

ren unterschiedlich je nach Differenzierungsstadium der Zelle. Es kann sein, dass die Aktivität von Transkriptionsfaktoren und die Gene für die Zellzyklus-Regulation moduliert werden. Einige Forscher meinen, niederfrequente EMF und gepulste Felder (PEMF) agieren über Modifikation von Signalkaskaden. Erhöhte ROS-Bildung in der Zelle kann ein Mechanismus sein, der die Zellzerstörung verursacht. In geringer Konzentration sind ROS second messenger in Zellen und aktivieren Signalkaskaden, die mit Wachstum und Differenzierung von vielen Zelltypen zu tun haben. Hohe ROS-Konzentrationen modifizieren Signalwege durch Phosphorylations-Mechanismen. Schwache EMF beschleunigen den Elektronentransfer und destabilisieren zelluläre Makromoleküle. Das könnte die Stimulation von Transkription und Proteinexpression erklären, die nach EMF-Behandlung beobachtet wurde. EMF könnten indirekt über ROS oder Störung der DNA-Reparatur genotoxische Wirkungen haben. Die Wirkung der EMF-Stimulation hängt von Intensität, Frequenz und Dauer der Einwirkung ab.

Die erfolgreichen Studien nutzten Sinus-Wellen in Differenzierungsexperimenten, die meisten 1–5 mT und 10–50 Hz, die einzige mit 20 mT zeigte keine signifikante Wirkung auf Differenzierung von Knochenzellen, aber eine Abnahme in Wachstum und Stoffwechsel der Stammzellen. Höhere Intensitäten könnten Temperaturerhöhungen oder oxidativen Stress verursachen.

Die am häufigsten benutzten Bereiche bei den gepulsten EMF waren 0,1–3 mT und 15–75 Hz. Zwei Studien zu Knochenzell-Differenzierung hatten sehr ähnliche Parameter (0,1 mT, 15 Hz), aber verschiedene Pulszeiten (5 bzw. 1 μ s). Diese Unterschiede führten zu verschiedenen Ergebnissen: Anstieg der Differenzierung bzw. keine Wirkung. Das zeigt, dass viele Faktoren intrazelluläre Prozesse beeinflussen, Zeitpunkt, Pulsdauer, Zellart und Versuchsbedingungen. Eine Steigerung der Differenzierung erfolgte von 1–5 mT (sinus) und 0,1–3 mT für PEMF, die Frequenzen variierten von 15–100 Hz (sinus) und 15–150 Hz (PEMF). Das heißt, dass die EMF-Parameter bei Stammzell-Therapien erfolgreich angewendet werden können, bei Zellwachstum und Zelldifferenzierung, bei Knochenbildung, Heilung von Knochenbrüchen oder bei Knorpelregeneration. Auch bei Haut-Stammzellen wirken EMF positiv auf das Wachstum des Gewebes sowie bei Behandlung von Erkrankungen der Blutgefäße und bei neurodegenerativen Störungen.

Beim Zellwachstum war der Anstieg am stärksten bei 5 mT und 50 Hz (sinus), 1,8 mT bei 15 Hz (PEMF) und 1,8–3 mT bei 75 Hz (PEMF).

In einigen Bereichen können EMF die Regeneration fördern, in anderen könnten sich Krebswachstum, Degeneration und krankhafte Veränderungen ergeben, je nach Stammzelltyp. Diese Prozesse können am ehesten auf epigenetischer, zweitens auf genetischer Ebene und schließlich auf der Ebene von Proteinen und mit Zellfunktions-Experimenten geklärt werden, die zu einem positiven oder negativen Einfluss in Richtung Gesundheit oder Krankheit führen.

Die Zahlen der Krebspatienten steigen alarmierend, neben chemischen Schadstoffen könnten auch EMF Auslöser sein, dazu muss es mehr Forschung geben. EMF als therapeutische Anwendungen sind nützlich in der Medizin für Regeneration oder Wiederherstellung der Homöostase, und auch für den Kampf gegen Krebs. Mehr Forscher (Ingenieure, Mediziner) müssen für mehr Wissen über Stammzellen, Stammzelltransplantation, Biophysik, Biochemie, Gewebetechnik, Regenerative Medizin, Krebsforschung u. a. sorgen.

Zusammengefasst lässt sich schlussfolgern: Adulte Stammzellen sind wichtig für den Körper, weil sie für Homöostase,

Regeneration, Alterung usw. sorgen. Stammzellen reagieren auf äußere Einflüsse unterschiedlich, abhängig von Zellart, Zelldichte, Differenzierungsgrad, Art der elektromagnetischen Felder und dem Medium, in dem sie sich befinden. Es gibt zu wenige Daten über den Einfluss von EMF auf die Biologie der Stammzellen. Mehr Studien sind nötig, weil Stammzellen sowohl für erwünschte (Wundheilung, Regeneration) als auch unerwünschte (z. B. pathologisches Wachstum, Krebsentstehung) und viele weitere Prozesse im Körper verantwortlich sind. Die Parameter Frequenz, Intensität (Leistungsflussdichte) und Dauer waren in den Experimenten sehr unterschiedlich. Warum welche Parameter gewählt wurden, ist unklar. Das Wissen um gut eingestellte Werte von EMF, Frequenzen, Intensitäten, Dauer der Stimulation und Mikro-Umgebung kann helfen, den besten Ansatz für Stammzell-Therapien zu finden. Und es ist wichtig, die Wirkung der EMF auf die Krebsentstehung zu untersuchen.

Quelle:

Maziarz A, Kocan B, Bester M, Budzik S, Cholewa M, Ochiya T, Banas A (2016): How electromagnetic fields can influence adult stem cells: positive and negative impacts. *Stem Cell Research & Therapy* 7, 54; DOI 10.1186/s13287-016-0312-5

Magnetkompass von Vögeln

Schwache Breitband-Felder stören Orientierung von Zugvögeln

Bei europäischen Rotkehlchen (*Erithacus rubecula*), die auf ihrer Route im Frühling und Herbst nachts unterwegs sind, kann die Orientierung durch schwache breitbandige elektromagnetische Felder im Bereich 2 kHz bis 9 MHz gestört werden, während starke Felder eines schmalen Frequenzbandes keinen oder kaum Einfluss haben. Frühere Ergebnisse konnten nicht bestätigt und zugrunde liegende Mechanismen nicht geklärt werden.

In den letzten Jahrzehnten wurde viel darüber geforscht, wie sich Zugvögel, die nachts fliegen, am Erdmagnetfeld orientieren. Bekannt ist, dass die Tiere nicht zwischen Nord- und Südrichtung unterscheiden, sondern ob sich in Richtung Pol oder Äquator orientieren. Sie nutzen den Winkel zu den Magnetfeldlinien relativ zur Erdoberfläche statt der Polarität des Magnetfeldes. Wie sie das machen, dazu gibt es zwei Hypothesen: Einmal über einen Magnetrezeptor mit Magnetit (Fe_3O_4) im oberen Schnabel, der mit dem Trigemiusnerven in Verbindung steht, und die andere besagt, dass ein lichtabhängiger Radikalpaar-Mechanismus über einen chemischen Sensor als Magnetkompass fungiert. Dabei könnte eine Licht-induzierte Elektronentransfer-Reaktion die Radikale erzeugen. Die magnetische Empfindlichkeit wird beeinflusst durch die Radikalpaar-Dauer, die Photorezeptoren sind wahrscheinlich Cryptochrome, die bei Vögeln in der Retina gefunden wurden. (*Cryptochrome, Cry 1 und 2, sind Proteine, die weit verbreitet sind bei Lebewesen. Bei Zugvögeln sind sie an der Orientierung am Erdmagnetfeld beteiligt und bei Pflanzen sind sie Photorezeptoren für blaues Licht. Auch in Bakterien und Säugetieren sind Cryptochrome vorhanden und haben außer bei der Magnetrezeption des Erdmagnetfeldes eine Funktion bei der Aufrechterhaltung der inneren Uhr, dem Tag-Nacht-Rhythmus, die Red.*). Bestimmte Ganglien im Vorderhirn namens Cluster N sind aktiv, wenn Vögel

den Magnetkompass zur Orientierung benutzen. Wenn Cluster N inaktiv ist, können sie noch den Sonnen- und Sterne-Kompass benutzen. Der Magnetkompass wird im Cluster N verarbeitet, und weil Cluster N Teil des Seh-Systems und in beiden Augen lokalisiert ist, ist er Licht-abhängig; der Magnetkompass ist also mit dem Sehen assoziiert.

Um zu testen, ob der Magnetkompass der Zugvögel auf Radikalpaar-Prozessen beruht, wurden in früheren Experimenten mit Rotkehlchen deren Orientierungsfähigkeit mit breitbandigen Feldern von 0,1–10 MHz und einem schmalbandigen von 7 MHz untersucht. In beiden Fällen waren die Vögel desorientiert. Ein anderes Experiment mit Rotkehlchen in Frankfurt ergab Desorientierung bei 1,315 MHz und ein weiteres in Oldenburg bei 1,363 MHz.

Um die Experimente in Frankfurt bei 1,315 MHz und Oldenburg bei 1,363 MHz zu verifizieren, muss zum Testen ein absolut abgeschirmtes Labor zur Verfügung stehen, in dem nur das Erdmagnetfeld ungestört ist. Ein solches Labor wurde in Oldenburg konstruiert, damit untersucht werden kann, ob der Magnetkompass der Rotkehlchen durch ein starkes schmalbandiges oder ein schwaches breitbandiges Feld in ihrem nächtlichen Zug beeinflusst und damit deren Orientierung gestört wird. Die neu konstruierten Faraday-Käfige ließen das statische Erdmagnetfeld hindurch, während die Wechselfelder stark vermindert wurden, mindestens um den Faktor 10^5 bei 10 kHz und $> 10^6$ bei Frequenzen über 150 kHz. Im Test waren insgesamt 91 Vögel auf dem Gelände der Universität Oldenburg (32 im Frühling 2012, 21 im Frühling 2013, 17 im Herbst 2013 und 21 im Frühling 2014). Die Vögel wurden zunächst unter 2 Testbedingungen untersucht: mit dem natürlichen Erdmagnetfeld in Oldenburg (48600 ± 240 nT) und in einem mit magnetisch Nord um 120° gegen den Uhrzeigersinn gedrehten Magnetfeld (48600 ± 250 nT). Danach erfolgten die Tests mit den zusätzlich angewendeten Feldern. Die Orientierung der Vögel wurde schmalbandig bei 1,363 MHz, 2,726 MHz, 50 Hz und 1,315 MHz mit Intensitäten von ca. 48 und 400 nT und im breitbandigen Frequenzbereich von ungefähr 2 kHz bis 9 MHz gemessen, dazu erfolgten Messungen ohne Wechselfelder, d. h. es war nur das natürliche Erdmagnetfeld vorhanden (dummy). Die Experimente starteten jeweils 2 Wochen vor Beginn des Vogelzuges der europäischen Rotkehlchen in Herbst und Frühling, damit diese sich an die Umgebung gewöhnen konnten. Die Bereitschaft zum Vogelzug zeigte sich durch gerichtetes Fliegen. 2 Tests wurden pro Nacht durchgeführt; 1 Stunde vor Sonnenuntergang und Start des Tests wurden die Vögel der Dämmerung ausgesetzt, damit sie ihren Magnetkompass einstellen können. Der 2. Test erfolgte 1,5 Stunden (± 10 min.) nach dem ersten. Insgesamt wurden 4 Zugphasen untersucht. 2012, zweimal 2013 und 2014. Alle Auswertungen wurden von zwei unabhängig ablesenden Wissenschaftlern im Doppelblindverfahren durchgeführt.

Die Rotkehlchen flogen am Beginn ihres Vogelzuges in die richtige Richtung, bei dem um 120° gedrehten Magnetfeld änderten nicht alle ihre Richtung exakt um 120° . Im Frühling sollten die Rotkehlchen im natürlichen Magnetfeld Richtung Nord-Ost ($350\text{--}80^\circ$), im Herbst Richtung Süd-West ($180\text{--}270^\circ$) fliegen. Die schmalbandigen Frequenzen, selbst bei 50 Hz und 400 nT, zeigten keine signifikanten Einflüsse.

In der ersten Saison (Frühling 2012) wurden die Rotkehlchen mit den schmalbandigen Feldern von 1,363 MHz, 2,726 bei 48 nT getestet, dazu im natürlichen MF (dummy). Die 31 Vögel orientierten sich ausschließlich, statistisch signifikant, in ihrer richtigen, nördlichen Richtung unter der dummy-Bedingung ($17^\circ \pm 30^\circ$). Dieselben Tiere flogen bei 1,363 und 2,726 MHz nicht-signifikant, aber tendenziell in die richtige

Richtung. Zur Überprüfung der Ergebnisse vom Frühjahr 2012 wurde im Frühling 2013 dasselbe wiederholt, zusätzlich mit 50 Hz und ~ 400 nT statt ~ 48 nT. Dann wurde im Herbst 2013 bei 1,315 MHz und ~ 48 nT getestet, der Frequenz von Frankfurt, bei der dort Störungen der Kompass-Orientierung auftraten. Im Herbst 2013 wurden die Vögel zudem mit den Breitband-Frequenzen von ungefähr 2 kHz bis 9 MHz untersucht, im Frühling 2014 nochmals die Frankfurter Frequenz.

Man fand schwache Wirkungen der künstlichen Felder nur im Frühling 2013 und sehr starke Wirkung durch die schwachen Breitband-Frequenzen. Die schmalbandigen Felder von 1,315 und 1,363 störten den Magnetkompass der Rotkehlchen nicht. Diese Experimente können die früheren Ergebnisse nicht bestätigen, dass bestimmte Frequenzen einen Einfluss auf die Orientierungsfähigkeit der europäischen Rotkehlchen haben.

Die Ergebnisse von Frühling 2012 werden so interpretiert, dass die Rotkehlchen im Prinzip in die richtige Richtung fliegen können, dass sie aber etwas gestört wurden durch die Hochfrequenzfelder verschiedener Frequenzen, so dass die Flugrichtungen stärker streuten. Dass die Tiere bei dem um 120° gedrehten Magnetfeld nicht exakt der Zugrichtung folgten, zeigt, dass die zusätzlichen schmalbandigen Felder leichte Störungen hervorrufen, aber den Magnetkompass nicht völlig ausschalten. Im Gegensatz dazu war die Orientierung der Vögel komplett gestört durch die schwachen Breitband-Felder, da die Tiere keine Tendenz in eine Richtung zeigten, sondern in alle Richtungen flogen.

Diese neue Studie wurde, im Unterschied zu der in Frankfurt, in einer extrem abgeschirmten Umgebung im neuen Labor durchgeführt, d. h. die Vögel waren nur den im Labor erzeugten Wechselfeldern ausgesetzt und wurden nicht durch andere Felder gestört. Zudem wurde im Doppelblindverfahren ausgewertet. Dagegen fanden in Frankfurt die Experimente in Holzhütten mitten in der Stadt in der Nähe von Labors der Universität statt, wo Einflüsse durch unbekannte Felder auftreten. Das könnte die Unterschiede ausmachen.

Es wird diskutiert, dass Cryptochrome eine Rolle bei der Orientierung spielen, indem sie die magnetischen Signale aufnehmen, oder dass der Mechanismus der Radikalpaarbildung in einer lichtabhängigen Reaktion den Kompass über das Erdmagnetfeld steuert. Es ist nicht bekannt, wie die hier angewendeten Felder mit den Radikalpaarmechanismen reagieren. Dass die Experimente in Frankfurt und Oldenburg abweichende Ergebnisse haben, kann auch daran liegen, dass verschiedene Vogelarten verschiedene Aminosäure-Sequenzen haben, so können die Reaktionen auf bestimmte Frequenzen verschieden sein. Als Schlussfolgerung bleibt, dass die früheren, hoch spezifischen Resonanzwirkungen auf die Orientierungsfähigkeiten von europäischen Rotkehlchen nicht wiederholt werden konnten. Diese Ergebnisse zeigen, dass schwache breitbandige Wechselfelder stärker die Orientierungsfähigkeit mit dem Magnetkompass von nachts fliegenden Zugvögeln wie Rotkehlchen stören als die meisten, wenn nicht alle, stärkeren Felder mit eng begrenztem Frequenzband. Mit diesen Ergebnissen, dass schwache Breitband-Felder im MHz-Bereich starke Störungen des Magnetkompasses hervorrufen können, konnte die Frage nach den Mechanismen nicht geklärt werden.

Quelle:

Schwarze S, Schneider NL, Reichl T, Dreyer D, Lefeldt N, Engels S, Baker N, Hore PJ, Mouritsen H (2016): Weak Broadband Electromagnetic Fields are More Disruptive to Magnetic Compass Orientation in a Night-Migratory Songbird (*Erithacus rubecula*) than Strong Narrow-Band Fields. *Frontiers in Behavioral Neuroscience* 10:55, doi: 10.3389/fnbeh.2016.00055