Zeitschrift: Bulletin des Schweizerischen Elektrotechnischen Vereins, des Verbandes Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen = Bulletin de l'Association suisse des électriciens, de l'Association des entreprises électriques suisses

Herausgeber: Schweizerischer Elektrotechnischer Verein ; Verband Schweizerischer Elektrizitätsunternehmen

Band: 67 (1976)

Heft: 4

Artikel: Elektrische Phänomene des Knochens

Autor: Perren, S. M. / Blümlein, H. / Cordey, J.

DOI: https://doi.org/10.5169/seals-915124

Nutzungsbedingungen

Die ETH-Bibliothek ist die Anbieterin der digitalisierten Zeitschriften auf E-Periodica. Sie besitzt keine Urheberrechte an den Zeitschriften und ist nicht verantwortlich für deren Inhalte. Die Rechte liegen in der Regel bei den Herausgebern beziehungsweise den externen Rechteinhabern. Das Veröffentlichen von Bildern in Print- und Online-Publikationen sowie auf Social Media-Kanälen oder Webseiten ist nur mit vorheriger Genehmigung der Rechteinhaber erlaubt. Mehr erfahren

Conditions d'utilisation

L'ETH Library est le fournisseur des revues numérisées. Elle ne détient aucun droit d'auteur sur les revues et n'est pas responsable de leur contenu. En règle générale, les droits sont détenus par les éditeurs ou les détenteurs de droits externes. La reproduction d'images dans des publications imprimées ou en ligne ainsi que sur des canaux de médias sociaux ou des sites web n'est autorisée qu'avec l'accord préalable des détenteurs des droits. En savoir plus

Terms of use

The ETH Library is the provider of the digitised journals. It does not own any copyrights to the journals and is not responsible for their content. The rights usually lie with the publishers or the external rights holders. Publishing images in print and online publications, as well as on social media channels or websites, is only permitted with the prior consent of the rights holders. Find out more

Download PDF: 09.07.2025

ETH-Bibliothek Zürich, E-Periodica, https://www.e-periodica.ch

Elektrische Phänomene des Knochens

Von S. M. Perren, H. Blümlein, J. Cordey und H. W. Gerber

537.39:616.71

Es wird eine Übersicht über die bisherigen Untersuchungen über das elektrostatische und das sogenannte piezoelektrische Verhalten des Knochens sowie die Beeinflussungsmöglichkeit der Knochenentwicklung mittels elektrischer Ströme berichtet. Während mit Gleichstom gewisse positive Resultate erzielt werden konnten, zeigen die negativ verlaufenen Untersuchungen der Autoren, dass mit magnetischen Wechselfeldern vermutlich kein Einfluss auf die Knochenheilung ausgeübt werden kann.

Aperçu des recherches entreprises au sujet des comportements électrostatique et piézo-électrique des os, ainsi que des possibilités d'influencer l'ossification au moyen de courants électriques. Alors qu'avec du courant continu certains résultats positifs ont pu être obtenus, les recherches négatives des auteurs montrent que des champs magnétiques alternatifs ne peuvent probablement pas exercer une influence sur la guérison des os.

1. Einleitung

Die «Heilung des Knochenbruchs aus der Steckdose» ist in letzter Zeit zu einem beliebten Schlagwort geworden. Man liest Berichte über erfolgreiche Behandlungen bei verzögerter Knochenbruchheilung (Pseudarthrosen), bei Knochenentzündungen und selbst bei Knochengeschwülsten (Tumoren). Sofern der Knochenbruch einer elektrischen Behandlung zugänglich ist, ergibt sich eine interessante Möglichkeit zur interdisziplinären Zusammenarbeit zwischen Mediziner, Biologen, Physiker und Elektrofachmann. Die interdisziplinäre Zusammenarbeit hat sich schon oft für den Patienten segensreich ausgewirkt. Ihre Wünschbarkeit, ja Notwendigkeit im Randgebiet der Medizin und Technik ist unbestritten. In letzter Zeit wird aber auch ersichtlich, dass bei einer solchen Zusammenarbeit die Gefahr des interdisziplinären Missverständnisses besteht. Spricht der Arzt vom Elektron und der Techniker vom medizinischen Röntgenbild, laufen beide Gefahr, den eigenen Problemen in die fremde Disziplin auszuweichen.

Die magische Wirkung des elektrischen Stroms fasziniert die Medizin seit Jahrhunderten. Zur Behandlung einer Vielzahl recht unterschiedlicher Leiden werden vor allem in China, aber auch bei uns, an bestimmten Körperstellen Nadeln aus teils kostbaren Metallen einzeln oder in Gruppen eingestochen (Akupunktur). Die Heilung langwieriger, aber oft schwer erfassbarer Leiden ist beschrieben worden. Von zuverlässigen Autoren erfährt man, dass vor allem in China für grössere Eingriffe Schmerzlosigkeit allein durch Akupunktur erreicht werden kann. (Diese Art der Schmerzlosigkeit ist nicht zu verwechseln mit der sogenannten Elektronarkose, die noch im Versuchsstadium steckt.)

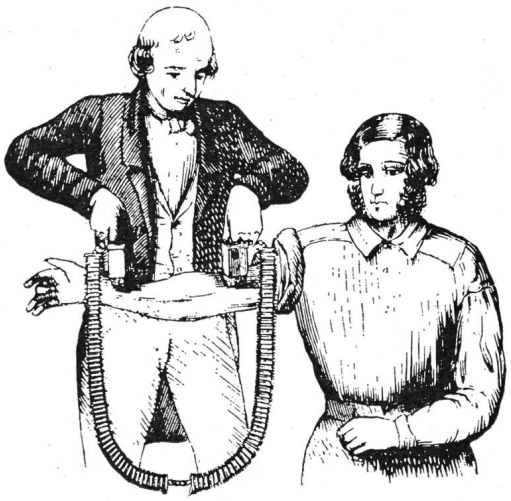

Fig. 1 Schon Mitte des 19. Jahrhunderts sind elektrische Geräte zur Behandlung von verschiedenen Leiden am Bewegungsapparat vorgeschlagen worden
Hier der Apparat nach *Pulvermacher*

Das Wechselspiel von Elektrotechnik und Medizin ist recht alt. *Galvani* beobachtete die Wirkung «galvanischen» Stroms, der eine Zuckung der Muskulatur des Frosches auslöste. Es ist interessant zu beobachten, mit welcher Regelmässigkeit seither die medizinische Therapie der elektronischen Entwicklung folgt. Zeigte der zuckende Muskel in den Anfängen die Anwesenheit von Potentialdifferenzen an, folgte später mit der Verfeinerung der elektronischen Verstärker die Analyse der bei Muskelzuckung auftretenden körpereigenen Potentialdifferenzen. Diese Phänomene werden heute regelmässig z. B. in der Elektrokardio- und Elektromyographie (Aufzeichnung der Herz- und Muskelspannungskurven) ausgenützt. Inwiefern der Erfolg phantasiereicher Geräte zur Beeinflussung verschiedenster Schmerzzustände, vor allem am Bewegungsapparat (Fig. 1), sich von der Wirkung des aufgelegten Katzenfells (an sich auch eine Anwendung der Elektrizität) unterscheidet, ist im Einzelfall schwer abzuklären. Auch der zeitweise etwas erzwungen anmutende Einsatz der Lasertechnik in der Chirurgie stellt eine Anwendung im Randgebiet zwischen Elektrotechnik und Medizin dar. Hat die Medizin in Diagnostik und Therapie mit der Elektronik Schritt gehalten, so stellt sich heute die Frage, ob die Medizin in der Anwendung elektrischer und magnetischer Behandlungsarten (Behandlungsmethoden am Knochen) die Technik unkontrolliert überflügelt.

Die elektrischen Phänomene des Knochens sind im Zusammenhang mit dem speziellen biologischen Verhalten dieses Stützmaterials des menschlichen Skeletts von Interesse. Der Aufbau des Bälkchenknochens (Spongiosa) am Oberschenkelkopf besitzt eine auf die Belastung des Knochens hinweisende Struktur. Ähnlich wie ein Kran oder ein Stützgerüst weist der Knochen in Richtung der Zug- und Druckkräfte eine Balkenstruktur auf. Mit der sog. funktionellen Gestalt des Knochens haben sich in der zweiten Hälfte des 19. Jahrhunderts mehrere Autoren befasst. Sie untersuchten den Zusammenhang zwischen der allgemeinen Belastung und der Struktur des Knochens (Fig. 2).

Nach *Julius Wolff* [1] [1]) ist die Struktur des Knochens nicht nur der voraussehbaren Belastung angepasst, sie wird vielmehr unter der funktionellen Belastung geformt. Wir können diesen Vorgang mit einer Brückenkonstruktion vergleichen, deren Elemente sich mit zunehmender Frequenz des Verkehrs und mit steigender Belastung in ihrem Querschnitt vergrössern. *Wolff* zeigte die Umwandlung der innern Architektur lebenden Knochens in Abhängigkeit von der me-

[1]) Siehe Literatur am Schluss des Aufsatzes.

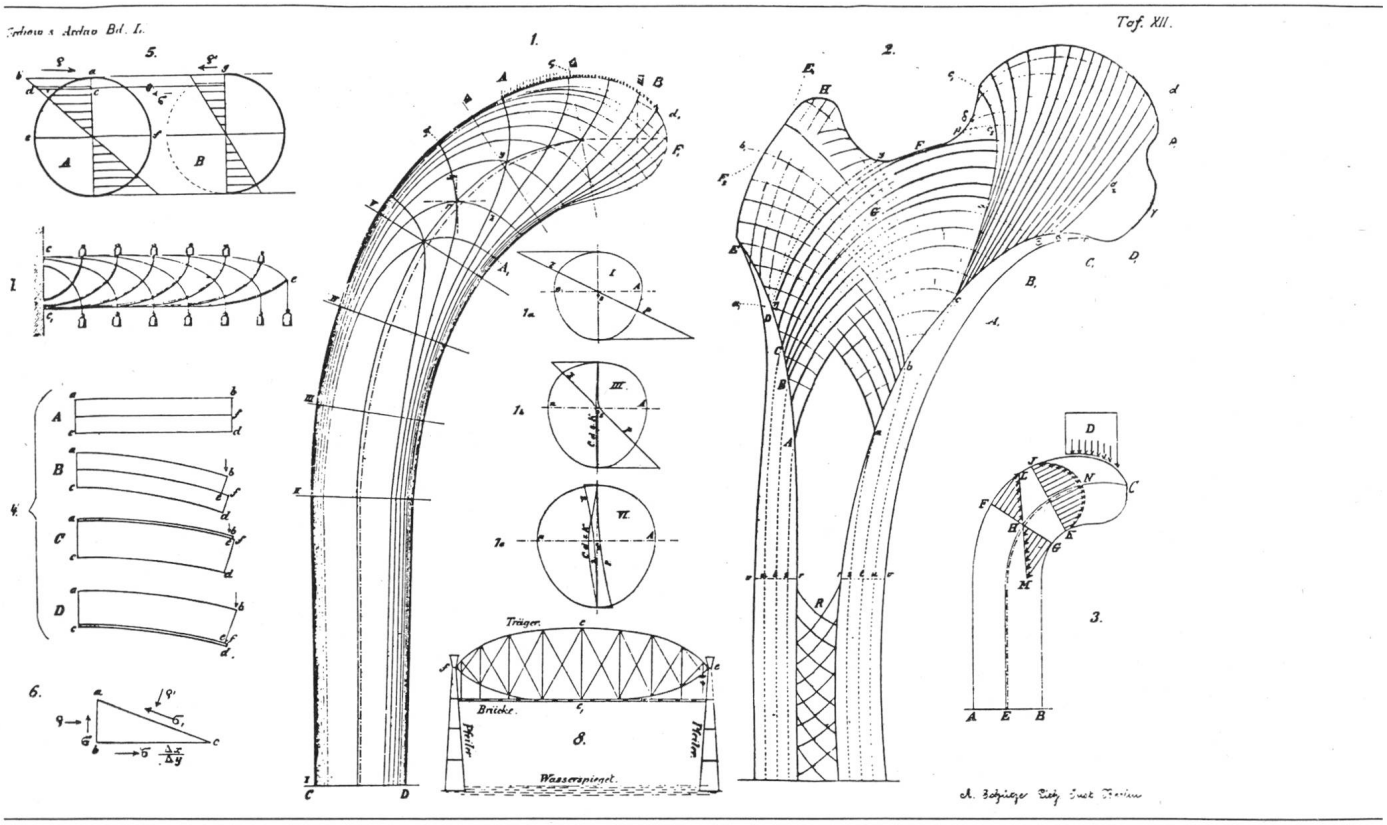

Fig. 2 Analyse der Knochenstruktur des Oberschenkels nach Wolff
Er vergleicht die Struktur des Knochens mit einer technischen Tragstruktur und weist auf die Ausrichtung der Knochenbalken in Zug- und Druckrichtung hin

chanischen Belastung für verschiedene Situationen. Er konnte nicht nur die Anpassung des Knochens an krankhaft veränderte Belastung zeigen, sondern demonstrierte auch die Veränderung der Knochenstruktur nach experimenteller Belastungsänderung, wobei nach Reduktion der Belastung die Struktur ihren ursprünglichen Zustand wieder einnahm. Er formulierte das Gesetz der Transformation der Knochen.

Seit der Jahrhundertwende haben sich mehrere Forscher bemüht, eine Erklärung für die Informationsübermittlung zwischen mechanischer Belastung und biologischer Reaktion des Knochens zu finden. Die Frage war, auf welche Weise die Zellen des Knochens imstande sind, eine vermehrte mechanische Belastung zu erfassen und in eine sinnvolle Reaktion (z. B. Knochenbildung) umzusetzen. Das Gesetz der Transformation der Knochen von *Wolff* hat die Forscher während mehrerer Jahrzehnte angeregt, ein Bindeglied zwischen der mechanischen Belastung und der biologischen Reaktion des Knochens zu finden. Einen wesentlichen Auftrieb erhielt die Forschung auf diesem Gebiet durch die Beobachtung von *Fukada* und *Yasuda* [2], dass der Knochen in Abhängigkeit von der mechanischen Belastung elektrische Potentialdifferenzen aufweist. *Bassett* [3; 4] bestätigte diese Beobachtung; auch er fand, dass der Knochen auf Gleichstrom reagiert. Zur Begründung der elektrischen und magnetischen Beeinflussung der Knochenbruchheilung greifen heute die meisten Autoren auf die im vorhergegangenen, kurz erwähnten «piezoelektrischen» Phänomene des Knochens zurück. Es sollen daher im folgenden eine Übersicht über die elektrischen Grundphänomene des Knochens und der heutige Stand der Untersuchungen auf diesem Gebiet gegeben werden.

2. Gleichspannungspotentiale des Knochens

Friedenberg und *Brighton* [5] haben sogenannte bioelektrische Potentiale des Knochens beschrieben. Es handelt sich dabei um Gleichspannung, die mit einem Elektrometer hoher Eingangsimpedanz ($10^9\ \Omega$) und Kalomelektroden [2]) abgenommen in der Grössenordnung von einigen mV liegen (Fig. 3). Die Autoren berichten, dass diese Gleichspannungs-

[2]) Referenzelektroden auf der Basis von Quecksilberchlorid.

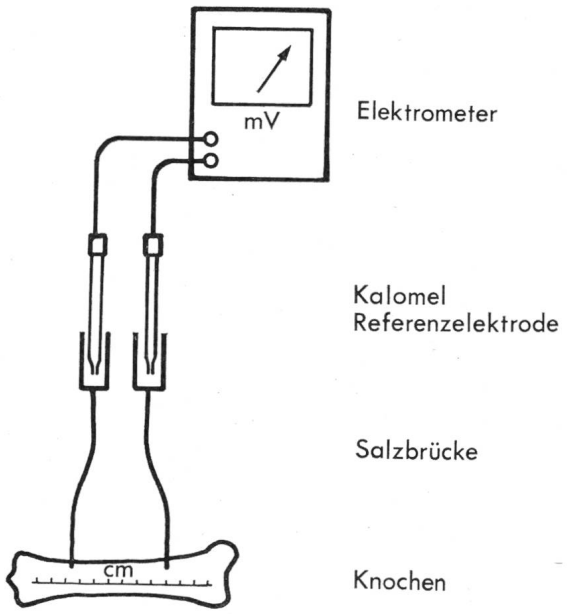

Fig. 3 Messapparatur zur Untersuchung von Gleichspannungspotentialen am lebenden Knochen, wie sie von Friedenberg et al. verwendet wurde

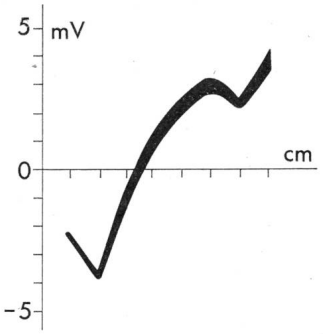

Fig. 4
Beispiel des Gleichspannungspotentials des Knochens, gemessen mit Hilfe der Apparatur nach Fig. 3

potentiale in der Gegend des stärksten Wachstums (sowohl bei Jugendlichen als auch im Heilprozess) am ausgeprägtesten negativ sind. Später schreiben *Friedenberg* und *Smith* [6], dass nach Knochenbruch der gesamte Knochen ein negatives Potential annehme (Fig. 4).

Zu den Gleichspannungspotentialen am Knochen ist zu erwähnen, dass die Potentiale in erster Näherung unabhängig von der mechanischen Belastung sind. Sie sind ferner nur am lebenden Knochen in dieser Art nachweisbar.

3. Wechselspannungen durch sogenannte Piezoelektrizität des Knochens

Die piezoelektrischen Phänomene des Knochens wurden durch *Fukada* und *Yasuda* [2] und später durch *Bassett* und *Becker* [3; 4] sowie *Shamos* und *Lavine* [7] bestätigt. Bei Belastung des Knochens entstehen Ladungsverschiebungen und damit flüchtige elektrische Potentialdifferenzen (Fig. 5). Die Potentialdifferenzen liegen in der Grössenordnung von wenigen mV und bleiben selbst bei Messung mit hochohmigen Elektrometern ($10^{14}\,\Omega$) nur wenige s erhalten. Die Ladungsverschiebung erfolgt derart, dass in Gebieten der Druckzunahme das Potential negativ wird und umgekehrt. Als Substrat für die Piezoelektrizität des Knochens haben *Fukada* und *Yasuda* den piezoelektrischen Effekt von Molekülen des Bindegewebes beschrieben.

Die sog. piezoelektrischen Effekte des Knochens lassen sich mit entsprechend empfindlichen Geräten relativ leicht nachweisen. Sie entstehen bei Belastungsänderungen und sind nicht an die Lebensvorgänge der Zellen gebunden. Es steht heute noch nicht fest, ob diese Effekte tatsächlich piezoelektrischer Natur sind. Die Frage, ob sie die Anpassungsvorgänge des Knochens nur begleiten oder als eigentlicher Informationsträger wirken, ist ebenfalls noch offen.

4. Elektrische Beeinflussung der biologischen Knochenreaktion

Nach der Entdeckung belastungsabhängiger elektrischer Phänomene lag es nahe, zu untersuchen, ob sich durch das Anlegen des elektrischen Stromflusses am lebenden Knochen eine Knochenbildung oder Knochenzerstörung auslösen lässt. Es waren wiederum zuerst die Japaner *Yasuda, Iida* und *Noguchi* [8; 9; 10], später die Gruppe um den Amerikaner *Bassett* und in der Folge viele andere Autoren, die die Wirkung des elektrischen Stroms untersuchten. Interessanterweise behandelt die Grosszahl der Publikationen die Beeinflussung des Knochens durch Gleichstrom. Nach tastenden Versuchen, bei denen zum Teil recht hohe Stromstärken angewandt wurden, hat sich die Verwendung von Gleichstrom im µA-Bereich eingependelt. Die meisten Autoren berichten, dass sie unter derartigen Strömen an der Kathode Knochenbildung und an der Anode etwas unregelmässige Knochenzerstörung, aber auch Bildung, beobachteten. *Weigert* [11] hat im Tierexperiment mit Gleichstrom die Knochenbildung innerhalb des Knochenrohrs, die Bildung der Knochennarbe und das Wachstum des Knochens angeregt.

Was die Wirkung von Wechselstrom betrifft, waren frühere Versuche, die Knochenbildung durch Wechselströme zu beeinflussen, negativ verlaufen, abgesehen von Stromstärken mit relevanter Wärmeentwicklung. Immerhin fand *Weigert* bei Applikation von Wechselströmen in der Grössenordnung von 50 mA bei 50 Hz im Tierversuch eine geringe positive Beeinflussung der Knochenbildung.

Es ist erstaunlich, dass, obwohl die im Knochen natürlicherweise vorhandenen Gleichspannungspotentiale nicht belastungsabhängig sind, sich die Knochenbildung fast ausschliesslich mit Gleichspannung anregen lässt. Die einzigen belastungsabhängigen Potentiale des Knochens, die also die Information über die jeweilige Belastungsart enthalten könnten, sind die Wechselpotentiale. Sie weisen, am Knochen angelegt, eine nur sehr geringe Beeinflussung der Knochenbildung auf. Im weiteren ist zu erwähnen, dass die Grössenordnung der durch die Belastung erzeugten Ströme (pA) einerseits und der für die Anregung der Knochenbildung verwendeten Ströme (µA) anderseits um mehrere Zehnerpotenzen auseinanderliegt. Jedenfalls konnte bisher im Bereich µA und darunter keine Beeinflussung nachgewiesen werden.

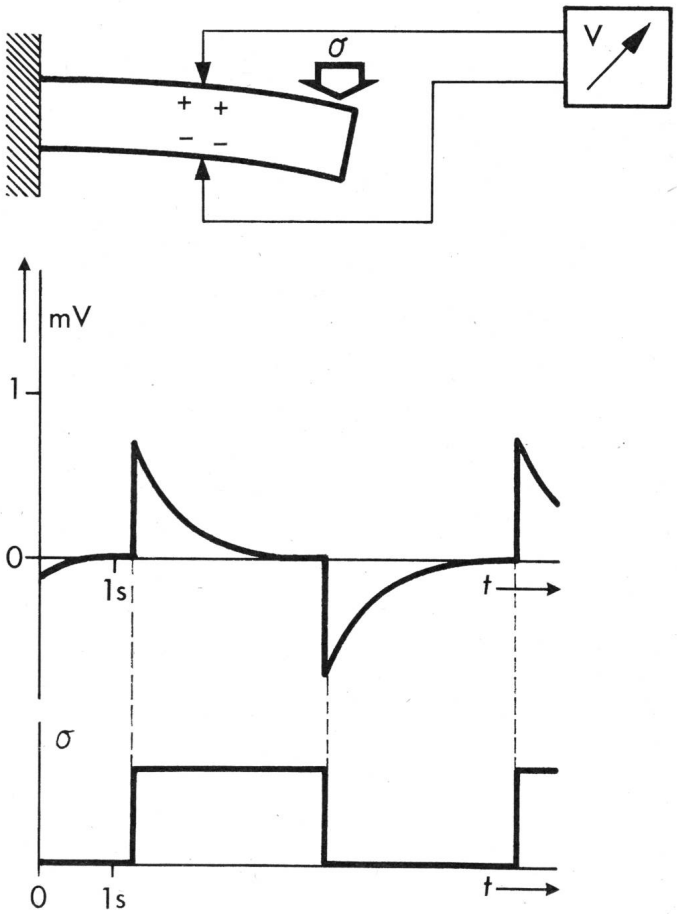

Fig. 5 **Sogenannte piezoelektrische Effekte des Knochens: unter veränderlicher Biegebelastung σ lassen sich am Knochen Potentialdifferenzen in der Grössenordnung von mV abnehmen**

Ferner ist zu erwähnen, dass es nur wenige Autoren unternommen haben, die elektrochemischen Vorgänge an den Elektroden zu definieren. Geradezu erstaunlich muten jene Untersuchungen an, die mit Hilfe einer implantierten Batterie von 1,4 V und einem Seriewiderstand von 147 kΩ einen konstanten Strom anzulegen versuchten. Wohl beträgt der Körperwiderstand nur wenige kΩ. Der Polarisationswiderstand der Elektroden liegt bei 2 V aber schon in der Grössenordnung von 0,5 MΩ. Im weiteren ist darauf hinzuweisen, dass die Stromdichte, die ja für die Beeinflussung der einzelnen Gewebszelle von entscheidender Bedeutung ist, von den meisten Autoren nicht berücksichtigt und dargestellt wurde.

Bassett vermutet, dass die belastungsabhängige Anpassung der Knochenstruktur im Zusammenhang steht mit den belastungsabhängig induzierten Potentialdifferenzen am Knochen und der Wirkung des elektrischen Stroms auf die Knochenbildung. Fig. 6a zeigt die in diesem Zusammenhang aufgestellte Hypothese eines Rückkoppelungsmechanismus, in dem die vermehrte Belastung zu erhöhtem elektrischem Potential, das erhöhte Potential zu höherer Knochenbildung und jene wieder zu einer Verminderung des Störsignals infolge erhöhter innerer Knochenspannung führt (Fig. 6b). Mehrere Punkte an dieser Arbeitshypothese sind jedoch noch unklar; es entstehen ja unter der dynamischen Belastung des menschlichen Skeletts nicht nur einseitige, sondern wechselseitige Potentialdifferenzen, und diese haben einen relativ geringen Effekt auf die Knochenbildung. Sind Gleichrichtereffekte im Knochen vorhanden? Sind die elektrischen Effekte auf die Knochenbildung veränderungsempfindlich? Man weiss es derzeit nicht mit Sicherheit.

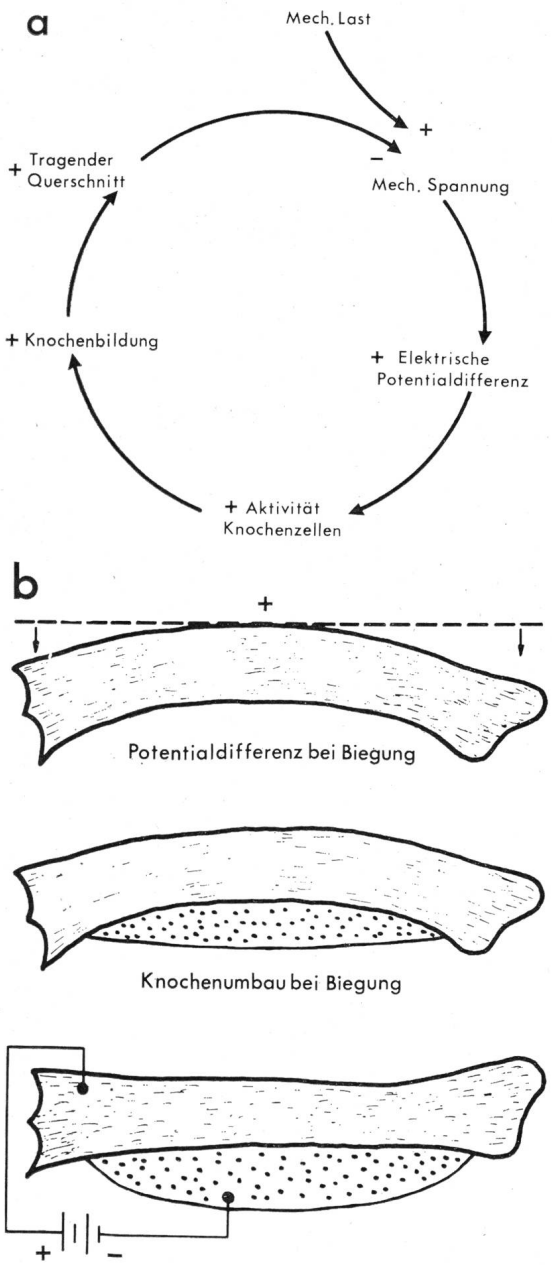

Fig. 6 Hypothese des Rückkopplungsmechanismus im Knochen mit elektrischen Phänomenen als Informationsträger, nach Basset
a) Schematische Darstellung des Zyklus
b) Auswirkung auf den Knochenumbau

Zwei Überlegungen sprechen nach *Steinemann* gegen die Wirksamkeit der belastungsabhängig entstandenen Potentialdifferenzen im Knochen. Einerseits liegen die erzeugten Energien und die benötigten Energien (Belastungsarbeit) recht weit auseinander. Anderseits würde bei Annahme eines piezoelektrischen Effekts ein Informationsverlust zwischen Kraftrichtung und elektrischem Signal auftreten, und zudem würde sich der piezoelektrische Effekt in einer Richtung auswirken, in der die Reaktion nicht zu erwarten ist (schräg zur Kraftrichtung).

5. Versuche zur Beeinflussung der Knochenbruchheilung

Wie schon erwähnt, fanden aufgrund der beobachteten belastungsabhängigen elektrischen Potentiale Versuche statt, die Knochenbildung durch den Strom zu stimulieren. Als weiterer Schritt ergab sich fast logisch der Versuch, die Knochenbruchheilung durch den elektrischen Strom zu beeinflussen. Als erste behandelten *Cieszynski* und *Friedenberg* [12] Knochendefekte bei Menschen mit Gleichstrom. Sie berichteten in der Fachpresse von der erfolgreichen Behandlung einer Malleolarpseudarthrose (nicht heilender Knöchelbruch), die unter Behandlung mit Gips nicht heilte. Sie fanden, dass Gleichstrom in der Grössenordnung von 10 μA, mit Hilfe von Nadelelektroden angelegt, diesen Knochenbruch innerhalb von neun Wochen zur Ausheilung brachte. Weitere Berichte betrafen angeborene Falschgelenke, aber auch etwa zwei Dutzend frische Brüche des Schienbeins. Im letzteren Fall berichtete *Jörgensen* [13] über eine schnellere Heilung unter pulsierendem Gleichstrom, im Vergleich zur Kontrollgruppe.

Das Anlegen von elektrischem Strom im Körper mit Hilfe von Nadelelektroden bedingt die chirurgische Eröffnung der Bruchstelle und die Durchführung von Drahtzuführungen zwischen den im Körper befindlichen Nadelelektroden und der ausserhalb des Körpers gelegenen Stromquelle. Die Drahtdurchführung stellt eine Eröffnung der Körpergewebe dar und birgt die Gefahr der bakteriellen Infektion. Der nächste Schritt bestand deshalb darin, zusammen mit der Elektronik für Stromregulierung eine Batterie in den Körper einzubringen. Da sich die Batterie mit der Zeit erschöpfte, wurde versucht, diese induktiv aufzuladen. *Kraus* [14] ging noch einen Schritt weiter und implantierte induktive Aufnehmer, an die er direkt Platin/Iridium-Elektroden anschloss. Dies ermöglichte den Verzicht auf die doch recht gefährliche Drahtzuführung, bedingte aber nach wie vor einen chirurgischen Eingriff. Auf die Nadelelektroden wurde zum Teil

verzichtet, indem die induktiv übertragenen Ströme direkt an chirurgische Implantate angelegt wurden.

Ein weiterer Schritt bestand in der Anwendung des reinen Magnetfeldes ohne Implantation von induktiven Aufnehmern. Die beiden letzten Methoden, nämlich die Anwendung des Magnetfeldes allein oder in Verbindung mit implantierten Übertragern, wie sie vom Ingenieur *Kraus* entwickelt wurden, sind vom Chirurgen *Lechner* [15] aufgegriffen und in der Klinik angewandt worden. Aus der Klinik berichten *Kraus* und *Lechner* [16] über mehr als 120 Fälle, vornehmlich von verzögert heilenden Knochenbrüchen, die mit magnetischem Wechselfeld zusammen mit implantierten elektrischen Übertragern wirksam behandelt wurden.

Es mag für den Techniker interessant sein, zu überlegen, mit welchen Schwierigkeiten sich der Kliniker bei der Beurteilung einer solchen Behandlungsmethode konfrontiert sieht: Die elektrische oder magnetische Behandlung der Frakturen ist im Falle von *Kraus* und *Lechner* zusammen mit der chirurgischen Stabilisierung der Bruchfragmente und einer Knochenübertragung (Spongiosatransplantation) verwendet worden. Die Resultate wären aussagekräftig, wenn gleichzeitig eine Gruppe zufällig ausgewählter Patienten identisch, aber ohne Magnetfeld und Elektrotherapie behandelt worden wären. Besteht die begründete Annahme der Wirksamkeit einer neuen Methode und selbstverständlich die Überzeugung ihrer Unschädlichkeit, fällt es einem Chirurgen schwer, einer Patientengruppe die Vorteile einer neuen Behandlungsart, von der er überzeugt ist, nicht zukommen zu lassen. Der Vergleich mit Resultaten aus andern Kliniken ist meist nicht zulässig, da dabei andere Unterschiede in der Behandlungsart übersehen werden können. Es bleibt daher zur Beurteilung der Wirksamkeit einer neuen Methode nur die Möglichkeit, im Tierversuch die Resultate quantitativ und objektiv zu beurteilen.

6. Eigene tierexperimentelle Untersuchungen

Im Rahmen eines langfristig angelegten Programms werden im Laboratorium für experimentelle Chirurgie am Schweizerischen Forschungsinstitut in Davos mit Unterstützung des Schweizerischen Nationalfonds zur Förderung der wissenschaftlichen Forschung und der Ärztekommission des SEV Untersuchungen über die Wirkung der magnetischen und elektrischen Beeinflussung der Körpergewebe durchgeführt. In der ersten Versuchsserie sind Versuche mit reiner Magnetfeldbeeinflussung durchgeführt worden. Diese gliedern sich in zwei Gruppen:

6.1 Untersuchungen an Organkulturen wachsender Knochen

18 Tage alten Embryonen von Ratten wird die Oberschenkelanlage sorgfältig entnommen und als ganzes Organ im Brutschrank weitergezüchtet. Die Umgebungsbedingungen wie Nährlösung, Temperatur, Sauerstoff usw. sind derart, dass diese Knochenanlagen ihr Gewicht während der Beobachtungszeit etwa aufs Zehnfache vergrössern. Es werden jeweils die beiden Knochenanlagen jedes Embryos verwendet, die rechte zur Kontrolle, die linke für die Versuchsbedingungen oder umgekehrt. Damit wird das individuell unterschiedliche Wachstum in seinem Einfluss auf das Resultat ausgeschlossen. Beide Knochenanlagen befinden sich im Innern von äusserlich identischen Spulen, von denen die eine ein Magnetfeld von 30 Gs bei 20 Hz erzeugt, während die andere eine Abschirmung enthält. Die erste Versuchsreihe zeigte ein eindeutig besseres Wachstum in der Spule mit dem Magnetfeld. Bei der genauen Abklärung dieser Versuchsbedingungen konnte jedoch festgestellt werden, dass die geringe Aufheizung der Magnetfeldspule alleinige Ursache des unterschiedlichen Wachstums war. Bei unkritischer Auswertung des Experimentes wäre somit ein günstiger Effekt des Magnetfeldes beschrieben worden, der auf einem reinen Temperaturartefakt beruht hätte. Unter identischen Temperaturbedingungen liess sich keine Wachstumswirkung des Magnetfeldes nachweisen.

6.2 Untersuchungen an Pseudarthrosen bei Beagle-Hunden

Unter Narkose sind in einer ersten Versuchsreihe Falschgelenke an der Speiche (Radius) des Hundevorderlaufes erzeugt worden. In einer 10monatigen Beobachtungszeit sind jene Tiere ausgeschlossen worden, die eine Heilung des Knochenbruchs erkennen liessen. Anschliessend sind Magnetfeldspulen täglich derart angelegt worden, dass sich der eine Vorderlauf im Magnetfeld (30 Gs, 20 Hz), der andere unter sonst identischen Bedingungen nicht im Magnetfeld befand. Nach 12 Wochen dieser Behandlung, während derer sich die Hunde, mit Ausnahme der Behandlungszeit von fünf Stunden täglich, frei bewegen konnten, wurden die Tiere getötet. Es wurden sodann insgesamt 700 Feinschnitte von 100 µm Dicke zur Beurteilung unter dem Mikroskop angelegt. Ein Teil dieser Schnitte wurde mit Hilfe einer speziellen Röntgentechnik (Mikroradiographie) untersucht. Sowohl die mikroradiographische wie auch die röntgenologische Beurteilung im Doppelblindversuch – die Resultate wurden beurteilt ohne die Gruppenzugehörigkeit zu kennen – zeigten keine erkennbare Wirkung des Magnetfeldes.

Die gemeinsam mit *Kraus,* dem Erfinder der Methode, geplanten Versuche haben bezüglich der Wachstumsförderung an Organkulturen und der Heilungsförderung an tierexperimentellen Pseudarthrosen bei Verwendung des reinen Magnetfeldes ein eindeutig negatives Resultat ergeben. Zur Erklärung des Versagens der geprüften Methode sind mehrere Argumente denkbar:

- Sind Frequenz und Intensität des Magnetfeldes optimal ausgenützt? *Bassett* vermutet, dass dies nicht zutrifft. Dies bedeutet aber, dass die Methode zu früh am Patienten angewandt wird.
- Sind grundsätzliche Unterschiede im Verhalten von Tier und Mensch anzunehmen? Dies ist recht unwahrscheinlich.
- Soll sich ein Versuchsmodell, das in allen andern Eigenschaften die Heilung von Knochenbrüchen und die Bildung von Pseudarthrose nachahmt, einzig durch seine Reaktion auf das Magnetfeld unterscheiden? Dies ist denkbar, aber aufgrund unserer 12jährigen Erfahrungen in der Klinik am Menschen und im Tierversuch wäre dies der erste derartige Unterschied, den wir kennen.
- Obschon auch die Menge der durch das niederfrequente, schwache Magnetfeld übertragenen Energie sehr gering ist, bleibt eine unbekannte Wirkungsart bei spezifischer Indikation, aber auch die Möglichkeit eines interdisziplinären Missverständnisses oder unkontrollierten Wunschdenkens offen.

Die bisher durchgeführten Tierversuche betreffen nur die Wirkung des Magnetfeldes allein. Weitere Versuche laufen derzeit, die die Wirkung des Magnetfeldes zusammen mit implantierten Übertragern betreffen. Auch hier wäre eine spezifische Wirkung erstaunlich, sind doch bisher in den mei-

sten Grundlagenuntersuchungen Wechselströme gegenüber Gleichströmen auffallend unwirksam. Das Problem ist jedoch noch nicht gelöst. Die weiter projektierten tierexperimentellen Untersuchungen betreffen auch die Beeinflussung infizierter Pseudarthrosen und solcher Knochenbruchheilung, die auf einem bestimmten Stadium wie ausgebrannt stehengeblieben sind (athrophe Pseudarthrosen).

Die vorliegenden Ausführungen sollen am Beispiel der Beeinflussung der Knochenbruchheilung durch elektromagnetische Felder die interessanten Aspekte der interdisziplinären Zusammenarbeit, aber auch die Gefahren eines derartigen Unternehmens aufzeigen.

Literatur

[1] *J. Wolff:* Das Gesetz der Transformation der Knochen. Berlin, Hirschwald, 1892.

[2] *E. Fukada* and *I. Yasuda:* On the piezoelectric effect of bone. Journal of the Physiological Society of Japan 12(1957), p. 1158...1162.

[3] *C. A. L. Bassett* and *R. O. Becker:* Generation of electric potential by bone in response to mechanical stress. Science 137(1962), p. 1063..1064.

[4] *C. A. L. Bassett, R. J. Pawluk* and *R. O. Becker:* Effects of electrical currents on bone in vivo. Nature (London) 204(1964), p. 652..655.

[5] *Z. B. Friedenberg* and *C. T. Brighton:* Bioelectric potentials in bone. Journal of Bone and Joint Surgery 48 A(1966), p. 915..923.

[6] *Z. B. Friedenberg* and *H. G. Smith:* Electrical potentials in intact and fractured tibia. Clinical Orthopaedics 62(1969), p. 222...225.

[7] *M. H. Shamos, L. S. Lavine* and *M. I. Shamos:* Piezoelectric effects in bone. Nature (London) 197(1963), p. 81.

[8] *I. Yasuda:* Study of bone dynamics. In proceedings of the Japanese Society of orthopaedic surgery. Journal of Bone and Joint Surgery 30 A(1959), p. 227.

[9] *H. Iida:* Study on dynamic and electric calluses of bone in vitro. Journal of the Japanese Orthopaedic Surgery Society 31(1957), p. 645...664.

[10] *K. Noguchi:* Study on dynamic callus and electric callus. Journal of the Japanese Orthopaedic Surgery Society 31(1957), S. 641...642.

[11] *M. Weigert:* Anregung der Knochenbildung durch elektrischen Strom. Hefte zur Unfallheilkunde 115(1973), S. 1...101.

[12] *T. Cieszynski:* Studies on the regeneration of ossal tissue II, Treatment of bone fractures in experimental animals with electric energy. Archivum Immunologiae et Therapiae Experimentalis (Warszawa) 11(1963), p. 199...217.

[13] *T. E. Jorgensen:* The effect of electric current on the healing time of crural fractures. Acta Oethopaedica Scandinavica 43(1972), p. 421...437.

[14] *W. Kraus:* Die Geweberegeneration mit strukturbildenden elektro- und magnetdynamischen Potentialen. Hefte zur Unfallheilkunde 114(1972), S. 327...331.

[15] *F. Lechner:* Die Beeinflussung gestörter Frakturheilung durch elektromagnetische Felder. Hefte zur Unfallheilkunde 114(1972), S. 325...327.

[16] *W. Kraus* und *F. Lechner:* Die Heilung von Pseudarthrosen und Spontanfrakturen durch strukturbildende elektrodynamische Potentiale. Münchener Medizinische Wochenschrift 114(1972), S. 1814...1819.

Adressen der Autoren

PD Dr. med. *S. M. Perren,* Dr. med. *H. Blümlein,* dipl. Phys. *J. Cordey,* dipl. Biologe *H. W. Gerber,* Laboratorium für experimentelle Chirurgie und Meldestelle für Elektrounfälle, Schweizerisches Forschungsinstitut, 7270 Davos.

Commission Electrotechnique Internationale (CEI)

Sitzungen des CE 10 und der SC 10A und 10B vom 24. bis 28. November 1975 in Baden-Baden

CE 10, Diélectriques liquides et gazeux

Nach Annahme des Protokolls der letzten Sitzung vom November 1973 in Den Haag berichtete M. Sadler, USA, über Aktivitäten des ISO/TC 20, soweit sie das CE 10 interessieren. Er teilte mit, dass die dringend erwünschten Kontakte mit dem artverwandten ISO-Komitee endlich zustande gekommen sind. Eine Reihe von ISO-Dokumenten, die direkt die Prüfung von Isolierölen tangieren, ist bereits veröffentlicht worden. Die Normen werden anstelle der bisherigen ASTM-Methoden in den entsprechenden CEI-Publikationen Eingang finden. Eine Reihe weiterer Normen wird vorbereitet, wobei jedoch ausschliesslich natürliche Petroleumprodukte und keine synthetischen Kohlenwasserstoffe berücksichtigt werden.

Die Vorsitzende des SC 10A, Mme Fallou, konnte auf die Neuerscheinung von 4 CEI-Publikationen verweisen. Für die Schweiz ist die Vorbereitung einer ISO-Norm zur Bestimmung korrosiven Schwefels in Isolierflüssigkeiten insofern von Bedeutung, als der bei uns praktizierte «Silberstreifentest» damit international kaum noch Anerkennung finden wird.

Aus dem Bericht des Vorsitzenden des SC 10B, geht hervor, dass 4 Sekretariatsdokumente unter die 6-Monate-Regel gestellt werden. Sie betreffen die Spezifikationen von Trafo- und Kondensator-Askarelen sowie entsprechende Prüfmethoden.

Das SC 10C hat in der Berichtsperiode nicht getagt. Es sind jedoch Spezifikationswünsche für Stickstoff und Wasserstoff eingegangen, die den Nationalkomitees in Form von Sekretariatsdokumenten zur Stellungnahme vorgelegt werden sollen.

Eine weitere Stellungnahme wird von den Nationalkomitees zur Frage des Einsatzes von Silikonöl als Isolierflüssigkeit erwartet. Ein entsprechendes Dokument wird vom SC 10B vorbereitet.

Die nächste Sitzung des CE 10 soll anlässlich der nächsten Réunion générale der CEI im Juni 1977 in Moskau stattfinden.

J. Schober

SC 10A, Huiles isolantes à base d'hydrocarbures

28 Delegierte aus 16 Ländern hatten sich mit 18 Traktanden zu befassen, so dass selbst die zwei dafür vorgesehenen vollen Tage nicht zu reichlich bemessen waren. Im folgenden wird nur auf die Dokumente eingegangen, zu denen Eingaben des Schweizerischen Nationalkomitees vorlagen bzw. zu denen die Schweizer Delegation auftragsgemäss Stellung zu beziehen hatte.

10A(Secrétariat)36: Es werden zwei Dokumente unter der 6-Monate-Regel herausgegeben, in denen die in den CEI-Publikationen 296 und 465 angegebenen ASTM-Prüfnormen sowie die entsprechenden ISO-Normen aufgeführt sind, durch welche die ASTM-Normen ersetzt werden sollen.

10A(Secrétariat)35: Die Diskussion über eine Erweiterung der in CEI-Publikation 296 festgelegten Isolieröl-Spezifikationen auf naphthenbasische Öle brachte eine Reihe noch offener Fragen zutage, die in einem Fragebogen zusammengefasst als neues Sekretariatsdokument den Nationalkomitees zur Stellungnahme vorgelegt werden sollen. Bei dieser Gelegenheit wurde von der Schweizer Delegation auch die Aufnahme des in der Schweiz spezifizierten Tieftemperatur-Schalteröles (Klasse III) in die CEI-Publikation 296 empfohlen. Der Vorschlag fand breite Zustimmung, wird jedoch ebenfalls im obigen Fragebogen nochmals zur Diskussion gestellt.

10A(Secrétariat)33: Für die Prüfung der Gasfestigkeit von Kabelölen wird ein neues Sekretariatsdokument ausgearbeitet, wobei dieses auf Methode B der entsprechenden ASTM-Norm basieren soll.

10A(Secrétariat)34. Nach langer Diskussion einigte man sich darauf, die Alterungsprüfung der Kabelöle in Anwesenheit von Papier und Kupfer fallen zu lassen und – entsprechend der Meinung auch des Schweizerischen Nationalkomitees – eine rein thermische Prüfung in geschlossenen Gefässen (Methode B ohne Konstr.-Materialien) vorzuschlagen. Ein entsprechendes Sekretariatsdokument wird vorbereitet.

10A(Secrétariat)38: Die meisten Länder sprachen sich für eine direkte Titration des Wassergehaltes in Isolierölen aus. Das besprochene Dokument wird daher zurückgezogen und – soweit dies Isolieröl betrifft – durch das Dokument *10A(United Kingdom)34* ersetzt. Für die Bestimmung der Feuchtigkeit in festen Isolierstoffen sowie für Probenahmen von Festisolation werden neue Dokumente erarbeitet.

Zu den abgegebenen Berichten der Sekretäre der Arbeitsgruppen ist noch bemerkenswert, dass in nächster Zeit ein Sekretariatsdokument mit der Beschreibung einer neuen, realistischeren Methode zur Prüfung der Alterungsbeständigkeit von Isolierölen herausgebracht werden soll. Ausserdem soll der russische Vorschlag *10A(USSR)11* studiert werden.