

Zusammenfassung und Bewertung ausgewählter Studien

Im Zeitraum Juli bis Oktober 2015 wurden 89 neue Publikationen identifiziert, von denen 14 von BERENIS vertieft diskutiert wurden. Vier davon wurden gemäss den Auswahlkriterien als besonders relevant zur Bewertung ausgewählt und werden im Folgenden zusammengefasst.

1) Experimentelle Tier- und Zellstudien

Niederfrequente Magnetfelder und neurodegenerative Erkrankungen (Benassi et al. 2015)

In der interessanten und gut gemachten *in vitro* Studie von Benassi *et al.* (2015) wird der Zusammenhang zwischen der Exposition mit niederfrequenten Magnetfeldern und der Entstehung von neurodegenerativen Erkrankungen mithilfe eines *in vitro*-Modells für die Parkinson-Krankheit untersucht. Die Umstände, die zum Absterben von dopaminergen Nervenzellen in der Substantia nigra und damit zur Entstehung von Parkinson führen, sind noch nicht vollumfänglich verstanden. Man geht davon aus, dass umweltbedingte und genetische Faktoren eine Rolle spielen. Eine Hypothese für deren Ursache ist, dass oxidativer Stress, bedingt durch eine Fehlfunktion der Mitochondrien, das Absterben der Nervenzellen auslöst. Ein chemisches Modell für oxidativen Stress ist das Neurotoxin MPP⁺, welches den mitochondrialen Elektronentransport stört und damit zur Freisetzung von freien Radikalen führt. Die Autoren wandten es auf Zellen einer Hirntumor-Zelllinie an, die sich zu nervenartigen Zellen ausdifferenzieren lässt. Zuerst wurden die Zellen nur einem niederfrequenten Magnetfeld (50 Hz, 1 mT) für eine Dauer von bis zu drei Tagen ausgesetzt. Im Vergleich zur Kontrollbedingung mit 0.3µT wurde eine schwache Erhöhung von freien Radikalen und von geschädigten Proteinen, wie auch eine leichte Verringerung der antioxidativen Abwehrsysteme festgestellt, ohne dass dies einen Einfluss auf die Zellvermehrung und das Auftreten von Zelltod hatte. Anschliessend wurde das Magnetfeld mit MPP⁺ kombiniert. Die vorausgehende Exposition gegenüber dem Magnetfeld führte dazu, dass die Zellen stärker auf die Zugabe von MPP⁺ reagierten als ohne Magnetfeld, was sich in einer Zunahme von absterbenden Zellen äusserte, besonders mit den niedrigen Dosen des Neurotoxins sowie während der Erholungsphase. Die kumulative Zunahme von freien Radikalen und geschädigten Proteinen spricht dafür, dass die erhöhte Toxizität mit oxidativem Stress zusammenhängt. Zudem konnten diese Effekte moduliert oder vermindert werden, wenn die GSH-Synthese gehemmt und dadurch das redoxregulierende System beeinflusst oder indem Antioxidantien zugegeben wurden. Die Beobachtungen dieser Studie könnten dahingehend interpretiert werden, dass niederfrequente Magnetfelder keine direkte Schädigung von Nervenzellen bewirken, aber die Ausbildung von neurodegenerativen Erkrankungen fördern können, wenn zusätzliche krankheitsauslösende Umwelteinflüsse vorhanden sind.

Hochfrequente elektromagnetische Felder und Schädigung der Erbsubstanz? (Wang et al. 2015)

Wang *et al.* (2015) greifen in ihrer kleinen, technisch gut durchgeführten Studie erneut die kontrovers diskutierte Fragestellung auf, ob hochfrequente elektromagnetische Felder zu einer Schädigung der DNS führen können. Dazu haben sie Zellen einer Hirntumorzelllinie der Maus während 24 Stunden exponiert. Das hochfrequente elektromagnetische Feld (900 MHz) mit verschiedenen SAR Werten (0, 0.5, 1, 2 W/kg) simulierte die Modulation eines Mobilfunkgesprächs über das GSM-Netz. Bei keinem der getesteten SAR-Werte wurde mit dem alkalischen Kometen-Assay eine signifikante Schädigung der DNS festgestellt. Der Kometen-Assay misst in erster Linie Einzel- und Doppelstrangbrüche sowie fehlende Basen und ist eine Standardmethode zur Abschätzung von akuter Schädigung der

Erbsubstanz. Da Radikale mit biologischen Molekülen reagieren und diese oxidieren können, haben die Autoren ergänzend eine selten verwendete Variante des Kometen-Assay angewendet, die zusätzlich zu den oben genannten Schäden oxidierte Basen erkennen kann. Damit wurde, bei zeitgleicher Zunahme der freien Radikale, eine Verdoppelung der DNS-Schäden bei der höchsten Expositionsbedingung festgestellt. Bei der Beseitigung der häufig auftretenden oxidativen DNS-Schäden spielt das Reparaturprotein OGG1, das oxidierte Guanin-Basen spezifisch erkennt und ausschneidet, eine zentrale Rolle. Nachdem die Autoren die Verfügbarkeit dieses Proteins in den Zellen reduzierten, wurde die expositions-abhängige Zunahme der DNS-Schädigung auch bei tieferen SAR-Werten offensichtlich. Diese Beobachtungen könnten darauf hindeuten, dass hochfrequente elektromagnetische Felder über die Freisetzung von freien Radikalen zu einer leichten Erhöhung der oxidativen DNS-Schädigung führen, die unter normalen physiologischen Bedingungen durch die zelleigenen Reparaturmechanismen bewältigt werden. Ob dies zu krebsauslösenden Mutationen oder anderen schädlichen Konsequenzen führen kann, sollte weiter untersucht werden.

2) Epidemiologische Studie

Amyotrophe Lateralsklerose (ALS) in Schweden und berufsbedingte Exposition mit Stromschlägen und Magnetfeldern (Fischer et al. 2015)

Fischer *et al.* (2015) untersuchten den Zusammenhang zwischen ALS und berufsbedingten Stromschlägen (Elektrounfälle) sowie der Exposition gegenüber niederfrequenten Magnetfeldern (ELF-MF). Die dafür verwendeten Daten stammen aus einer grossen Fall-Kontrollstudie in Schweden. In die Studie eingeschlossen waren zwischen 1901 und 1970 in Schweden geborene Personen, die bei der schwedischen Volkszählung von 1990 erfasst wurden. Für alle Personen wurde anhand der schwedischen Patienten-, Migrations- und Todesursachenregister evaluiert, ob bis 2010 eine Erkrankung aufgetreten war. Für jeden der 4709 identifizierten Fälle wurden aus dem Bevölkerungsregister zufällig fünf Kontrollpersonen mit dem gleichen Geburtsjahr und Geschlecht (n=23335) ausgewählt. Die berufliche Tätigkeit aller Individuen dieser beiden Gruppen konnte aus den Registern erschlossen werden. Die Wahrscheinlichkeit, bei der jeweiligen Berufsausübung Stromschläge zu erleiden, wurde aufgrund von Unfallangaben geschätzt. Unter Berücksichtigung des sozioökonomischen Status, Bildungsstandes und Wohnortes wurde kein Zusammenhang zwischen ALS und ELF-MF oder Stromschlägen festgestellt. In der Altersgruppe der unter 65-Jährigen bestand jedoch ein erhöhtes Risiko bei mittlerer oder hoher Wahrscheinlichkeit für Stromschläge (OR=1.20, 95% CI 1.02-1.40 bzw. OR=1.22, 95% CI 1.03-1.43). Bei der Analyse unterschiedlicher Berufsgruppen bestand ein erhöhtes Risiko für Schweisser unter 65 Jahren (OR=1.52, 95% CI 1.05-2.21), jedoch nicht für Schweisser aller Altersgruppen zusammengenommen. Das Risiko für Elektriker war nicht erhöht. Der Zusammenhang zwischen ALS und Stromschlägen in der Altersgruppe unter 65 Jahren war konsistent und blieb auch bestehen, wenn man die Schweisser in der Analyse nicht berücksichtigt hatte. Im Gegensatz zu zwei anderen kürzlich veröffentlichten grossen Studien (Huss *et al.* 2014, Vergara *et al.* 2015) weist diese Studie darauf hin, dass bei unter 65-Jährigen eher berufsbedingte Stromschläge als ELF-MF-Exposition ein Risikofaktor für ALS sind. Die Stärken dieser Bevölkerungsstudie liegen zum einen darin, dass die Daten zur Exposition und zu gesundheitlichen Folgen prospektiv in Routinedatenbanken gesammelt wurden, was statistische Verzerrungen wegen fehlerhaftem Erinnern von Fällen und Kontrollen unwahrscheinlich macht. Zum anderen wurden verschiedene Ansätze zur Abschätzung der Exposition in den unterschiedlichen Berufsgruppen verwendet, die alle zu ähnlichen Ergebnissen führten. Hingegen sind Ungenauigkeiten in der Expositionsabschätzung anzunehmen. Da Fälle und Kontrollen davon gleichermassen betroffen sein dürften, führen solche Ungenauigkeiten eher zu einer Unterschätzung des Risikos, falls tatsächlich ein Zusammenhang zwischen der Exposition und der Erkrankung besteht.

3) Qualitative Humanstudie

Wird Elektrosensibilität durch Nocebo-Reaktionen verursacht? (Dieudonné, 2015)

Ziel der qualitativen Studie von Dieudonné (2015) war zu untersuchen, wie das Phänomen der elektromagnetischen Hypersensibilität (EHS) entsteht und welche Rolle Nocebo-Effekte dabei spielen. Für EHS gibt es keine objektiven diagnostischen Kriterien, sie beruht definitionsgemäss auf der eigenen Einschätzung der Betroffenen. Unter Nocebo-Effekt versteht man die krankmachende Wirkung einer Exposition aufgrund der Erwartungshaltung des Betroffenen, also das Gegenstück zum Placebo-Effekt. Für diese Studie wurden 40 Personen (11 Männer und 29 Frauen) befragt, die an EHS leiden und ihren Lebensstil entsprechend angepasst hatten (z.B. Entfernen elektrischer Geräte aus der Wohnung). Die Studienteilnehmer wurden über Anzeigen gefunden, die in EHS-Selbsthilfegruppen und anderen EMF-Netzwerken in Frankreich publiziert wurden. Die Interviews wurden an von den Teilnehmern ausgewählten Orten mithilfe einer standardisierten qualitativen Methode durchgeführt. Basierend auf den Interviews wurde ein Modell für den Zuordnungs-Prozess zu EMF entwickelt. Das typische lineare Modell besteht aus sieben Stadien: (1) Einsetzen der Beschwerden, (2) keine (medizinische) Erklärung und Lösung, (3) Entdecken von EHS, (4) Sammeln von Informationen über EHS, (5) eigene EHS wird in Betracht gezogen, (6) Experimentieren (Durchführen kleiner Selbstversuche), (7) eigene EHS wird akzeptiert. Der Autor betont, dass die Befragten typischerweise angaben, dass das Einsetzen der Beschwerden erfolgte, bevor Umwelteinflüsse als Grund dafür in Betracht gezogen wurde, und dass die meisten der Befragten zum Zeitpunkt des Beginns ihrer Beschwerden nicht wussten, was elektromagnetische Felder sind. Folglich ist ein Nocebo-Effekt als Erklärung für den Beginn der Beschwerden unwahrscheinlich, könnte aber im sechsten Stadium des Prozesses dazu kommen und die Zuordnung zu EMF bekräftigen. Dem Studiendesign entsprechend dürften die befragten Personen eher an einer schweren Form von EHS leiden. Zum besseren Verständnis von EHS schlägt der Autor vor, diese Menschen als Patienten zu begreifen, die an medizinisch nicht erklärten Beschwerden leiden, welche sie schliesslich der EMF-Exposition zuschreiben. Diese Zuordnung ermögliche es ihnen, zunächst ihre Beschwerden zu verstehen, um dann entsprechend handeln zu können. Dies biete ihnen die Möglichkeit, sich selbst im Hinblick auf die Beschwerden oder Krankheit zu stärken. Die Zuordnung der Beschwerden zu EMF sei das einzig gemeinsame bei EHS, wobei dies bei praktisch jeder Art von Symptomen vorkomme. Es sei deshalb nicht erstaunlich, dass sich EHS nicht in klinischen oder experimentellen Kategorien objektivieren lasse.

Kontakt

Dr. Stefan Dongus
Sekretariat BERENIS
Schweizerisches Tropen- und Public Health-Institut
Department Epidemiology and Public Health
Environmental Exposures and Health Unit
Socinstr. 57, Postfach, 4002 Basel
Tel: +41 61 284 8111
E-Mail: stefan.dongus@unibas.ch

Literaturangaben

Benassi B, Filomeni G, Montagna C, Merla C, Lopresto V, Pinto R, Marino C, Consales C (2015): **Extremely Low Frequency Magnetic Field (ELF-MF) Exposure Sensitizes SH-SY5Y Cells to the Pro-Parkinson's Disease Toxin MPP**. Mol Neurobiol. 2015 Jul 30.

www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26223801

Dieudonné M (2015): **Does electromagnetic hypersensitivity originate from nocebo responses? Indications from a qualitative study**. Bioelectromagnetics. 2015 Sep 15.

www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26369906

Fischer H, Kheifets L, Huss A, Peters TL, Vermeulen R, Ye W, Fang F, Wiebert P, Vergara XP, Feychting M (2015): **Occupational Exposure to Electric Shocks and Magnetic Fields and Amyotrophic Lateral Sclerosis in Sweden**. Epidemiology. 2015 Nov;26(6):824-30.

www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26414853

Huss A, Spoerri A, Egger M, Kromhout H, Vermeulen R; Swiss National Cohort (2015): **Occupational exposure to magnetic fields and electric shocks and risk of ALS: the Swiss National Cohort**.

Amyotroph Lateral Scler Frontotemporal Degener. 2015 Mar;16(1-2):80-5. Epub 2014 Sep 17.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/25229273>

Vergara X, Mezei G, Kheifets L (2015): **Case-control study of occupational exposure to electric shocks and magnetic fields and mortality from amyotrophic lateral sclerosis in the US, 1991-1999**. J Expo Sci Environ Epidemiol. 2015 Jan;25(1):65-71. Epub 2014 Jun 11.

<http://www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/24917188>

Wang X, Liu C, Ma Q, Feng W, Yang L, Lu Y, Zhou Z, Yu Z, Li W, Zhang L (2015): **8-oxoG DNA Glycosylase-1 Inhibition Sensitizes Neuro-2a Cells to Oxidative DNA Base Damage Induced by 900 MHz Radiofrequency Electromagnetic Radiation**. Cell Physiol Biochem. 2015;37(3):1075-88. Epub 2015 Sep 25.

www.ncbi.nlm.nih.gov/pubmed/26401913

Weitere Informationen und Hintergründe zur beratenden Expertengruppe nicht-ionisierende Strahlung (BERENIS) sowie eine Übersicht der verwendeten Abkürzungen finden Sie auf

<http://www.bafu.admin.ch/elektrosmog/01095/15189/index.html?lang=de>

[Link zum Abkürzungsverzeichnis \(als pdf\)](#)