

ElektrosmogReport

Fachinformationsdienst zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit

20. Jahrgang / Nr. 6

www.elektrosmogreport.de

Juni 2014

Wirkung von niederfrequenten Feldern

DNA-Strangbrüche in normalen Zellen durch 100 Hz

Vero-Zellen wurden kontinuierlichen oder diskontinuierlichen 100 Hz bei 5,6 mT ausgesetzt. 48 Stunden nach der 45-minütigen Feldeinwirkung zeigte sich ein signifikanter Anstieg von Zellen mit geschädigter DNA im Vergleich zu den Kontrollzellen. Im Zellzyklus fand man erhöhte Zellzahlen in der S-Phase und das Auftreten von Einzelstrangbrüchen. Die wahrscheinliche Erklärung: Produktion verschiedener ROS in den Zellen, die angewendeten Felder haben eine genotoxische Wirkung auf die Vero-Zellen.

100-Hz-Magnetfelder sind weit verbreitet, z. B. in Zügen, Autos und medizinischen Geräten, wobei bei letzteren das Personal den Feldern langfristig ausgesetzt ist. Die kombinierte Behandlung von 100 Hz und Röntgenstrahlen kann die Krebstherapie verbessern. Die mögliche Krebs erregende Wirkung niederfrequenter Felder andererseits kann auf die Initiation der Krebsentstehung beschleunigend einwirken, weil die DNA-Struktur durch die Felder verändert wird, oder die Ausbreitung der bereits vorhandenen Krebszellen kann beschleunigt werden. Außerdem werden niederfrequente Felder mit neurodegenerativen Erkrankungen durch ROS-Bildung in Zusammenhang gebracht. Deshalb sollten diese Experimente klären, ob es Unterschiede zwischen kontinuierlicher (cMF) und diskontinuierlicher (dcMF) Feldeinwirkung auf die DNA von Vero-Zellen gibt, die Mutagenität zur Folge haben.

Die Kulturen normaler Vero-Zellen (eine fibroblastenartige Zelllinie, Fibroblasten produzieren Kollagenfasern) wurden einem homogenen 5,6-mT-Feld von 100 Pulsen/sec 45 Minuten lang ausgesetzt. Diese Bedingungen wurden gewählt, weil sie in der Physio- und Krebstherapie zusammen mit Chemotherapie eingesetzt werden und von Elektroautos und Zügen erzeugt werden. Die diskontinuierliche Befeldung bestand in 1 sec an und 3 sec aus. Das Feld der scheinbefeldeten Kontrollen von 0,021 mT entsprach etwa dem Hintergrund-Magnetfeld. 48 Stunden nach der Befeldung wurden die Zellen auf DNA-Schäden (Komet-Test) und Zellzyklus (Fluoreszenz) untersucht.

Die DNA-Schädigung von mehr als 40 % war in den EMF-Zellen signifikant höher als in den Kontrollzellen. Die diskontinuierlichen Magnetfelder hatten eine stärkere Wirkung als die kontinuierlichen, d. h. die diskontinuierlichen Felder hatten eine negativere Wirkung auf die Fragmentierung des genetischen Materials der Vero-Zellen als die kontinuierliche.

Im Komet-Test wurden quantitativ Schweiflänge, Prozentanteil der DNA, Schweif-Moment und Olive-Tail-Moment (OTM) bestimmt. Die Schweiflänge zeigt das Ausmaß der DNA-Fragmentierung an, es ist proportional zum Ausmaß der DNA-Schädigung (kleinere Fragmente = längerer Schweif). Die

Schweiflänge nach der kontinuierlichen Behandlung betrug $54,20 \mu\text{m} \pm 2,34$ und bei den dcMF $49,63 \mu\text{m} \pm 3,23$; das entspricht der 1,65- bzw. 1,51-fachen Länge der Kontrollgruppe ($32,81 \mu\text{m} \pm 2,01$) und ist statistisch signifikant. Der Prozentanteil der geschädigten DNA in den Einzelzellen stieg signifikant in den befeldeten Zellen, bei den cMF um $13,37 \pm 0,88 \%$ und den dcMF um $13,87 \pm 1,17 \%$ im Vergleich zu den Kontrollen ($8,8 \pm 0,78 \%$), das sind 1,52- bzw. 1,58-mal mehr als bei den Kontrollen. Das Schweif-Moment gibt das Produkt aus Schweiflänge und dem Prozentanteil der DNA-Fragmente im Schweif an. Die Magnetfeldbehandlung ergab signifikant erhöhte Werte von $17,40 \mu\text{m} \pm 1,54$ bzw. $20,77 \mu\text{m} \pm 2,16$ gegenüber der Kontrolle ($8,26 \mu\text{m} \pm 1,03$). Das Olive-Schweif-Moment stieg ebenfalls signifikant an: $12,30 \mu\text{m} \pm 0,91$ bzw. $12,70 \mu\text{m} \pm 1,2$ gegenüber $6,58 \mu\text{m} \pm 0,66$ der Kontrolle.

Die qualitativen Analysen des Komet-Tests ergaben eine Reduktion des geschädigten DNA-Anteils zwischen 5–40 %, aber einen signifikanten Anstieg der Zellzahlen mit starker Schädigung der DNA. 48 Stunden nach der Feldeinwirkung zeigte der Zellstatus, dass die Magnetfelder eine Reihe von Folgen auf die Stabilität des genetischen Materials hatte, z. B. Schäden, die das interne Kontrollsystem der Zellen aktivierte zur Wiederherstellung der normalen Funktionen der DNA-Moleküle, und es entstanden Veränderungen, die nicht korrigiert werden konnten oder längere Zeit zur Reparatur brauchten. Die Aktivierung des Reparatursystems und die Fehlerkorrektur erfolgten in den befeldeten Zellen mit höherer Effizienz als in den Kontrollzellen. Aber die höhere Frequenz von Zellen mit hochgradig geschädigter DNA deutet auf verschiedene zelluläre Reaktionen auf die Magnetfelder hin, der vom Zellstatus zum Zeitpunkt der Einwirkung abhängig ist.

Beim Zellzyklus zeigte sich eine Blockierung der S-Phase, die 48 Stunden nach der Befeldung bei der kontinuierlichen stärker war als bei der diskontinuierlichen. Das deutet auf verzögerte Reparatur, durch verschlechtern der Synthese- und Korrekturmechanismen, hin. Das Stoppen der Zellen in der S-Phase deutet auf Bildung von Einzelstrangbrüchen oder Zusammenbruch der DNA-Replikationsgabel während der S-Phase hin, wenn die 100-Hz-Magnetfelder einwirkten. Es könnte eine di-

Weitere Themen

Unterentwicklung durch Niederfrequenz, S. 2

Erhöhte 50-Hz-Felder verursachen ein geringeres Geburtsgewicht insbesondere bei weiblichen Neugeborenen.

Wellenform entscheidend für Zellreaktion, S. 3

Die Wellenform der Felder entscheidet über Wachstum, Differenzierung und Mineralisation von Osteoblasten.

Vereinfachte Hochfrequenzmessungen, S. 3

Ein Messsystem in Schweden ermöglicht einen relativ schnellen Überblick über Hochfrequenz-Feldstärken.

rekte oder indirekte Wirkung sein, z. B. die von anderen Forschern beschriebene ROS-Produktion, oder die Felder bewirken eine längere Stabilität der ROS. Das Reparatursystem arbeitet effektiver als in den Kontrollen, die DNA-Reparatur ist aber weniger genau und verzögert.

Aus diesen Ergebnissen kann man schließen: Die Analysen von DNA-Schädigung und Veränderung des Zellzyklus zeigen, dass 100-Hz-Magnetfelder der Feldstärke 5,6 mT eine genotoxische, also Krebs erregende Wirkung auf normale Vero-Zellen haben. Noch 48 Stunden nach der Exposition findet man lang anhaltende ROS-Wirkungen, der zelluläre Apparat ist durcheinander gebracht. Die Reparatur der DNA-Schäden und das Auftreten von Einzelstrangbrüchen in den Magnetfeld-exponierten Zellen deuten auf diese Vorgänge hin.

Quelle: Mihai CT, Rotinberg P, Brinza F, Vochita G (2014): Extremely low-frequency electromagnetic fields cause DNA strand breaks in normal cells. *Journal of Environmental Health Science & Engineering* 12, 15, <http://www.ijehse.com/content/12/1/15>

Niederfrequente Felder

Unterentwickelte Neugeborene durch 50-Hz-Felder?

In dieser Kohorten-Studie wurde untersucht, ob die Nähe zu einer Niederfrequenzquelle (< 50 m) Auswirkungen auf Entwicklung des Ungeborenen und Geburtsgewicht von Neugeborenen hat. Fast 266.000 Geburten in den Jahren 2004–2008 wurden in die Auswertung einbezogen. Das durchschnittliche Geburtsgewicht war besonders bei Mädchen reduziert, wenn die Mutter während der Schwangerschaft in der Nähe einer Feldquelle wohnte.

Ungünstige Entwicklung im Mutterleib kann zu lebenslangen Gesundheitsproblemen führen, z. B. Diabetes Typ II und Herz-Kreislauf-Erkrankungen. Trotz guter Gesundheitsvorsorge für Schwangere in den Industrieländern steigen die Zahlen von Frühgeburten und, dazu passend, geringem Geburtsgewicht. Eine Erklärung kann sein, dass der Fetus während der Schwangerschaft empfindlich auf Umwelteinwirkungen reagiert. Ein Faktor könnte die Einwirkung elektromagnetischer Felder sein. Endogene elektrische Felder spielen eine Rolle für die normale Entwicklung des Embryos, und Störungen führen zu Normabweichungen. Unklar ist, wie weit externe elektromagnetische Felder dazu beitragen, denn es gibt nur wenige Studien dazu mit uneinheitlichen Ergebnissen (elektrische Heizdecken, Computearbeitsplätze, hohe Felder in Haushalten). Epigenetische Veränderungen und Anpassung an die heutigen Feldstärken elektromagnetischer Felder während der Schwangerschaft könnten ein Grund sein. Eine Studie hat gezeigt, dass es einen Zusammenhang zwischen hohen Feldstärken in der Schwangerschaft und erhöhtem Risiko für Asthma beim Kind gibt.

Die Daten hier wurden von 1990–2009 aus Geburten in 21 Kliniken in Nordwest-England erhoben, aber nur die Daten von 2004–2008 verwendet, weil vorher einige Parameter nicht erfasst worden waren. Insgesamt waren es 265.926 Einzel-Lebend-Geburten, die in die Berechnungen einfließen. Darin enthalten waren die Faktoren Alter der Mutter, Ethnie (weiß oder nicht weiß), ob 1., 2. oder x. Geburt, der Wohlstandsstatus, Körpergewicht der Mutter und ob die Mutter raucht. Das Alter wurde in 5-Jahres-Kategorien von < 20 bis + 40 eingeteilt. Als Kriterium für die Belastung mit elektromagnetischen Feldern wurde die Entfernung zur Leitung bzw. Station gewählt. Als hohe Felder galt ein Abstand von ≤ 50 m von Hochspannungs-

leitung, Erdkabel, Trafo-Station oder Strommasten, mittlerer 100 m und geringer 200 m.

Unter 140.356 Geburten waren 5,8 % spontane vorzeitige Geburten (SPTB) und 8,8 % mit Untergewicht (small for gestational age, SGA). 7 % von 47.222 Frauen rauchten während der Schwangerschaft. Weniger als 1 % lebte in geringerer Entfernung, d. h. < 200 m von den elektrischen Einrichtungen. Frauen, die ≤ 50 m entfernt wohnten, gehörten überwiegend höherem sozio-ökonomischem Status an und rauchten etwas weniger. Es gab keinen statistisch signifikanten Unterschied im Risiko bei > 50, 100 und 200 m Entfernung, aber ein konsistentes erhöhtes Risiko wurde beobachtet für untergewichtige Neugeborene (low birthweight, LBW), und spontane vorzeitige Geburt (SPTB) für Wohnadressen ≤ 50 m Entfernung von der Feldquelle. Ergebnisse für SPTB und Frühgeburten (Preterm birth = PTBs, vor der 27. Woche) waren vergleichbar, etwas erhöht für weibliche Neugeborene, für SGA bei weiblichen Neugeborenen statistisch signifikant (Risikofaktor 4,39), jedoch nicht für männliche. Das signifikant niedrigere Geburtsgewicht betrug -125 g. Die Fallzahlen sind allerdings zu klein für eine endgültige Beurteilung. Bei Einbeziehung von Rauchen war das Geburtsgewicht -212 g (-395 bis -29) geringer, auch hier stärker für weibliche Neugeborene. Andere Analysen zeigten, dass enge Nähe zu NF-Quellen eher mit suboptimalem Wachstum des Fetus assoziiert ist als mit Frühgeburt. Das bis zu 10 % geringere Geburtsgewicht bei den weiblichen Nachkommen ist z. T. auf das Rauchen der Mütter während der Schwangerschaft zurückzuführen. Diese große bevölkerungsbasierte Studie zeigt, dass die Nähe zu Hochvolt-Erdkabeln, einer Hochspannungsleitung, Trafo-Station oder einem Strommast (≤ 50 m) zu suboptimalem Wachstum führen kann und liefert einige Hinweise, dass dies klinisch relevant sein könnte.

In dieser Studie wurden nicht nur Hochspannungsleitungen, wie in früheren Studien, betrachtet, so dass falsche Einstufung der Exposition geringer ist. Einschränkungen sind gegeben, weil es keine Messungen der Felder, keine Berechnungen gab, sondern der Abstand zu den Feldquellen herangezogen wurde. Das kann aber gut als Stellvertreter dienen. Wenn es stimmt, dass elektromagnetische Felder in Haushalten ein Grund für geringes Geburtsgewicht bei Mädchen und erhöhtes Risiko für unterentwickelte Neugeborene sind, so sind die biologischen Mechanismen unklar. Auf Zellebene ist bekannt, dass der oxidative Status und intrazelluläre Ca^{2+} -Signalwege durch die Felder beeinflusst werden. Das wirkt sich auf die Zelldifferenzierung aus. Die Störung des Gleichgewichts der Ca^{2+} -Konzentration zwischen Plasma und Gefäßzellen (durch NO-Synthese und NO) hat Auswirkungen auf die Funktion der Plazentagefäße und führt zu Beeinträchtigung des Ungeborenen. Das signifikant verringerte Geburtsgewicht um 212 g (nach Abgleich für Rauchen) war stärker bei Mädchen als bei Jungen, wenn auch nicht-signifikant. Diese 10 % Reduktion, wenn sie bestätigt wird und allein auf die EMF-Einwirkung zurückzuführen ist und nicht beeinflusst ist von weiteren Einflussfaktoren, könnte klinisch relevant sein und vergleichbar der Wirkung von 9 Zigaretten am Tag. Da aber zu wenige Schwangere nah an einer Feldquelle wohnen, können die Ergebnisse kaum zu Maßnahmen führen zur Verringerung der Risiken. Die an > 100.000 Frauen ermittelten Ergebnisse zeigen bisher allerdings keine Signifikanz, es kann sich auch um Zufall oder andere Störgrößen handeln. Der Einfluss auf die öffentliche Gesundheit ist wahrscheinlich gering.

Quelle: De Vocht F, Hannam K, Baker P, Agius R (2014): Maternal Residential Proximity to Sources of Extremely Low Frequency Electromagnetic Fields and Adverse Birth Outcomes in a UK Cohort. *Bioelectromagnetics* 35, 201–209