

Möglichkeiten der Magnetfeldtherapie: Theorie und Ergebnisse

Kurt Ammer

Ludwig Boltzmann Forschungsstelle für Physikalische Diagnostik, Wien
Thermal Physiology Laboratory, School of Computing, University of Glamorgan, Pontypridd, UK

ZUSAMMENFASSUNG

Intrazelluläre biophysikalische Phänomene werden in der komplexen Anpassung lebender Organismen an die Umweltbedingungen vermehrt beachtet und untersucht. Elektromagnetischen Feldern kommt im Molekularbereich eine Bedeutung in der Anbahnung biochemischer Reaktionen zu.

In einer Reihe von Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Zellsuspensionen und Zellkulturen unter dem Einfluss gepulster elektromagnetischer Felder veränderte Protein- und Enzymkonzentrationen zeigen. Diesen Grundlagenergebnissen stehen weit weniger eindrucksvolle klinische Untersuchungen gegenüber. Die klinische Wirksamkeit der Therapie mit elektromagnetischen Feldern bei Arthrosen ist auf Grund der methodischen Mängel der vorhandenen Studien nicht gut abgesichert. Etwas günstiger sind die Ergebnisse bei der Förderung der Frakturheilung. Hier stützt die Mehrzahl der Studien für eine eindeutig Überlegenheit der Magnetfeldtherapie gegenüber einer Scheinbehandlung. Die Heilung von Pseudarthrosen, die verzögerte Frakturheilung und die Wirbelkörperfusion können durch diese Therapie gefördert werden.

ABSTRACT

Intracellular biophysical phenomena are now frequently investigated in the complex adaptation of living organisms to environmental conditions. Electromagnetic fields play a role in initiation of biochemical reactions on the molecular level. A number of studies has provided evidence, that cell suspensions and tissue cultures present with altered concentrations of proteins and enzymes under the influence of pulsed electromagnetic fields. Results from clinical trials are less impressive compared to the findings of basic research. The efficacy of electromagnetic field therapy for osteoarthritis remains unclear due to methodological flaws of published studies. Results related fracture healing are more promising. The majority of studies supports the superiority of magnetic field therapy to sham treatment. Healing of fracture non-union and augmentation of spinal fusion can be achieved by electromagnetic therapy.

Einleitung

Die Behandlung mit magnetischen Feldern hat eine lange Tradition und ist eben so lange in ihrer Wirkung umstritten. Franz Anton Mesmer behandelte im 18. Jahrhundert in Wien und Paris alle möglichen Beschwerden. Mit seinem therapeutischen Magneten versuchte er den gestörten "animalischen" Magnetismus zu korrigieren. Wiederholt wurde seine Therapie von der damaligen Schulmedizin als unwirksam qualifiziert. Auch wenn die therapeutischen Versprechen mancher heutiger Magnetfeldtherapiegeräte ähnlich klingen, haben elektromagnetische Felder in der Medizin zur Diagnostik und Therapie ihren Platz gefunden.

Es muss drauf hingewiesen werden, dass die Intensität aber auch die Frequenzen der eingesetzten Felder beträchtlich variieren (Tabelle 1). Die Kenntnis dieser physikalischen Größen ist notwendig, um die Wirkmechanismen von Magnetfeldern auf den menschlichen Organismus verstehen zu können. Immer dann, wenn durch die Magnetfelder ausreichend intensive elektrische Ströme induziert werden, könne die physiologischen Phänomene durch die bekannte Aktionspotential induzierenden Wirkungen des elektrischen

TABELLE 1

A. INTENSITÄTEN VON MAGNETFELDERN

Magnetresonanztomographie	Tesla
Transkraniale Magnetfeldstimulation	Tesla
Mittelfrequente Ströme	μTesla
Radiofrequenzen	μTesla
Niederfrequente Magnetfeldtherapie	μTesla bis mTesla

B. FREQUENZEN

ELEKTROMAGNETISCHER FELDER

ELF (extremely low frequencies):	bis 300 Hz
VLF (very low frequencies):	300 Hz bis 100 kHz
RF (radiofrequencies):	100 kHz bis 300 GHz
Microwaves:	300 MHz und 300 GHz

Tabelle

THEORIEN DER ELEKTROSTIMULATION VON ZELLEN (nach, 1,2)

a Elektro-konformationelle Bindung	hohe Feldstärke
b Oszillatorische Barrier-Aktivierung	beschränkt brauchbar
c Zeeman Ladungszustände	Voraussagewert
d Larmor Prezession	Voraussagewert
e Cyclotron Resonanz	physikalisch problematisch
f Parametrische Resonanz	physikalisch problematisch
g Polarisationskraft	beschränkt brauchbar
h Impedanz eines Zellverbandes	beschränkt brauchbar
i Bildung freier Radikale	beschränkt brauchbar
j Parametrische Verstärkung	Voraussagewert
k Ionenübertragung über Microvili	Voraussagewert

Stromes erklärt werden z.B. bei der transkraniellen Magnetfeldstimulation.

Beträchtlich schwieriger wird es, wenn man den Mechanismus der Stimulation von Zellen erklären möchte. Berg 1999 sowie Gartzke & Lange 2002 haben eine Reihe von biophysikalischen Mechanismen aufgelistet, die dafür in Frage kommen.(Tabelle 2). Ein Prozess, die **elektro-konformationelle Bindung**, ist an hohe Feldstärken gebunden, 2 Modelle, die **Cyclotron Resonanz** und die **parametrische Resonanz**, sind physikalisch problematisch und 4 weitere Mechanismen, die **Polarisationskraft**, die **Bildung freier Radikale**, die **Impedanz eines Zellverbandes** und die **oszillatorische Barrier-Aktivierung**, sind nur beschränkt brauchbar. Die restlichen 4 Modelle sind geeignet, zelluläre Veränderungen durch elektromagnetische Felder vorauszusagen.Unter **Zeeman- Ladungszustände** wird der Zeemann-Stark Effekt auf die Bindungsparameter zwischen Liganden und Rezeptor unter Ein-

fluss eines sinusförmigen elektromagnetischen Feldes verstanden. Die **Larmor Prezession** beschreibt die veränderte Bewegung eines geladenen Teilchens (Ca^{++} - Ion) an der aktiven Seite eines Enzyms (z.B. Calmodulin-Ausnehmung). Die **parametrische Verstärkung** berücksichtigt kohärente Bedingungen der Energieübertragung entsprechend der Fröhlich-Gleichung.

Berg hat bereits 1995 die optimalen Parameter für Frequenz, elektrische Feldstärke, Stromstärke und Magnetfeldstärke zusammengestellt (Tabelle 2). Die Absolutwerte sind mit Ausnahme der Frequenz sehr nieder und liegen bei der Magnetfeldstärke nahe dem Erdmagnetfeld von 0,4mT.

Ionenübertragung über Microvili

Besonders die Ionenübertragung über Microvili und die damit verbundene Modifikation der zytoskelettalen Diffusion-Barrier stellt ein interessantes Modell

Tabelle 2

Optimale Bedingungen für die elektromagnetische Stimulation (nach Berg, 4)
F=Frequenz. B= Magnetfeldstärke E=elektrische Feldstärke, i=Stromstärke

	f/Hz	B/mT	E/mVcm ⁻¹	i/mAcm ⁻²
Synthesis				
DNA	15-75	0.1-10	> 0.1	> 0.25
RNA	60-72	0.1-4	> 0.1	> 0.03
Proteins	15-150	0.1-2	> 0.1	> 0.03
Enzyme activity				
Dehydrogenases	50-60	4-10	>1	>0,1
Proteinkinase	50-60	0,1-8	-	-
Alc Posphatase	>30	1,8	>0,006	-
Ornithine decarboxylase	50-72	>0,1	1	-
(Na,K)-ATPpase	1000	-	20000	-
Tranport				
Ca ⁺⁺ influx	3-75	0,1-22	>0,1	>0,016

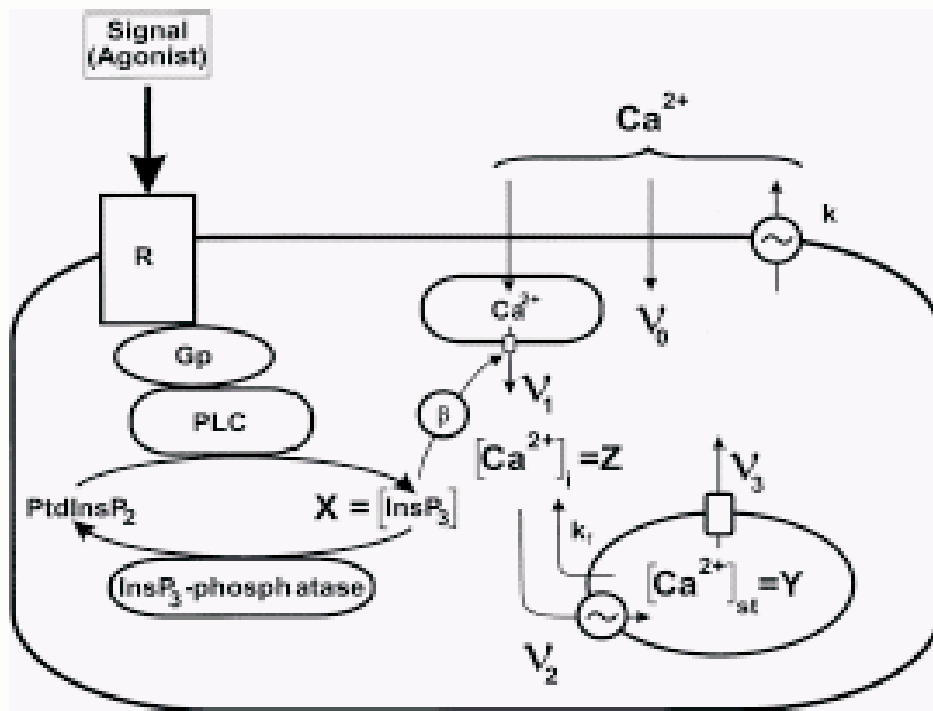


Abbildung 1
Modell der Entstehung von Ca^{++} Oszillationen [3]

dar (Gartzke & Lange 2002). Folgende Prozesse werden beschrieben:

Kontraktion, Sekretion, Modulation des Membranpotentials, und Zellwachstum werden über den Phospholipase C-gekoppelte Ca^{++} Signalweg über Depolymerisation und Reorganisation der Actinfilamente aus gelöst. Eine hypo-osmotische Schwellung der Zelle verkürzt die Mikrovili über Aktivierung des regulatorischen K^+ und Cl^- Effluxes. Die Exposition gegenüber lipophilen Substanzen ändert die physikalischen Eigenschaften der Zellmembranen und führt in den Mikrovili zu einer Lösung der Membran vom Zytoskelett als Ausdruck einer Aktivierung des Ca^{++} Einstroms. Nun können geringe mechanische Kräfte z.B. des vorbeiströmenden Blutes an den Endothelzelle die Ionenleitung durch Mikrovili aktivieren. Auch Licht und Klänge haben in speziellen Zellen Einfluss auf die Mikrovili. Möglicher Weise sind elektromagnetische Felder in weiterer Mechanismus, der die Diffusionsbarriere und den Einstrom des externen Ca^{++} ins Zytoplasma modifiziert. Dies wird durch die polyelektrolytische Natur der Diffusionsbarriere der Mikrovili erleichtert. Der hohe Widerstand gegenüber einem Einfluss von Ca^{++} und Mg^{++} erlaubt es einen extrem steilen Ca^{++} Gradienten von 1:104 zwischen intra- und extrazellularem Raum aufrecht zu erhalten und bei Rezeptoraktivierung und daraus folgender

Umorganisation der Struktur der Microvili einen raschen Ca^{++} Einstrom zu gewährleisten

Als mit den Mikrovili assoziierte Transportmechanismen gelten die Ezrin/Radixin/Moetin (ERM) Proteine, K^+ -Kanäle, epitheliale Na^+ -Kanäle, Anion-Kanäle der Erythrozyten, Insulin-sensitiver Glukose Transporter GluT4, Na^+/K^+ -ATPase und Na^+/H^+ Austauschler.

Galvanovskis & Sandblom (3) haben 1998 ein Modell der Entstehung von Ca^{++} Oszillationen beschrieben (Abbildung 1). Dabei aktiviert ein externer Reiz einen Zellrezeptor R und bedingt die Produktion of InsP_3 (X) über Aktivierung von G-Protein (Gp) und die Phosphatidylinositol-spezifische Phospholipase C (PLC). InsP_3 löst den Ca^{++} Einstrom, $v\beta$, ins Cytosol aus dem InsP_3 -sensitiven Ca^{++} Reservoir aus, wobei β eine Sättigungsfunktion darstellt. Der Ca^{++} Einstrom ins Cytosol öffnet Ca^{++} -Kanäle des InsP_3 -insensitiven internen Ca -Reservoir Y mit der Folge einer raschen Ca -Freisetzung v_3 , die als Erhöhung der intrazellulären Ca Konzentration Z sichtbar wird. Außerdem sind noch folgende Ca -Ströme beteiligt: über Lücken in der Zellmembran v_0 bzw. durch die Membran des internen Reservoirs $k_1 Y$. Ein Pumpmechanismus für Ca^{++} ins externe Medium ist kZ , und v_2 bezeichnet den aktiven Transport ins interne Reservoir. InsP_3 wird über eine Phosphatase in Phosphatidylinositol 1,4-bisphosphate (PtdInsP_2) umgewandelt.

Auch mechanische Kräfte etwa Scherkräfte, wenn sie intermittierend auftreten, besitzen eine stimulative Wirkung auf eine Reihe von Organen wie etwa dem Endothel des Gefäßsystems oder bei der Gewebereparatur insbesondere bei der Frakturheilung. Es konnte gezeigt werden, dass die kapazitive Koppelung, die induktive Koppelung und die mechanische Stimulation von Knochenzellen zwar unterschiedliche Ansatzpunkte an der Zelloberfläche, aber eine idente intrazelluläre Synthesemechanismen besitzen (4).

Untersuchungen an Zellen und Gewebekulturen

In einer Reihe von Untersuchungen konnte gezeigt werden, dass Zellsuspensionen und Zellkulturen unter dem Einfluss gepulster elektromagnetischer Felder veränderte Protein und Enzymkonzentrationen zeigen.

Im Folgenden stehen Aussagen über Ergebnisse des Stoffwechsels von Knochen und Gelenkknorpel im Mittelpunkt. An Osteoblasten der Ratte konnte gezeigt werden, dass die Konzentration knochengestaltender Proteine (bone morphogenetic proteins-BMP) durch Behandlung mit elektromagnetischen Feldern um das 2-bis 4- Fache erhöht wurde (6).

In Osteozyten ähnlichen Zellen konnte gepulste elektromagnetische Felder die Aktivität der alkalischen Phosphatase erhöht werden, ohne jedoch die Zellzahl oder die Osteocalcinbildung zu verändern (7). Der Wachstumsfaktor Transforming Growth Factor beta-1 (TGF- β 1) und Prostglandin E2 wurden vermehrt gefunden und auch die NO₂- Bildung war verändert. Die Ergebnisse stützen die stimulierende Wirkung von gepulsten elektromagnetischen Feldern auf die Syntheseleistung von Knochenzellen.

Die Behandlung von Fibroblasten aus gesunder Haut mit einem gepulsten Magnetfeld einer Frequenz von 20 Hz und einer Feldstärke von 7-6mT über 14 Tage bei täglicher 12-stündiger Anwendung führte über Anstieg einer vom zyklischen AMP abhängigen Protein-kinase zu einer raschen Ausdifferenzierung der Zellen (8). Fibroblastenkulturen, die 2-16 Minuten lang einem gepulsten Magnetfeld mit 50 Hz und 20mT ausgesetzt waren, boten eine Verminderung der Aktivität der Superoxiddismutase und der Catalase (9). Damit sollte die Magnetfeldbehandlung mit einer verstärkten Bildung von freien Radikalen einhergehen und damit entzündungsfördernd wirken.

Tierexperimentelle Studien

Die enchondrale Knochenbildung konnte in einem geeignetem Tiermodell gesteigert werden (10) Bei Meer-

schweinchen, die spontan eine Arthrose der Kniegelenke entwickeln, konnte durch eine Magnetfeldtherapie die Progression der Degeneration des Gelenkknorpels verhindert und biochemische Marker des Knorpelstoffwechsels erhöht werden (11).

An einem Hundemodell konnte eine japanische Gruppe zeigen, dass bei einem Knochendefekt der Tibia die Behandlung mit gepulsten Magnetfeldern auch bei Therapiebeginn 4 Wochen nach Setzen der Läsion die Kallusbildung signifikant erhöht (12).

Beim Kaninchen kann die Magnetfeldtherapie (75 Hz, 1,6mT, 6 Stunden täglich durch 3 Wochen) das Einwachsen von Hydroxyapatit-Implantaten am Femurkondyl fördern (13). Diese Ergebnisse könnten Bedeutung für die Endoprothetik haben.

Die Förderung der Wirbelfusion durch elektromagnetische Felder an Hunden (14,15,16) und am Kaninchen untersucht (17) und kein ausreichender Effekt auf die Fusionsförderung gefunden.

Klinische Studien am Menschen

Diesen Grundlagenergebnissen stehen weit weniger eindrucksvolle klinische Untersuchungen gegenüber. Die klinische Wirksamkeit der Therapie mit elektromagnetischen Feldern bei Arthrosen ist auf Grund der methodischen Mängel der vorhandenen Studien nicht gut abgesichert. (Tabelle 2). Einerseits ist nicht immer klar, ob mit der elektrischen oder der magnetischen Feldkomponente behandelt wurde, andererseits sind die Patientenkollektive zu klein, um die beobachtete Überlegenheit gegenüber einer Placebobehandlung abzusichern.

Etwas günstiger sind die Ergebnisse bei der Förderung der Frakturheilung. Hier stützt die Mehrzahl der Studien für eine eindeutig Überlegenheit der Magnetfeldtherapie gegenüber einer Scheinbehandlung (23, 24). Die Heilung von Pseudarthrosen, die verzögerte Frakturheilung und die Wirbelkörperfusion können durch diese Therapie eindeutig gefördert werden. Dies trifft vor allem dann zu, wenn ausreichend elektrische Ströme induziert werden, wie die guten Ergebnisse der direkten Elektrostimulation zur Förderung der Wirbelfusion zeigen (Tabelle 3)

Diskussion

Unabhängig von positiven Ergebnissen klinischer Studien, bleibt es fraglich, ob der gemutmaßte Wirkungsmechanismus gepulster Magnetfelder über behauptete Feldintensitäten und Impulsfolgen zum Tragen kommt. Bei der Vielzahl von Grenzflächen unterschiedlichster Gewebe eines lebenden Organismus, sind Verzerrun-

gen und Intensitätsveränderungen elektromagnetischer Felder selbstverständlich. Außerdem scheinen bestimmte Zellorganellen generell imstande zu sein, zufällig auftretende externe Reize dahingehend zu nützen, ihre Funktion in ihrer Intensität zu modifizieren. Gerade beim Knochengewebe ist es nur so erklärbar, dass sowohl mechanische Reize als auch elektrische und magnetische Felder zu ähnlichen Effekten führen.

Auch die Dauer der Therapie ist in den vorhandenen Studien ganz unterschiedlich. Berücksichtigt man die Lebensdauer der untersuchten Tierspezies, scheinen

hinsichtlich gewünschter Effekte am Knochen und Gelenkknorpel nur Dauerstimulationen über Monate die gewünschte Wirksamkeit zu entfalten. Dies ist auch durch die klinischen Ergebnisse in der Humanmedizin gestützt.

Schlussfolgerung

Das wirksame physikalische Agens der Magnetfeldtherapie ist weiterhin unbekannt. Ionenkanäle und molekulare „Motoren“ sind wahrscheinliche Zielstrukturen der Magnetfeldtherapie. Die Veränderungen nach Magnetfeldtherapie sind auf zellulärer Ebene

Tabelle 2
Therapie der Arthrose

Zelluläre Effekte	Tierexperiment	Klinischer Versuch
Steigerung der Proteoglykansynthese am hyalinen Knorpel von Hühnern	Förderung der Chondozyten-differenzierung bei der Ratte	Vermindert kurzfristig Schmerz und Behinderung (18)
		Verbessert die Symptomatik von Koxarthrosepatienten 6 Monate lang (19)
	Vermindert die Ausprägung der Arthrose bei Meerschweinchen	Ist der Wirksamkeit einer Kombination von Krankengymnastik und Kurzweile bei Koxarthrosepatienten signifikant unterlegen (20)
		Vermindert kurzfristig Schmerz und Bewegungseinschränkung bei degenerativer Wirbelsäulenerkrankung (21)
		Vermindert kurzfristig die Beeinträchtigung im täglichen Leben und verbessert die Kniefunktion (22).

Tabelle 3
Förderung der Wirbelfusion
A: Pulsierende Magnetfelder (nach 25)

Zelluläre Effekte	Tierexperiment	Klinischer Versuch
Fördert Endothelwachstum Erhöht BMP2 und BMP4 Erhöht den Transforming Growth Faktor	Keine signifikante Erhöhung der Fusionsrate bei Hunden (14,15, 16) und bei Kaninchen (17)	13 Patienten , Fusionsrate 77% (26)
		195 Patienten Fusionsrate 92%, radiologisch gesichert 50%, 4 Jahre später 24% (27)

B. Kombination elektrischer und magnetischer Felder (nach 25)

Zelluläre Effekte	Tierexperiment	Klinischer Versuch
Fördert den transmembranen Transport von Calcium Erhöht Prostaglandin E2 und aktiviert Calmodulin Erhöht den Transforming Growth Faktor		RCT 201 Patienten Fusionrate V:64% K: 43% (Linovitz RJ et al)
		Fusionsrate V:84% K: 64% (28)

Tabelle 3

C. Implantierte Geräte zur konstanten Galvanisation (nach 25)

Zelluläre Effekte	Tierexperiment	Klinischer Versuch
Galvanotaxis Polarisation von Membranen Erhöhung des PH-Wertes Erhöhung des Sauerstoffpartialdrucks	Signifikante höhere Fusionsrate nach Stimulation bei Schweinen (29) und bei Hunden(30)	82 Patienten, Fusionrate V: 91% historische K:81% (31)
		RCT V: 31Pat K: 31 Pat Fusions- rate V:81% K:54% (31)
		Fusionsrate V:95% K: 75% (32)
		Fusionsrate V:96% K:85% (33)
		Fusionsrate V:95% K: 87% (34)
		Fusionsrate 91-93% (35)
		PEMF Fusionsrate 85%, Konstante Galvanisation 67%, Nicht behandelte Kontrollen 86% (36)

ne und im Tierexperiment teilweise reproduzierbar. Die Ergebnisse der klinischen Studien stehen zum Teil im Widerspruch zu den Resultaten der Grundlagenforschung.

Literatur

- Berg H. Problems of weak electromagnetic field effects in cell biology. *Bioelectrochem Bioenerg* 48 1999 355–360
- Gartzke J, Lange K. Cellular target of weak magnetic fields: ionic conduction along actin filaments of microvilli. *Am J Physiol Cell Physiol* 2002; 283: C1333–C1346,
- Galvanovskis J, Sandblom J. Periodic forcing of intracellular calcium oscillators. Theoretical studies of the effects of low frequency fields on the magnitude of oscillations. *Bioelectrochem Bioenergetics*, 1998;46:161-174.
- Berg H. Possibilities and problems of low frequency weak electro- magnetic fields in cell biology, *Bioelectrochem. Bioenerg.* 38 1995, 153–159.
- Brighton Ct, Wang W, Seldes R, Zhang G, Pollack SR, Signal Transduction in Electrically Stimulated Bone Cells. *J Bone Joint Surg* 2001; 83(A):1514-1523
- Sahinoglu T, Bhatt B, Hughes FJ, Simon BJ, Abbot J, Blake DR, Stevens CR. Pulsed Electromagnetic Fields Induce Osteogenesis and Upregulate Bone Morphogenetic Protein-2 and 4 mRNA in Rat Osteoblasts in Vivo (abstract) *Bone* 1995, 17: 571
- Lohmann CH, Schwartz Z, Liu Y, Li Z, Simon BJ, Sylvia VL, Dean DD, Bonewald LF, Donahue HJ, Boyan BD. Pulsed electromagnetic fields affect phenotype and connexin 43 protein expression in MLO-Y4 osteocyte-like cells and ROS 17/2.8 osteoblast-like cells. *J Orthop Res* 2003; 21 (2) : 326-34
- Löschinger M, Thumm S, Hammerle H, Rodemann HP-Stimulation of protein kinase A activity and induced terminal differentiation of human skin fibroblasts in culture by low-frequency electromagnetic fields. *Toxicol Lett.* 1998; 96-97: 369-76
- Kula B, Drozd M. A study on magnetic field effects on fibroblast- cultures. Part 2. The evaluation of the effect of static and extremely low frequency (ELF) magnetic fields on free-ra-

dical processes in fibroblast culture. *Bioelectrochem. Bioenerg* 1996;39:27–30

- Ciombor DM, Lester G, Aaron RK, Neame P, Caterson B. Low frequency EMF regulates chondrocyte differentiation and expression of matrix proteins. *J Orthop Res* 2002; 20: 40-50
- Ciombor McK D, Aaron RK, Wang S, Simon B. Modification of osteoarthritis by pulsed electromagnetic field—a morphological study. *OsteoArthritis & Cartilage*, 2003;11: 455–462.
- Inoue N, Ohnishi I, Chern D, Deitz LW, Schwardt JD, Chao EYS- Effect of pulsed electromagnetic fields (PEMF) on late -phase osteotomy gap healing in a canine tibial model. *J Orthop Res* 2002, 30: 1106-1114
- Fini M, Cadossi R, Cane V, Cavani F, Giavaresi G, Krajewski A, Martini L, Aldini NN, Ravaglioli A, Rimondini L, Torricelli P, Giardino R The effect of pulsed electromagnetic fields on the osteointegration of hydroxyapatite implants in cancellous bone: a morphologic and microstructural in vivo study. *J Orthop Res* 2002; 20 (4) : 756-63
- Kahanovitz N, Arnoczky SP, Hulse D, Shires PK. The effect of postoperative electromagnetic pulsing on canine posterior spinal fusions. *Spine* 1984, 9: 273-279.
- Kahanovitz N, Arnoczky SP, Nemzek J, Shores A. The effect of electromagnetic pulsing on posterior lumbar spinal fusions in dogs. *Spine* 1994;19:705–9
- Ito M, Fay LA, Ito Y, et al. The effect of pulsed electromagnetic fields on instrumented posterolateral spinal fusion and clinical related stress shielding. *Spine* 1997;22:382–388
- Glazer PA, Heilmann MR, Lotz JC, Bradford DS, Use of Electromagnetic Fields in a Spinal Fusion A Rabbit Model- *Spine* 1997;22:2351-2356
- Trock DH, Bollet AJ, Dyer RH Jr, Fielding LP, Miner WK, Markol R: A Double Blind Trial of the Clinical Effects of Pulsed Electromagnetic Fields in OA. *J Rheumatol* 1993, 20: 456-468
- Dal Conte G: Studio controllato nella capacita dei campi magnetici pulsati ad alleviare i sintomi delle coxartrosi. *Atti 13 Congresso Naz Simfer Verona II, 98-104, 1983*
- Singer F, Schieler K. Erfahrungen mit pulsieren-der niederfrequenter elektromagnetischer Energie bei der Behandlung

- degenerativer Gelenkerkrankungen. *Z. Physiother* 1977; 29: 339-341
21. Zucco F, Orlandi B. Very low frequency and low intensity magnetic fields in a different treatment of disease. Chronic low back pain in senile degenerative arthritis: A double blind study. *Bioelectro- chemistry and Bioenergetics* 1985, 14: 187-195
22. Nicolakis P, Kollmitzer J, Crevenna R, Bittner Ch, Erdogmus CB, Nicolakis J. Pulsed magnetic field therapy for osteoarthritis of the knee –a double-blind sham-controlled trial *Wien Klin Wochenschr* 2002; 114/15–16: 678–684
23. Ammer K. Magnetfeldtherapie-eine kritische Literaturübersicht. *Österr Z Phys Med* 1993, 3: 61-69.
24. Quittan M, Schuhfried O, Wiesinger GF, Fialka-Moser V. Klinische Wirksamkeit der magnetfeldtherapie- eine Literaturübersicht. *Acta Med Austriaca* 2000, 27:61-68
25. Kahanovitz N. Electrical stimulation of spinal fusion: a scientific and clinical update *The Spine Journal* 2002; 2: 145–150.
26. Simmons JS. Treatment of failed posterior lumbar interbody fusion (PLIF) of the spine with pulsing electromagnetic fields. *Clin Orthop* 1985;183:127–32.
27. Mooney V.A randomized double-blind prospective study of the efficacy of pulsed electromagnetic fields for interbody lumbar fusions. *Spine* 1990;15(7):708-712
28. Linovitz RJ, Bernhardt M, Green D, et al. Combined magnetic fields accelerate and increase spine fusion: a double-blind, randomized, placebo controlled study. *Spine* 2002, 27, 1383-1389
28. Goodwin CB, Brighton CT, Guyer RD, Johnson JR, Light KI, Yuan HA. A double-blind study of capacitively coupled electrical stimulation as an adjunct to lumbar spinal fusions. *Spine* 1999; 24(13):1349-1357
29. Nerubay J, Margarit B, Bubis JJ, et al. Stimulation of bone formation by electrical current on spinal fusion. *Spine* 1986; 11:167–9.
30. Kahanovitz N, Arnoczky SP. The efficacy of direct current electrical stimulation to enhance canine spinal fusions. *Clin Orthop* 1990;251:295–9.
31. Kane WJ. Direct current electrical bone growth stimulation for spinal fusion. *Spine* 1988;24:363–5.
32. Meril AJ. Direct current (DC) stimulation of allograft in anterior and posterior lumbar interbody fusions. *Spine* 1994; 19:2393–7.
33. Rogozinski A, Rogozinski C. Efficacy of implanted bone growth stimulation in instrumented lumbosacral spinal fusion. 1996;21:2393–8.
34. Kucharzyk D. A controlled prospective outcome study of implantable electrical stimulation with spinal instrumentation in a high-risk spinal fusion population. *Spine* 1999;5:465–9.
35. Tejano NA; Puno R, Ignacio JMF. The Use of Implantable Direct Current Stimulation in Multilevel Spinal Fusion Without Instrumentation. *Spine* 1996;21:1904-1908
36. Jenis LG, An HS, Stein R, Young B. Prospective comparison of the effect of direct current electrical stimulation and pulsed electromagnetic fields on instrumented posterolateral lumbar arthrodesis. *J Spinal Disord* 2000 Aug;13(4):290-6

Korrespondenzadresse des Autors

OA. Prof Dr med Kurt Ammer PhD

Ludwig Boltzmann Forschungsstelle für
Physikalische Diagnostik im Hanuschkrankenhaus,
Heinrich Collinstr 30, 1140 Wien

Email. Kammer1950@aol.com