

ElektrosmogReport

Fachinformationsdienst zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit

19. Jahrgang / Nr. 4

www.elektrosmogreport.de

April 2013

Wirkung von Niederfrequenz auf Zellen

Elektr. Felder verändern Blutgefäße und NO-Produktion

Niederfrequente Felder von 1 und 2 Hz beeinflussen das Membranpotenzial von Endothelzellen (Innenwand-Zellen der Blutgefäße) und verändern die Produktion von Stickstoffoxid (NO) in den Zellen. Es scheint mehrere unabhängige Angriffspunkte der elektrischen Felder im Endothel und in der glatten Muskulatur der Blutgefäße zu geben.

Bei Gefäßkrankheiten fokussiert man zurzeit auf Fette, Entzündungszellen, extrazelluläre Enzyme und Reaktionen auf mechanischen Stress durch den Blutfluss (Scherkräfte, Druck, Dehnung), die auf die Endothelzellen und die glatte Muskulatur der Gefäße einwirken. Das Strömungspotenzial ist seit 1861 bekannt, seine biologische Rolle im Gefäßsystem aber erst seit den 1960er Jahren Forschungsgegenstand. Endothelzellen sind den elektrischen Feldern des Blutflusses ausgesetzt, die Einfluss auf die Endothelzellen haben. Durch den Blutfluss wird in den Endothelzellen ein elektrisches Feld erzeugt, das so genannte elektrokinetische Strömungspotenzial (electrokinetic vascular streaming potential, EVSP). Die Höhe des EVSP beträgt 0,7–3,0 V/m. Im lebenden Organismus (in vivo) wird das Feld durch mechanische Vorgänge erzeugt, die ihrerseits Scher- und Dehnungskräfte im Gefäß hervorrufen. Zur Untersuchung werden deshalb isolierte elektrische Felder benötigt, die frei von mechanischen Reizen sind. Solche Felder haben eine biologisch relevante Wirkung auf die Elektrophysiologie und Elektropharmakologie der Gefäßmuskulatur. Diese Erkenntnisse könnten einen neuen Ansatz in der Behandlung von Gefäßkrankheiten bieten.

Die meisten mechanischen und chemischen Reize, die auf die Endothelzelloberfläche einwirken, verursachen die Freisetzung von gefäßerweiternden Stoffen aus dem Endothel, die auf den Anstieg der intrazellulären Calcium-Ionen-Konzentration (Ca^{2+}) erfolgt. Gewöhnlich ist das Stickstoffoxid (NO). Der intrazelluläre Anstieg des Calciums entsteht entweder durch Einstrom von Ca^{2+} oder durch eine Freisetzung aus intrazellulären Speichern. Der Anstieg von intrazellulärem Ca^{2+} aktiviert die NO-Synthase, wodurch NO gebildet wird. Dadurch werden die Ca^{2+} -abhängigen Kaliumkanäle aktiviert und dies führt zur Hyperpolarisation der Endothelzellen. Es fließt mehr Ca^{2+} an diesem elektrischen Gradienten entlang in die Zelle, die Produktion von gefäßaktiven Stoffen wird aufrechterhalten.

Vor diesem Hintergrund kann man folgern, dass eine unabhängige Regulation des Gefäßendothels durch ähnliche, künstlich zugeführte elektrische Felder erzielt werden kann, wenn man die Variablen des Transmembranpotenzials und der NO-Produktion verändert. Um den Einfluss von zusätzlichen elektrischen Feldern zu erforschen, wurde die Wirkung von 2-Hz-

Feldern einer Stärke von 0–6,67 V/m im Vergleich zu Kontrollzellen (0 Hz und 0 V/m) an Endothelzellen der Aorta von Rindern (bovine aortic endothelial cells = BAECs) in Zellkulturen untersucht. Gemessen wurden das Membranpotenzial und die Bildung von Stickstoffoxid (NO). Man weiß aus früheren Experimenten, dass die Zellen bei 1 und 7 mV depolarisieren, mit einer strengen Abhängigkeit von Höhe und Frequenz des isolierten elektrischen Feldes. Die Zellkulturen von Rinder-Aorten-Endothel wurden Sinuswellen und einem mit Batterien erzeugten statischen Feld ausgesetzt. Die elektrischen Reize erfolgten mit 2 Platinelektroden im Kulturmedium bei 0, 1 und 2 Hz.

Ergebnisse: Die Membranpotenzialstudien wurden alle mit Zellen im konfluenten Zustand durchgeführt. Das Ruhepotenzial der Membranen der BAECs betrug -32 ± 2 mV. Das isolierte elektrische Feld entsprach dem zu erwartenden bei Kühen unter physiologischen Bedingungen (100–300 mm Hg systolisch, 1,67–6,6 V/m) und normaler Herzrate (0,5–2 Hz). Das EVSP hat statische und alternierende Komponenten der elektrischen Felder, die getrennt untersucht wurden. Wenn ein Feld anliegt, erfahren die Zellen eine gleichbleibende Depolarisation zwischen 1 und 8 mV im Vergleich zur feldfreien Kontrolle. Die Frequenz hat einen größeren Einfluss als die Feldstärke. Wenn nur die statische Vorspannung vorhanden ist, entsteht nur eine sehr kleine, aber statistisch signifikante Depolarisation von ca. 1 mV, die unabhängig von der Feldstärke des hier untersuchten physiologischen Bereiches ist. Im Gegensatz dazu erzeugt das Wechselfeld komplexere Wirkungen. Die Schwelle der Zellen liegt bei 0,5 Hz, und bei einer gegebenen Frequenz entsteht eine logarithmische Beziehung zwischen der Feldstärke des elektrischen Feldes und der Depolarisation der Endothelzell-Membran.

Zur NO-Produktion: Die Zellen wurden unter drei Testbedingungen untersucht: Bei Anwesenheit von Ca^{2+} , bei Anwesenheit von Ca^{2+} mit Blockierung der Ca^{2+} -Kanäle und mit Ca^{2+} -freien Kulturen. Zellen mit extrazellulärem Ca^{2+} zeigen 2 Phasen: die logarithmische Phase erreicht ihr Maximum innerhalb von 30 Minuten und die exponentielle Phase beginnt bei 30 Minuten und stieg bis Ende des Experiments (2 Stunden). Die

Weitere Themen

Baumschäden durch EMF, S. 2

Das Bundesamt für Strahlenschutz vernachlässigt bei wissenschaftlichen Untersuchungen die möglichen Baumschäden durch Mobilfunkstrahlung.

Keine Kinderleukämie durch EMF?, S. 6

Eine unter Beteiligung der Elektroindustrie erstellte Folgestudie stellt fest, dass niederfrequente Felder keine Erhöhung des Kinderleukämierisikos und des Rückfalls bewirken.

beiden Phasen können getrennt werden durch Veränderung der Ca^{2+} -Bedingungen im Medium, durch Zugabe von Nickelchlorid (NiCl_2) oder durch Entfernen der Calcium-Ionen aus dem Medium. Die Zugabe von NiCl_2 blockiert die späte Exponentialphase, während die frühe logarithmische Phase unbeeinflusst bleibt. Bei Abwesenheit von extrazellulärem Ca^{2+} ist in keiner der Phasen ein NO-Anstieg zu sehen. Bei Anwesenheit des elektrischen Feldes und von Ca^{2+} -Ionen wird die logarithmische Phase abhängig von der Feldstärke erhöht, die exponentielle bleibt unverändert. In den Ca^{2+} -freien Kulturen steigt nur die exponentielle Phase feld- und frequenzabhängig signifikant an. Die Blockade durch NiCl_2 verhindert die Potenzierung der Frühphase, die späte Phase der NO-Produktion ist nicht betroffen und hat eine Feldstärkeabhängigkeit.

Die biologische Reaktion auf niederfrequente Felder geringer Feldstärke ist ein unabhängiger physikalischer Faktor, der die Elektrophysiologie und die NO-Produktion der Endothelzellen beeinflusst. Es gibt eine steady-state-Komponente des statischen Feldes in den Blutgefäßen, aber auch eine andere Eigenschaft in der Aorta; die Wechselfeld-Komponente ist wahrscheinlich die dominante Eigenschaft, die von der elektrokinetischen Wirkung erzeugt wird. Die Ergebnisse bestätigen zweierlei, eine Frequenzwirkung bei normalen physiologischen und beschleunigten Herzraten von pulsierendem Fluss (2 Hz) und eine zusätzliche Wirkung der Feldstärke. Elektrische Felder von biologischem Charakter erzeugen somit eine graduierte Membran-Depolarisation, die abhängig ist von klinisch relevanten Variablen, Blutdruck und Pulsrate.

Die Hypothese, dass diese niederfrequenten Felder Kontrollfaktoren in der Gefäßbiologie sind und deshalb eine Wirkung auf die NO-Produktion haben, hat sich bestätigt, aber nicht, wie gedacht. Statt der vermuteten Reduktion kam es zu einer streng steigernden Wirkung der Felder auf die NO-Produktion bei den Experimenten mit den feldbehandelten BAECs, die assoziiert ist mit der frühen intrazellulären Phase, während die vermutete Eliminierung des Ca^{2+} -Einstroms sich nicht zeigte.

Die Experimente mit dem Ca^{2+} -freien Medium mit der EMF-Stimulation zeigen nur in der exponentiellen Phase einen Anstieg der NO-Produktion in Abhängigkeit von Frequenz und Feldstärke. Das deutet auf einen Angriffspunkt des Feldes in der späten Phase hin, der die NO-Produktion potenziert ohne dass Ca^{2+} -Fluss benötigt wird. Die Wirkung ist so wahrscheinlich unabhängig von den elektrophysiologischen Vorgängen an dem veränderten Membranpotenzial. Auch die Ni^{2+} -Blockade zeigt, dass es mehrere Angriffspunkte geben muss. Die Ni^{2+} -Blockade eliminierte hauptsächlich die Potenzierung der frühen Phase, so ist vermutlich überraschenderweise der wahrscheinliche Angriffspunkt der Felder in der frühen Phase ein Mechanismus, der Ca^{2+} -Fluss involviert über den Ni^{2+} -Blockade-Kanal. Oder es gibt noch unbekannte Mechanismen an Rezeptoren, die von Ni^{2+} blockiert werden. Die Spätphase der NO-Produktion ist nicht eliminiert unter der Ni^{2+} -Blockade, hat aber eine strenge Abhängigkeit von Feldstärke, was darauf hindeutet, dass Ca^{2+} -Fluss keine Rolle dabei spielt.

Diese Untersuchungen zeigen komplexe und physiologisch wichtige Wirkungen auf den Blutfluss in BAECs durch elektrische Felder. Die Autoren diskutieren eine Reihe von Möglichkeiten, wie die komplexen Regulations-Mechanismen zwischen Blutfluss und Gefäßen aussehen könnten. Die EVSPs beeinflussen das Endothel und die glatte Muskulatur der Gefäßwände unabhängig, die Ergebnisse eröffnen neue Betrachtungen in Hinsicht auf Experimente zu Biophysik und Biochemie der Blutgefäße, in die die Wirkung von elektrischen Feldern wie EVSPs einbezogen werden müssen. Einige Überlegungen zu klinischen Implikationen der EVSPs auf Endothelzellen bieten sich an. Das EVSP verändert sich, wenn

die Gefäßoberfläche verändert wird, was bei atherosklerotischen Ablagerungen und bei Anstieg und Abfall des Blutdrucks passiert.

Quelle: Trivedi D, Hallock KJ, Bergethon PR (2013): Electric Fields Caused by Blood Flow Modulate Vascular Endothelial Electrophysiology and Nitric Oxide Production. *Bioelectromagnetics* 34, 22–30

Vorsorge und Bürgerbeteiligung

Das BfS und die Baumschäden

Der Diplom-Forstwirt Helmut Breunig beschreibt die unverständliche und wenig sachgemäße Handhabung des Problems möglicher Baumschäden durch Mobilfunksender durch das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS)

Die Europäische Umweltagentur (EUA) belegt in ihrer wissenschaftlichen Dokumentation zur Geschichte und Bedeutung der Umweltvorsorge „Späte Lehren aus frühen Warnungen“ (1), dass für deren wirksame Umsetzung bestimmte Voraussetzungen erfüllt sein müssen. Dazu gehört, dass dem jeweiligen Wissensstand entsprechende praktische Maßnahmen zu treffen sind. Vorsorge wird erforderlich, wenn Unkenntnis vorliegt. Unkenntnis herrscht, solange Auswirkungen von Umweltfaktoren unbekannt sind bzw. eine nur geringfügige Kenntnis über die Wahrscheinlichkeit von Schadfolgen besteht und daher überraschende Zusammenhänge nicht auszuschließen sind. Vorsorge beinhaltet „Maßnahmen zur Früherkennung und Verminderung der Auswirkung von „Überraschungen“, ... und Nutzung möglichst breit gefächerter Informationsquellen einschließlich Langzeitbeobachtung.“

Amtliches Risikomanagement

Dass in Bezug auf mögliche Schadwirkungen bei Bäumen durch Mobilfunksender weitgehende Unkenntnis der Stand der amtlichen Wissenschaft ist, wurde durch Veröffentlichungen des behördlichen Strahlenschutzes mehrfach erkenntlich. In zwei Positionen auf seiner Webseite befasst sich das Bundesamt für Strahlenschutz (BfS) mit dieser Frage; „Elektromagnetische Felder und die belebte Umwelt“ (2). und „Stellungnahme zur Frage möglicher Wirkungen hochfrequenter und niederfrequenter elektromagnetischer Felder auf Tiere und Pflanzen“ (3)

Als Grundlage für eine Einschätzung des Risikos durch elektromagnetische Felder auf Pflanzen und Tiere dient dem BfS eine Literatursichtung (Zeitraum 1988–2011). Keine der Studien zu Pflanzen hat die hier im Fokus stehende Frage einer möglichen Beeinträchtigung von Bäumen durch Mobilfunksender zum unmittelbaren Gegenstand. Sämtliche der in den 5 angeführten Studien zu Bäumen untersuchten technischen Parameter der Abstrahlung unterscheiden sich von Emissionen durch Mobilfunksender. Insgesamt kommt das BfS zu dem Schluss, dass „elektromagnetische Felder“ „kein offensichtliches Schädigungsrisiko für Waldbäume“ darstellen, sofern Bedingungen wie in den angeführten Studien gegeben seien. Als Ansatz für eine solide hypothetische Modellierung der strahlungsökologischen Verhältnisse bei Bäumen um Mobilfunksender sind die vom BfS referierten Ergebnisse ungeeignet. Denn die Art der Emissionen generiert in Wechselwirkung mit den ökologischen Gegebenheiten die realen Expositionscharakteristika an den Untersuchungsobjekten.

An wissenschaftlichen Untersuchungen, deren Ergebnisse geeignet wären, die infolge der Unkenntnis bestehende Unsicherheit bei der Risikobewertung zu überwinden, besteht ein Mangel, der dem BfS lange bekannt ist. Bereits 1999 stellten WHO, ICNIRP und BfS gemeinsam fest, dass für die Lang-