamt konnte nach einer Frist von bis zu 50 Tagen nach der Exposition mit UMTS keinerlei Hirnschädigung beobachtet werden.

Wiederholte Expositionen mit GSM-1800 und UMTS

Wiederholte Expositionen mit GSM-1800 (2 Stunden/Tag; 5 Tage/Woche; 4 Wochen) riefen 50 Tage nach der letzten Exposition Veränderungen hervor. Die Auswirkung bezüglich des Auftretens von "dunklen" und entartenden Neuronen bestand entweder in einem Anstieg oder einem Rückgang. Im Allgemeinen blieben die Versuchsbedingungen begrenzt, bei denen Auswirkungen beobachtet werden konnten (6 Veränderungen /96 d. h. 6% bei der Cresyl Violet-Einfärbung, 2 Veränderungen /96 d. h. 2% bei der Fluoro-Jade B-Einfärbung). Andererseits waren Anstiege bei der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke konsequenter zu beobachten (5 Veränderungen /24, d. h. 21 %). Eine Durchdringung der Blut-Hirn-Schranke wurde bei 0,026 W/kg und 13 W/kg festgestellt. Es konnte keinerlei dosisbezogene Reaktion festgestellt werden.

Veränderungen in den Rattenhirnen wurden auch unmittelbar und 50 Tage nach wiederholten Expositionen mit UMTS beobachtet. Die Auswirkung auf das Auftreten von "dunklen" Neuronen

³ Auf das Hirn berechneter durchschnittlicher SAR-Wert

⁴ Lévêque et al. (2004).

bestand entweder in einem Rückgang (unmittelbar nach der Exposition, Cresyl Violet-Einfärbung), oder einem Anstieg (50 Tage nach der Exposition, Cresyl Violet-Einfärbung), wobei die entartenden Neuronen erhöht waren (50 Tage nach der Exposition, Fluoro-Jade B-Einfärbung). Die Durchdringung der Blut-Hirn-Schranke trat nur vereinzelt auf. Eine vorübergehende Durchdringung der Blut-Hirn-Schranke wurde bei 0,26 beobachtet (in zwei Hirnbereichen), verschwand jedoch 50 Tage nach der letzten Exposition. Es konnte keinerlei dosisbezogene Reaktion festgestellt werden. Insgesamt blieben die Versuchsbedingungen begrenzt, bei denen signifikant erhöhte Hirnschädigungen beobachtet werden konnten (7 Veränderungen /96, d. h. 7% bei der Cresyl Violet-Einfärbung, 1 Veränderung /96, d. h. 1% bei der Fluoro-Jade B-Einfärbung, 2 Veränderungen /24, d. h. 8% bei den endogenen Albuminverlusten).

Schlussfolgerung

Wir haben den Einfluss von GSM-1800 und UMTS-Signalen auf das Auftreten von Hirnschädigungen, die mittels des Vorhandenseins von "dunklen" Neuronen, entartenden Neuronen und der Durchdringung der Blut-Hirn-Schranke bewertet werden, an 1.120 Ratten getestet. Eine Reihe von Versuchsbedingungen wurden in Form von einmaligen (zweistündigen) Expositionen, der Zeitkinetik nach der Exposition (unmittelbar bis zu 50 Tagen nach der letzten Exposition) und einem auf das Hirn abgestimmten durchschnittlichen SAR-Wert getestet (0,026, 0,26, 2,6 und 13 W/kg).

Anstiege an dunklen und entartenden Neuronen kamen sporadisch vor und deren Korrelation blieb im Verlaufe des gesamten Versuchs sehr begrenzt (1 Fall bei GSM-1800 und UMTS). Weiter konnte keine Korrelation zwischen dem Auftreten von dunklen und entartenden Neuronen und der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke beobachtet werden.

Anstiege bei der Durchlässigkeit der Blut-Hirn-Schranke konnten konsequenter beobachtet werden, besonders 50 Tage nach der Exposition mit GSM-1800 mit dem höchsten SAR-Wert (13 W/kg, alle Hirnbereiche zeigten Albuminübertritte). Der Umfang der Auswirkung entspricht ungefähr einer Verdoppelung bei der Zahl der leckenden Gefäße (um das maximal 2,4-fache), was insgesamt zwei Bereiche mit Albuminübertritt bei exponierten Tieren im Vergleich zu einem Bereich bei scheinexponierten Tieren bedeutet.

Die Permeabilitätserhöhung der Blut-Hirn-Schranke könnte als verzögertes Ereignis bei einer BASAR-Schwelle von 13 W/kg auftreten. Wiederholte Expositionen könnten die Blut-Hirn-Schranke stufenweise schwächen, wobei diese die funktionellen Veränderungen (endogene Albuminverluste) nicht sofort ersichtlich sind. Diese Auswirkung könnte mit den thermoelastischen Wellen (bekannt als Ursache des "Mikrowelleneffekts") in Verbindung stehen, die als mechanischer Stress auf die Rattenhirne einwirken und die stufenweise Veränderung der Blut-Hirn-Schranke nach sich ziehen könnten. Im Gegensatz zum UMTS verwendet die GSM-Technologie "gepulste" Signale (1/8 duty factor). Während bei 13 W/kg Unterschiede bei der steady state-Temperatur zwischen GSM-1800 und UMTS unwahrscheinlich sind, ist es vorstellbar, dass die Schwelle für thermoelastische Wellen bei Ratten (ca. 1 mJ/kg) bei jedem der GSM-1800 Impulse erreicht wird. Das ist ganz offensichtlich bei einem BASAR von 0,026 W/kg nicht möglich. Diese Hypothese muss gründlich getestet werden. Das allgemeine Ausmaß dieser Auswirkung ist jedoch nicht sehr groß.

Die allgemeine Schlussfolgerung besteht somit darin, dass physiopathologische Folgen in Rattenhirnen nach einmaliger und wiederholter Exposition mit GSM-1800 und UMTS bei BASAR-Graden bis zu 13 W/kg sehr unwahrscheinlich sind. Weiter zeigten Berechnungen, dass der maximale SAR-Wert in der Peripherie von Rattenhirnen ungefähr das Doppelte dieses Werts, d. h. 26 W/kg beträgt. Die Übertragung auf den Menschen ergibt einen 10g-SAR-Wert von ca. 50 W/kg, was viel mehr ist, als die Expositionsgrenze von 2 W/kg SAR-Wert 10 gr., aber doppelt so niedrig liegt, wie die von der ICNIRP als kritisch definierte Auswirkungsgrenze.