

ElektrosmogReport

Fachinformationsdienst zur Bedeutung elektromagnetischer Felder für Umwelt und Gesundheit

23 Jahrgang / Nr. 10

www.elektrosmogreport.de

Oktober 2017

Statischer Magnetfelder und Bakterien

SOD schützt vor oxidativem Stress durch Magnetfelder

Die Ergebnisse dieser Experimente an Wildtyp und 3 Mutanten von *P. aeruginosa* zeigen, dass Inaktivierung der zytosolischen MnSOD- und/oder der FeSOD (sodB)-Gene die Empfindlichkeit der Bakterien gegenüber Stress durch statische Magnetfelder steigert. Der Wildtyp kann signifikant höhere Aktivitäten der antioxidativen Enzyme aufrechterhalten als die Mutantenstämme. Das bedeutet, dass die SOD eine schützende Rolle gegen den durch Magnetfelder induzierten Stress hat.

Statische Magnetfelder fanden lange in verschiedenen Bereichen Anwendung, z. B. bei der Krebsbehandlung, der Herzforschung und in der Alkohol-Industrie. Auch zur Untersuchung biologischer Wirkungen wurden Magnetfelder bei lebenden Zellen eingesetzt. Man fand Veränderungen der Zellmembraneigenschaften, der Sekundärstruktur der Zellproteine und DNA-Schäden. Kürzlich wurde gezeigt, dass Steigerung der Magnetfeldintensität und -dauer statischer Magnetfelder den Zelltod in menschlichen Zelllinien von Gebärmutterhalskrebs erhöht. Bei Prokaryoten (Bakterien) fand man Veränderungen in Wachstum und Überleben, Enzymaktivitäten, ATP-Konzentrationen in den Zellen und oxidativen Stress durch freie Radikale. Als Abwehrmechanismen haben Zellen antioxidative Enzyme wie SOD, Katalase und Peroxidasen zur Verfügung. Die SOD ist eines der wichtigsten Verteidigungsenzyme in den Zellen gegen reaktive Sauerstoffmoleküle (reactive oxygen species, ROS). *Pseudomonas aeruginosa* besitzt zwei SODs im Zytoplasma, eine hat als Kofaktor Eisen (Fe-SOD), die andere Mangan (Mn-SOD). Die Gene für diese Enzyme sind bekannt. Mn-SOD wird durch Umweltfaktoren gesteuert. Wenn außerhalb der Zellen eine hohe Eisenkonzentration herrscht, ist hauptsächlich die Fe-SOD aktiv; bei Fe in geringer Konzentration wird viel Mn-SOD gebildet. In dieser Studie wurde die Rolle der SODs bei der Verteidigung der Zellen gegen statische Magnetfelder mithilfe verschiedener Varianten von *P. aeruginosa* untersucht. Die verwendeten Bakterienstämme waren der Wildtyp von *P. aeruginosa* und die 3 isogenen Mutanten sodM (Mn-SOD fehlt), sodB (Fe-SOD fehlt) und sodMB (beide Enzymvarianten fehlen). Bei gleich bleibend 37 °C wurden die Bakterienkulturen mit einem statischen Magnetfeld von 200 mT behandelt und die Kontrollen scheinbefeldet für 2, 4, 6, 8 und 10 Stunden. Das natürliche Erdmagnetfeld von 0,075 mT wird als vernachlässigbar eingestuft. Nach der Befeldung erfolgte die Bestimmung von Proteinkonzentration, Lipidperoxidation, Katalase-, SOD- und Peroxidase-Aktivität. Alle Ansätze wurde 3- bis 4-mal wiederholt.

Die Zellzahl der Bakterien nach der Befeldung war bei der Mutante sodB signifikant vermindert nach 8 und 10 Stunden, bei der Doppelmutante nach 6, 8 und 10 Stunden. In den folgenden Experimenten dieser Studie wurden 6 und 8 Stunden Magnetfeldeinwirkung gewählt.

Fast alle Werte waren bei den 3 Enzymen Katalase, SOD und Peroxidase gegenüber den Kontrollen signifikant erhöht, bei 6 Stunden stärker als bei 8 Stunden. Nur die Peroxidasen zeigten bei der Doppelmutante kaum Unterschiede zur Kontrolle (und die SODs natürlich nicht nachweisbar). Die Lipidperoxidation (MDA) war bei allen 3 Mutanten hochsignifikant erhöht gegenüber dem Wildtyp und gegenüber den jeweiligen unbefeldeten Kontrollen, stärker bei der Fe-Mutante, am stärksten bei der Doppelmutante.

ROS können Zellschäden verursachen bis hin zum Zelltod (Apoptose). Viele wissenschaftliche Arbeiten haben ergeben, dass Säugerzellen auf statische Magnetfelder mit der Aktivierung von antioxidativen Enzymen (Katalase, SOD, Glutathion-Peroxidasen) reagieren. Bei Prokaryoten war darüber nichts bekannt. In dieser Arbeit wurde die schützende Wirkung von SODs gegen Stress durch ein 200-mT-Magnetfeld in *P. aeruginosa* gezeigt. Man konnte sehen, dass die Eisen- und die Doppelmutante sehr viel empfindlicher sind als die Manganmutante und der Wildtyp.

Die MDA, die beim oxidativen Abbau der ungesättigten Fette und Fettsäuren entsteht, war signifikant höher in den Mutantenstämmen als im Wildtyp. Außerdem wurde eine Steigerung der SOD, Katalase und Peroxidase nach Befeldung gesehen. Die Reaktionen dieser Enzyme sorgen für die Entfernung der ROS aus den Zellen. Die SOD-Aktivität nach Magnetfeldeinwirkung führt zur Ansammlung von Wasserstoffperoxid, das durch Katalase und Peroxidasen entgiftet wird. Diese Ergebnisse zeigen, dass die Aktivitäten der antioxidativen Enzyme SOD, Katalase und Peroxidasen nach Magnetfeldbehandlung beim Wildtyp, und den beiden Einzel-Mutanten nach 6 Stunden signifikant ansteigen, in der Doppelmutante aber nur nicht-signifikant. Es scheint, dass diese Mutante sehr schwach auf den oxidativen Stress reagiert, weil das Entgiftungssystem gestört ist. Frühere Studien

Weitere Themen

Oxidativer Stress durch Mobilfunk, S. 2

Eine Studie ergab, dass Menschen in der Nähe von Basisstationen erhöhte Werte haben aufgrund genetischer Faktoren.

WLAN verändert das Verhalten, S. 3

Ratten können nach chronischer WLAN-Bestrahlung nicht gut zwischen vertrauten und neuen Objekten unterscheiden.

Prof. Adlkofer und das IZgMF, S. 3

Auf eine „Gegendarstellung“ erfolgt eine Antwort von Prof. Adlkofer.

haben ergeben, dass das Fehlen der SOD-Aktivität bei Bakterien eine Reihe von Sauerstoff-abhängigen Änderungen erzeugt, darunter schwere Defekte in der Aminosäure-Biosynthese, strukturelle Instabilität der Zellwand und eine hohe spontane Mutationsrate. Die hier beobachteten, leicht verminderten Enzymaktivitäten nach 8 Stunden Magnetfeldbehandlung könnten das Ergebnis von erhöhter ROS-Konzentration sein, die zu substanzieller Schädigung der Makromoleküle und wahrscheinlich einer Reduktion der katalytischen Funktion der Enzyme führt. Ein Anzeichen für die ROS-Bildung ist die Entstehung von MDA, einem zytotoxischen Produkt der Lipidperoxidation. Die beträchtlich erhöhte MDA-Konzentration in den Mutanten nach 6 und 8 Stunden im Vergleich zum Wildtyp zeigt, dass die Erzeugung freier Radikale hoch ist und die Maschinerie der Entgiftung nicht effizient arbeitet. Die Zellzahl der Doppelmutante war signifikant geringer nach 8 Stunden Magnetfeldeinwirkung, die Lipidperoxidation signifikant höher als in den anderen Mutanten. Dieses Ergebnis unterstreicht die unentbehrliche Rolle der SODs beim Schutz der Zellen vor solcher Schädigung. Stress durch MF wird bei *Pseudomonas* erhöht, wenn SOD-Gene inaktiviert sind.

Quelle: Hanini R, Chatti A, Ben Ghorbel S, Landouls A (2017): Role of Sod Gene in Response to Static Magnetic Fields in *Pseudomonas aeruginosa*. *Current Microbiology* 74 (8), 930–937

Mobilfunkwirkung

Oxidativer Stress durch Mobilfunk-Basisstationen

Bei Menschen, die in der Nähe von Basisstationen wohnen, können im Blutserum verminderte Aktivitäten von SOD und Katalase und erhöhte Lipidperoxidation nachgewiesen werden im Vergleich zu Kontroll-Personen, die mehr als 800 m von Basisstationen entfernt wohnen. Da die Gene für die Enzyme MnSOD und Katalase in verschiedenen Varianten vorkommen, wurde dieser Polymorphismus ebenfalls untersucht. Man fand signifikante Unterschiede zwischen den Varianten der antioxidativen Gene und genetischer Schädigung in der Bevölkerung, die der Strahlung von Basisstationen ausgesetzt ist.

In Indien gibt es 800 Mio. Mobilfunkteilnehmer. Von den 375.000 Basisstationen stehen die meisten in Wohngebieten und Bürogebäuden. In Indien leben Millionen Menschen in diesen Zonen mit starker Strahlung, ohne dass man die Nachteile beachtet. Biologische Mechanismen sind wenige bekannt, einer ist oxidativer Stress (ROS, freie Radikale), der durch Abwehrreaktionen gegen Infektionen entsteht und der im Überschuss zu Gewebeschäden führt. ROS spielen eine wichtige Rolle bei Alterungsprozessen und bei vielen Krankheiten wie Krebs, Ischämie und Fehlfunktionen des Immun- und Hormonsystems. Neuere Forschung belegt, dass ROS durch nicht-ionisierende Strahlung auch am Zelltod und an der Signalübertragung beteiligt sind. ROS können Zellmembranen, DNA und Proteine zerstören, die durch antioxidative Mechanismen bekämpft werden können. Im Fall von oxidativem Stress steigt die Lipidperoxidation, der antioxidative Schutz nimmt ab und es können Epoxide entstehen, die spontan an DNA, RNA und Proteine kovalent binden können. Dadurch können Zytotoxizität, Allergie, Mutagenität und/oder Karzinogenität entstehen, abhängig von den Eigenschaften des jeweiligen Epoxids. Zu diesem System gehören

die antioxidativen Enzyme SOD, Peroxidasen und Katalase sowie die nicht-enzymatischen Moleküle Vitamin C, Vitamin E, Glutathion, β -Carotin und Vitamin A. Normalerweise herrscht ein Gleichgewicht zwischen oxidativen und antioxidativen Reaktionen, die die Gesundheit aufrechterhalten.

Die Aktivität dieser Enzyme wird wahrscheinlich beeinflusst durch funktionalen Polymorphismus in den Genen. Durch Überexpression der MnSOD entsteht gesteigerte Produktion von H_2O_2 , das erhöhte Konzentrationen von ROS erzeugt, wenn es nicht sofort neutralisiert wird. Die Katalase überführt H_2O_2 in O_2 und H_2O . Eine genetische Variante der Katalase wurde mit niedrigerer Enzymaktivität in Verbindung gebracht, wodurch erhöhte ROS-Konzentrationen auftreten. Das Ziel dieser Studie war, die phänotypische und genotypische Charakterisierung dieses antioxidativen Enzymsystems zu bestimmen bei Menschen, die der Strahlung von Mobilfunk-Basisstationen ausgesetzt sind. Dafür wurden in dieser Studie die Aktivitäten der Enzyme SOD und Katalase sowie Lipidperoxidation als Biomarker für oxidativen Stress durch nicht-ionisierende Strahlung beim Menschen und die Genvarianten von SOD und Katalase untersucht.

Für die Untersuchungen wurden Messungen der Strahlung verschiedener Basisstationen an verschiedenen Standorten in Nordindien vorgenommen. Von 116 Personen, die in der Nähe einer Basisstation leben, und 106 gesunden Freiwilligen als Kontrollpersonen, die mehr als 800 m von einer BS entfernt wohnen, waren ca. 60 % Männer und 40 % Frauen. Die demografischen Daten wurden mit Standardfragebögen abgefragt, dazu u. a. Mobilfunknutzung, Lebensgewohnheiten, welche Geräte im Haushalt benutzt werden (z.B. Induktionsherd). Ausgeschlossen wurden Personen, die Behandlungen mit mutagenen Agenzien oder Antibiotika, chronische Krankheiten, akute Infektionen in den letzten 3 Monaten hatten oder bei denen Impfungen vorgenommen worden waren. In der Kontrollgruppe hatte keiner in den letzten 12 Monaten Kontakt mit medizinischen Behandlungen, in denen Strahlung eingesetzt wurden, und keine Mikrowellen im Haushalt. Den Probanden wurde Blut entnommen und das Serum sofort für Enzymtest von SOD und Katalase, Lipidperoxidation und die Genotypbestimmung der antioxidativen Gene für MnSOD und Katalase (jeweils Wildtyp/Wildtyp, Mutante/Wildtyp, Mutante/Mutante) verwendet.

Demografisch gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen den 106 Kontrollpersonen und den 116 durch Mobilfunk belasteten Teilnehmern. Die Messung der Strahlung der verschiedenen Basisstationen an verschiedenen Standorten in Nordindien ergaben in den meisten Fällen Messwerte zwischen 0,037 und 12,20 mW/m². Die Bestimmung der antioxidativen Enzyme ergab eine signifikant niedrigere MnSOD-Aktivität (Kontrolle $6,11 \pm 1,91$ vs. $3,22 \pm 1,28$ U/mg Protein) und Katalase-Aktivität (Kontrolle $25,52 \pm 3,63$ vs. $10,11 \pm 11,02$ mU/mg Protein) und eine signifikant höhere Lipidperoxidation (Kontrolle $1,53 \pm 0,25$ vs. $4,96 \pm 2,43$ nmol/mg Protein). Bei Personen, die Alkohol trinken und/oder Rauchen, waren die Aktivitäten von MnSOD und Katalase niedriger und die Lipidperoxidation hoch in der bestrahlten Gruppe, sonst gab es keine signifikanten Unterschiede zwischen Kontrollen und bestrahlten Personen. Bei Frauen sah man eine signifikante Abnahme der MnSOD- und Katalase-Aktivität und ein signifikanter Anstieg der Lipidperoxidation in der exponierten Gruppe. Die Bestrahlungsdauer zeigte nur wenige signifikante Unterschiede. Maximale Unterschiede in den Werten traten bei 100 und 150 m Abstand zur Basisstation auf, weil die Abdeckung einen Winkel von 120° horizontal hat.