

ElektrosmogReport

Fachinformationsdienst zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit

13. Jahrgang / Nr. 2

www.elektrosmogreport.de

Februar 2007

Zell- und Gewebeforschung

EMF, Zellmembranen, Nano-Pulse und Wundheilung

Elektromagnetische Felder wirken in vielfältiger Weise auf ihre Umgebung ein, das ist nichts Neues. Hier werden vier wissenschaftliche Arbeiten vorgestellt, die sich mit den Mechanismen der Wundheilung, aber auch grundlegenden Lebensprozessen befassen. Die unterschiedlichen Ansätze der Experimente zeigen die Komplexität der Reaktionen von lebenden Zellen und Organismen auf innere und äußere elektromagnetische Einflüsse.

Seit mehr als 150 Jahren ist bekannt, dass ein elektrischer Gradient entsteht, wenn Gewebe verletzt wird. Seit langer Zeit werden Strahlen medizinisch eingesetzt, um Heilungsprozesse verschiedener Verletzungen und Entzündungen zu beschleunigen oder Schmerzen zu lindern, z. B. bei Knochen, Gelenken und Wunden. Zweifellos gibt es vorteilhafte Wirkungen von elektromagnetischen Feldern, die grundlegenden Mechanismen allerdings waren damals gänzlich und sind heute weitgehend im Dunkeln. Zur Erhellung dieser Vorgänge gibt es verschiedene Ansätze der Forschung. Hier werden Arbeiten vorgestellt, die die Vorgänge an Membranen, Zellen und Wunden untersuchen. Die vier Arbeiten beleuchten ganz unterschiedliche Aspekte in der Zellforschung: die mögliche Nutzung der wissenschaftlichen Erkenntnisse zu therapeutischen Zwecken, die Beobachtung von elektrischen Vorgängen an Zellmembranen und die Abläufe bei der Wundheilung.

Ausgehend von der Frage nach dem Nutzen der Grundlagenforschung beschreiben Huttenlocher und Horwitz in ihrem Artikel im New England Journal of Medicine, wie die Ergebnisse der Grundlagenforschung für therapeutische Anwendungen genutzt werden können. Die klinische Bedeutung von Grundlagenforschung ist oft nicht klar zu erkennen, manchmal nicht einmal ansatzweise, obwohl Grundlagenforschung auf lange Sicht eben die Grundlage bilden soll für nutzbringende Anwendungen zum Wohle der Menschheit. Daher ist die Frage nach der Anwendbarkeit bzw. Nutzbarmachung von Forschungsergebnissen für das praktische private oder berufliche Leben von Interesse. Die beiden Autoren beziehen sich hauptsächlich auf Experimente von Zhao und Mitarbeitern (s. u.).

Die effektive Reparatur von verletztem Gewebe ist eine Grundlage des menschlichen Überlebens, Wundheilung hat deshalb schon Generationen von Praktikern der Heilberufe herausgefordert, Strategien zur beschleunigten Heilung zu entwickeln. Eine dieser Strategien ist die äußerliche Anwendung von elektrischen Strömen, um bei chronischen Wunden die Elektrotaxis (auch Galvanotaxis genannt, s. S. 4) anzutreiben. Die auslösenden Faktoren für die Chemotaxis – das Wandern von Zellen an einem chemischen Gradienten entlang – ist gut untersucht. Eine Reihe von Studien an verschiedenen Zellkulturen hat gezeigt, dass Zellen einen chemischen Gradienten

wahrnehmen und diese Wahrnehmung bestimmte Prozesse in der Zelle in Gang setzt. Es werden Zellkomponenten verschoben und umstrukturiert. Eine Schlüsselrolle spielt dabei eine bestimmte Substanz, Phosphatidyl-Inositoltriphosphat (PIP3), die aktiviert den Verschiebungs-Prozess. Der Weg und die Richtung werden von einem dazugehörigen Enzym vorgegeben (PIP3-Kinase). Ebenfalls beteiligt an der Chemotaxis ist eine Lipidphosphatase (PTEN, ein Tumorsuppressor), die als Gegenspieler die Bildung von PIP3 herunterreguliert.

Zhao und Mitarbeiter untersuchten sehr ausführlich, was sich in Zellen und Geweben abspielt, wenn Zellen elektrischen Gradienten ausgesetzt sind. Die verschiedenen Experimente legen nahe, dass die Wechselwirkung zwischen PIP3 und PTEN auch bei der Wundheilung von Bedeutung ist. Sie testeten die Wanderung von Zellen an einem künstlich erzeugten, dem natürlichen entsprechenden elektrischen Gradienten (Elektrotaxis).

Die Wundheilung wird durch elektrische Signale eingeleitet und zusammen mit verschiedenen Enzymen kontrolliert und gesteuert. Wird das Gewebe verletzt, setzt sofort die Bildung eines inneren elektrischen Feldes ein, was der erste Schritt für die Wundheilung ist. Wie das genau geht, ist unbekannt. Klar ist, dass die Verletzung einen Kurzschluss in der Membran hervorruft. Die Experimente haben gezeigt, dass künstliche elektrische Felder (gleicher Größe wie natürliche) die Richtung vorgeben, in die die Zellen wandern sollen, z. B. um für die Wundheilung zu sorgen. Das elektrische Feld löst die Aktivierung aus. Bei diesem Vorgang ist Phosphatidyl-Inositol beteiligt. Wenn diese Signalkette unterbrochen wird, bleibt die gerichtete Wanderung der Zellen in die Wunde aus. Zwei Substanzen sind maßgeblich beteiligt an der Regulation: Phosphatidyl-Inositol, das die Reaktion in Gang setzt, und PTEN, ein Tumorsuppressor, der die Aktion abschaltet, wenn nötig. Diese beiden Stoffe mit ihren entsprechenden Enzymen kontrollieren die Elektrotaxis.

Mit verschiedenen Techniken und Zell- und Gewebearten belegten die Forscher, dass in verschiedenen Gewebearten von Mensch und Tier ein elektrischer Strom fließt. Eine Stromstärke von 4–8 $\mu\text{A}/\text{cm}^2$ wurde an den Wundrändern dieser Gewebe gemessen. Die Höhe dieses Stroms ist unabhängig von der Größe der Wunde, und die Fließrichtung ist auf die Mitte

Weitere Themen

Finanzierung der Mobilfunkforschung, S. 3

Von der FGF finanzierte wissenschaftliche Studien ergaben „keinen Hinweis auf Beeinflussung der Hirnfunktionen durch Mobilfunkfelder“.

Neue BMU-Veröffentlichung, S. 3

Die Ergebnisse der Umfrage 2005 zu Mobilfunk und Gesundheit ist beim Bundesministerium für Umwelt erhältlich.

der Wunde gerichtet, so dass sich die Wunde schneller schließt. Legt man ein künstliches Feld mit umgekehrter Polarität an die Wunde an, bewegen sich die Zellen in die entgegengesetzte Richtung, also vom Wundrand weg, wodurch sich die Wunde nicht schließt. Je größer die Feldstärke ist, desto schneller bewegen sich die Zellen. Elektrische Signale sind somit in erster Linie Stimulans und Richtungsgeber für Zellen, die an der Wundheilung beteiligt sind.

Die elektrischen Felder beeinflussen auch den Ionentransport zwischen den Zellen. Die Geschwindigkeit des Ausstroms von Cl^- aus der und des Einstroms von Na^+ in die Zelle ist ebenfalls abhängig von der Feldstärke. Chemische Stoffe wie Silbernitrat (AgNO_3) steigern, Furosemid hemmen den Ausstrom von Cl^- durch Veränderung der Potenzialdifferenz an den Membranen. Die Hemmung durch Furosemid resultierte in einem geringeren elektrischen Feld und einer verschlechterten Wundheilung. Diese Ergebnisse und andere an Nervenzellen zeigen, dass Potenzialdifferenzen eine wichtige Rolle bei der Wundheilung spielen. Der elektrische Strom aktiviert bestimmte Signalwege, die ähnlich wie die der Chemotaxis ablaufen. Durch entsprechende Experimente konnte ausgeschlossen werden, dass die Vorgänge chemotaktischer Art sind. Chemo- und Elektrotaxis weisen Ähnlichkeiten auf, können jedoch unabhängig agieren, das haben genetische Experimente mit entsprechenden Mutanten gezeigt.

Die Überlegungen nun von Huttenlocher und Horwitz zu den Experimenten von Zhao und Mitarbeitern sind folgende: Veränderung des inneren elektrischen Feldes ist eine gute therapeutische Maßnahme, die Wundheilung zu verbessern, in der physikalischen Therapie wird das bereits genutzt. Vielleicht könnte die Gabe von noch zu entwickelnden Medikamenten den Ionentransport steigern, dadurch die inneren elektrischen Felder und die Wundheilung erhöhen. Zhaos Arbeitsgruppe zeigte auch, dass Silbernitrat – das üblicherweise bei Wundheilung gegen Infektionen eingesetzt wird – auch das elektrische Potenzial und die Wanderung Zellen steigert. Es wird auf der anderen Seite auch wichtig sein, neue Mittel zu entwickeln, die die elektrischen Felder schwächen, um den Transport von Molekülen durch diese Ionenkanäle zu verhindern. Dies könnte bedeutsam sein im Hinblick auf die kürzliche Beobachtung, dass gesteigerte Elektrotaxis bei der Invasion von Tumorzellen (Brust- und Prostatakrebs) in das umgebende Gewebe eine Rolle spielt. Mit Hemmstoffen der Elektrotaxis könnte so das metastasierende Potenzial der Tumorzellen unterbunden werden.

Ein ganz anderer Ansatz wurde von Puricelli und Mitarbeitern gewählt, um die Wundheilung zu erforschen. Mit chirurgischen Methoden und histologischen Untersuchungen wurde die Wirkung von statischen Magnetfeldern auf den Heilungsprozess von Knochengewebe untersucht. Bei dem chirurgischen Eingriff wurde einer Gruppe von Ratten ein Stück magnetisierter rostfreier Stahl mit einer Feldstärke von 4,1 mT in den linken Oberschenkelknochen eingebracht, dem zuvor chirurgisch ein Stück Knochen entfernt wurde. Die Kontrolltiere erhielten kein magnetisches Metall. Nach einiger Zeit wurde untersucht, ob Unterschiede beim Heilungsprozess zu sehen waren. Es zeigte sich, dass die Neubildung von Knochen, Blutgefäßen und umliegendem Gewebe in den mit Magnetfeld behandelten Tieren schneller und geregelter ablief. Nach zwei Monaten war kein Unterschied zu unverletztem Gewebe zu sehen, während bei den Kontrolltieren mehr narbiges Gewebe entstanden war.

Vernier und Mitarbeiter untersuchten an Zellmembranen, was Pulse von 3–4 Nano-Sekunden bei bis zu 8 MV/m bewirken. Dafür nahmen sie menschliche Lymphoblasten (Jurkat-Zellen) und schauten mit Fluoreszenzmethoden, was in den Zellen und

an deren Membranen passiert. Man weiß, dass Phosphatidyl-Serin (PS) normalerweise an der inneren Seite der Lipid-Doppelmembran von Zellen angereichert ist und bei Apoptose und Immunreaktionen zum Einsatz kommt, wobei PS aus der Zelle ausgeschleust wird. Vielleicht hat PS auch eine Funktion bei der Beziehung zwischen Zellmembran und Zellskelett.

Nano-Pulse sind die Auslöser für die Verlagerung von Phosphatidyl-Serin (PS-Translokation), weil die Spannung in der Membran verändert wird und dadurch die Anordnung der Moleküle in Unordnung gerät. Hier wird die Membranrestrukturierung von Zellen beschrieben, die mit 3 und 4 Nanosekunden bearbeitet wurden. Durch die Pulsung werden das Membranpotenzial und die Leitfähigkeit erhöht, es kommt zur Porenbildung und die Permeabilität der Membran wird erhöht. Sogar Pulse von weniger als 3 Nanosekunden erzeugen Membrandefekte, wodurch PS von der inneren Membran zur äußeren verlagert wird. Es ist bekannt, dass bei Membranrestrukturierungen PS aus der Zelle ausgeschleust wird. Diese kurzen elektrischen Pulse erzeugen polarisierte Membranstörungen, die auf die Anode gerichtet sind, was durch Färbung mit Fluoreszenzfarbstoffen sichtbar gemacht werden kann. Durch den Puls kommt es zur Neuordnung der Phospholipide und zum Einstromen von kleinen Molekülen in das Zellplasma. Die Zellreaktion ist ähnlich der bereits bekannten Reaktion auf längere Pulse und stimmt überein mit Befunden aus anderen Experimenten, bei denen PS-Ausschleusung beobachtet wurde.

Wird die Polarität des elektrischen Feldes gewechselt, sammelt sich PS an der anderen Seite, die dann die Anode bildete, an. Der Ionenaustausch (Influx) ist nicht allein durch die Porenweite bedingt, sondern es müssen zusätzlich bestimmte Mechanismen wirken, denn zwei Stoffe gleicher Größe und Ladung wandern auf verschiedene Weise durch die Membran.

Kurz zusammengefasst:

1. Die Knochenheilung wird verbessert mit eingebauten Magneten in den Oberschenkel von Ratten. Die Heilung erfolgt nicht nur schneller, sondern auch regulärer.
2. Nano-Pulse bewirken eine Membranstörung, wodurch die Membranstruktur in „Unordnung“ gerät und die Permeabilität verändert wird. An diesen Vorgängen sind eine Reihe von Stoffen beteiligt.
3. Der Nachweis wurde an verschiedenen Zellsystemen geführt, dass Elektrotaxis eine wichtige Rolle bei der Wundheilung spielt. Der elektrische Gradient dirigiert und beschleunigt die Wanderung der neu gebildeten Zellen.
4. Die Ergebnisse aus der Grundlagenforschung können klinische Bedeutung haben, hier z. B. kann man die Bestrahlung optimieren und Medikamente entwickeln, die die elektrischen Gradienten beeinflussen, z. B. um wachsenden Tumorzellen zu hemmen.

Die unterschiedlichen Ansätze in den Experimenten zeigen deutlich, wie komplex die Abläufe sind und welche Faktoren zusammenwirken. Am Ende muss man festhalten: Elektrische und magnetische Felder – und seien es nur kurze Pulse von Nano-Sekunden – greifen in die Membran- und Zellprozess ein. Ob das gut oder schlecht für die Zelle ist, hängt von der Situation, dem Moment und dem Ort der Einwirkung ab. Es gehen Veränderungen vor sich, insbesondere, indem sie Prozesse beschleunigen. Das kann auch bedeuten, dass das Wachstum von Krebszellen beschleunigt wird. Permanente „unnötige“ Einwirkung auf den normalen gesunden Organismus kann somit auch abträglich sein. Alles, was zu stark von den natürlichen Zuständen abweicht, könnte trotz der Anpassungsfähigkeit abträglich sein. Wie viel Veränderung durch äußere Ein-

flüsse, auch Beeinflussung durch elektromagnetische Felder, verträgt eine Zelle, ein Organ und ein Organismus?

Quellen:

1. Huttenlocher A, Horwitz AL (2007): Wound Healing with Electric Potential. *The New England Journal of Medicine* 356(3), 303–304
2. Zhao M, Song B, Pu J, Wada T, Reid B, Tai G, Wang F, Guo A, Walczysko P, Gu Y, Sasaki T, Suzuki A, Forrester JV, Bourne HR, Devreotes PN, McCaig CD, Penninger JM (2006): Electrical signals control wound healing through phosphatidylinositol-3-OH kinase-gamma and PTEN. *Nature* 442, 457–460
3. Puricelli E, Ulbrich LM, Ponzoni D, da Cunha Filho JJ (2006): Histological analysis of the effects of a static magnetic field on bone healing process in rat femurs. *Head & Face* 2, 43
4. Vernier PT, Sun Y, Gundersen MA (2006): Nanoelectropulse-driven membrane perturbation and small molecule permeabilization. *MBC Cell Biology* 7, 37

Mobilfunk und Gesundheit

FGF finanzierte Studie zur Wirkung von Mobilfunkstrahlung auf die Hirnfunktionen

In einer Pressemitteilung vom 11.01.2007 gibt die Forschungsgemeinschaft Funk (FGF) bekannt, dass zwei Forschergruppen in Finnland (C. Haarala et al. und C. Krause et al.) keine Beeinflussung von Hirnfunktionen in Experimenten, die von der FGF finanziert worden waren, gefunden haben. Die Forschungsgemeinschaft Funk ist eine Institution, die weitgehend von der Mobilfunkindustrie getragen wird.

Die beiden etwas unterschiedlich angelegten Untersuchungen sollten klären, ob Mobilfunkstrahlung von 902 MHz einen Einfluss auf verschiedene Gehirnleistungen hat. Dazu wurden verschiedene Gruppen von je 36 männlichen jungen Probanden verschiedenen Versuchsbedingungen ausgesetzt. Es wurde sowohl die linke als auch die rechte Kopfhälfte bestrahlt. Während der Reaktions- und Gedächtnis-Tests wurde das EEG aufgezeichnet. Die SAR-Werte betragen 0,738 W/kg (Spitzenwert 1,18 W/kg) bei einer Leistung von durchschnittlich 0,25 W und Bestrahlungszeiten von 54 oder 80 Minuten.

In den Doppel-Blind-Studien mussten die Probanden entweder gehörte oder gelesene Worte wiedererkennen und darauf reagieren. Die verschiedenen Probanden-Gruppen wurden entweder einem gepulsten, einem ungepulsten oder keinem (scheinexponierte Gruppe) elektromagnetischen Feld ausgesetzt. Die Tests wurden einmal wöchentlich über drei Wochen durchgeführt.

Die Ergebnisse zeigten keine Unterschiede in den Reaktionszeiten und der Gedächtnisleistung, aber Veränderungen, die im EEG sichtbar waren.

In einer Pressemitteilung vom 11.01.2007 mit dem Titel „Studie liefert keinen Hinweis auf die Beeinflussung von Hirnfunktionen durch Mobilfunkfelder“ wird darauf eingegangen, dass die Hirnleistungen in Bezug auf Reaktionsvermögen und Gedächtnis nicht durch Mobilfunkstrahlung verändert wurden. Dass aber die Alpha-Wellen des EEGs (8–12 Hz) bei Bestrahlung mit gepulsten Feldern verändert wurden, blieb unerwähnt. Es zeigte sich nämlich die nicht unwesentliche Tatsache, dass zwischen der Bestrahlung mit gepulsten und der mit

ungepulsten Mobilfunk-Feldern statistisch signifikante Unterschiede zu sehen waren, und zwar bei der Gedächtnisleistung im Zusammenhang mit den Aufgaben, bei denen auf das Hören von Worten reagiert werden musste. Dies ist in der deutschen Zusammenfassung im EMF-Portal zu lesen. Aber da steht auch: „Die Wirkungen der EEG-ERD/ERS-Reaktionen variierten jedoch und waren im Vergleich zu den früheren Studien inkonsistent und unsystematisch.“

Anmerkung: Vielleicht ergeben zukünftige Studien ja konsistentere und systematischere Ergebnisse, falls sie von der Industrie unbeeinflusst sind. Jedenfalls kann eine Veränderung der Hirnströme bei 8–12 Hz durchaus „einen Hinweis auf die Beeinflussung von Hirnfunktionen“ geben – oder hat schon jemand das Gegenteil bewiesen?

So sagen die Forscher auch in ihren Schlussfolgerungen, dass die Feldwirkungen auf die Hirnwellen zu fein sind, um mit den hier angewandten Methoden erkannt zu werden, und dass weitere Forschungen nötig sind (die dann vielleicht nicht von der Industrie bezahlt werden).

Die Ergebnisse der Untersuchungen werden demnächst in einer Fachzeitschrift veröffentlicht.

Quelle:

www.fgf.de, www.emf-portal.de

Mobilfunk und Öffentlichkeit

Wer hat Angst vor EMF?

Das Bundesministerium für Umwelt (BMU) hat eine neue Veröffentlichung aus der Schriftenreihe **Reaktorsicherheit und Strahlenschutz** herausgegeben. Darin geht es um die **Besorgnis bezüglich der Gefahren durch Mobilfunkfrequenzen**.

In dem vorliegenden Band ist der Abschlussbericht der im Jahr 2005 durchgeführten Umfrage vom Institut für angewandte Sozialwissenschaft in Bonn (infas) für das Bundesamt für Strahlenschutz abgedruckt und mit den Zahlen aus den Jahren 2003 und 2004 verglichen worden. Titel: Ermittlung der Befürchtungen und Ängste der breiten Öffentlichkeit hinsichtlich möglicher Gefahren der hochfrequenten elektromagnetischen Felder des Mobilfunks – jährliche Umfragen – Schriftenreihe Artikel-Nr. BMU–2007–692.

Bei der Frage nach den Risikofaktoren für Gesundheitsbeeinträchtigung stehen auf den vorderen Plätzen Luftverschmutzung und Lebensmittel, die Mobilfunk-Sendeanlagen kommen an 8. Stelle und das Handy erst auf Platz 13 (von 15 Plätzen). Der SAR-Wert ist 70 % der Bevölkerung unbekannt, aber besorgt wegen der Mobilfunkfelder sind konstant rund 30 %. Die häufigsten Nutzer des Mobilfunks ist die Gruppe der 18–24-Jährigen, in dieser Altersgruppe haben 93–98 % ein Handy. Immerhin hat zwischen 20 % und 30 % der Handybesitzer ihr Handy im letzten halben Jahr gar nicht benutzt. Nur ca. 7 % nutzen ihr Handy ausschließlich beruflich. Bei der Frage nach der Kompetenz in Sachen Mobilfunk und Gesundheit trauen 67 % der Befragten den Vertretern des Staates und der Bundesrepublik wenig bis gar nichts zu. Noch weniger Kompetenz wird den Stadt- und Gemeindevertretern und dem „einzelnen Bürger“ zugesprochen.

Insgesamt unterscheiden sich die Zahlen aus den drei Jahren nicht wesentlich.

Quelle:

www.bmu.de/38592