

# ***CAMPI MAGNETICI PULSATI IN MEDICINA FISICA E RIABILITAZIONE***

***“.....l’energia magnetica è l’energia elementare da cui dipende tutta la vita dell’organismo”***

***Werner Heisenberg (1901-1976)***

***Premio Nobel per la Fisica (1932)***

Publicazione di ***F. Missoli***

**AIFM**— Associazione Italiana Fisica in Medicina

**AIM**- Associazione Informatica Medica

**SIF** — Società Italiana di Fisica

Copie della pubblicazione autorizzate da UTET Editore –  
Torino (vedi ologramma)

Trattato di Medicina Fisica e Riabilitazione

# DALLA FUNZIONALITÀ ALLA PIENA EFFICIENZA.

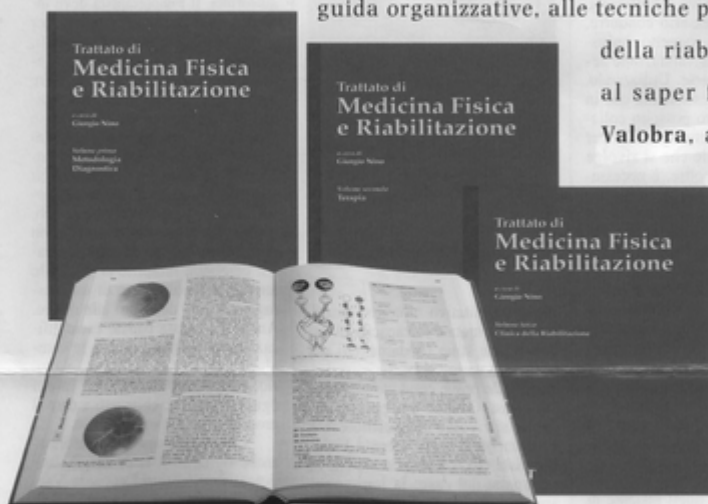
Il Trattato di Medicina Fisica e Riabilitativa si pone come il punto di riferimento clinico nella moderna editoria specializzata per i professionisti della Riabilitazione.

Partendo dalla centralità del paziente, l'opera si articola organicamente nei suoi quattro volumi trattando tutti gli aspetti dell'attività riabilitativa: dai problemi metodologici, alle linee

guida organizzative, alle tecniche più attuali. Per affrontare il percorso

della riabilitazione in profondità, dal sapere al saper fare. Coordinato da Giorgio Nino Valobra, al trattato hanno collaborato più di

150 autori, fra i maggiori esperti italiani e internazionali.



## PIANO DELL'OPERA

- Parte I** Metodologia. Le ragioni del fare  
**Parte II** Materiali e metodi  
Sez. I - Valutazione  
Sez. II - Terapia  
**Parte III** Clinica della riabilitazione  
**Parte IV** Organizzazione e linee guida  
Sez. I - Organizzazione  
Sez. II - Linee guida  
Sez. III - Normativa

## A CHI SI RIVOLGE

### Medici specialisti:

- Fisiatri • Ortopedici e traumatologi • Medici dello sport • Chirurghi ortopedici • Internisti • Neurologi

### Professionisti della Riabilitazione:

- Fisioterapisti • Logopedisti • Ortottisti • Audiometristi • Terapisti della neuropsicomotricità e dell'età evolutiva • Terapisti occupazionali • Psicomotricisti

### Professionisti di Scienze Motorie e Preparatori Atletici



## MUSICA IN STUDIO: UN OMAGGIO PER LEI!

Richiedi subito ulteriori informazioni su Il trattato di Medicina Fisica e Riabilitazione: riceverà in omaggio\* un CD di musica ambient e new age.

Numero Verde  
**800-580.000**  
DAL LUNEDÌ AL  
VENERDÌ 9.00 - 19.00

Spedire in busta chiusa a: UTET - DIREZIONE MARKETING - Corso Raffaello, 28 - 10125 TORINO, o inviare via Fax allo 011.20.99.395

☐ SÌ Desidero ricevere la visita di un Agente Utet per avere ulteriori informazioni, senza alcun impegno da parte mia, sulle opere del Trattato di Medicina Fisica e Riabilitazione. In tale occasione mi verrà consegnato in omaggio\* il CD Musica in studio.

Con la compilazione del presente coupon acconsento al trattamento e alla comunicazione dei miei dati personali al fine di ricevere successive ed esaurienti informazioni sulle attività editoriali e commerciali del Gruppo UTET. Sarà mia facoltà revocare tale consenso in qualsiasi momento scrivendo al vostro Responsabile Dati, come previsto dall'art. 13 della legge 675/1996.

\*Offerta valida solo per l'Italia. Fino ad esaurimento scorte e secondo disponibilità. Scade il 31/12/2000

Nome	Cognome
Professione	
Indirizzo	N°
Località	Provincia CAP
Tel. abitazione	Tel. ufficio
Fax	Cellulare
E-mail	

# 81 Magnetoterapia

FRANCO MISSOLI

## Cenni storici

Le conoscenze dell'uomo sugli effetti del campo magnetico per la cura delle più svariate patologie, risalgono ai tempi più antichi.

In India si trovano tracce che indicano la magnetite come minerale capace di prolungare la giovinezza e di aumentare la bellezza fisica.

Quanto agli Egizi il "ferro meteorico", pur dotato di debole attività magnetica, era conosciuto ed è stato usato in terapia per 4000 anni.

Gli effetti curativi dei campi magnetici erano conosciuti dai Greci e dai Romani, i primi conoscevano la magnetite al punto che è documentato l'uso che ne faceva Ippocrate nell'attenuare i dolori in campo ginecologico, mentre tra i secondi, Caio Plinio Secondo (23-79 d.C.) suggeriva nelle sue opere l'uso della magnetite nelle affezioni oculari (oggi possiamo convalidare la sua metodologia in quanto sappiamo che i bastoncelli della retina sono i recettori dell'occhio più sensibili ai campi magnetici), nelle ustioni, nei disturbi urinari, nelle perdite vaginali e nelle ulcere.

Una notizia che ci viene da sant'Agostino, il quale ci parla di una statua sospesa in aria nel tempio del dio egizio Serapide ad Alessandria. Potrebbe essere la statua di ferro raffigurante la regina Arsinoe, della quale Plinio racconta che fu l'architetto Dinocrate a proporre a Tolomeo Filadelfo di erigere ad Alessandria un tempio, la cui volta, formata interamente da magneti (si presume naturali), doveva sostenere una statua di ferro raffigurante la regina. In quel tempio carico di "energia magnetica" si curavano gli ammalati. Una forza oscura e misteriosa come quella magnetica, non poteva non venire attribuita alla stessa divinità, al pari di tutto quanto riuscisse inspiegabile, come le malattie e le catastrofi naturali. In questo tempio i sacerdoti furono i primi "medici internisti" dedicati alla cura dei mali inesplicabili, mentre i "chirurghi", all'esterno dei templi, si occupavano delle ferite e delle lesioni visibili in superficie. L'impiego del magnete nella cura delle malattie, fu sempre accompagnato da notevoli deformazioni concettuali di ordine mistico.

In Persia, un medico del X secolo di nome Ali Abbas, nel suo volume "Opera omnia dell'arte medica", descrive il magnete quale mezzo per la cura della gotta.

Il termine "magnetismo" è stato usato per la prima volta da Agrippa di Nettesheim nel 1531 nella sua opera (*De occulta philosophia*).

In India, nel 1550 si trovano tracce che indicano la magnetite come minerale capace di prolungare la giovinezza e di aumentare la bellezza fisica.

Nel XVI secolo, il famoso alchimista Paracelso, prescrisse sovente cure "magnetiche" ai suoi pazienti, pur non sapendone spiegare la natura. Nel XVIII secolo, Maximilian Hell suggerì che i magneti dovevano entrare ufficialmente a far parte delle cure mediche dell'epoca. Nei secoli scorsi la calamita era usata non solo come potente antimalocchio, ma come conferma un manoscritto di A. Zumaglini ("Note di farmacia e chimica", 1838) era utilizzata come tranquillante: «... Specifico per calmare la palpitazione del cuore, anzi per guarire dalla palpitazione del cuore, si metta al collo appesa a una funicella, in un sacchetto di tela, una piccola calamita di ferro, in maniera che arrivi alla parte del cuore, e fermandola con una benda, e tenendola giorno e notte fino a tanto che cessi la palpitazione, il che si ottiene in pochi giorni».

De Harsu (*Gazette Salulaire* 1776, n. 33, cfr., *Journal Encyclopédique* 1776-1779) riferisce di se stesso: «... 46 anni, da 5 anni estremità inferiori paralizzate, disturbi vari da mancanza di movimento, piedi e gambe fredde. Applicati 5 magneti sotto i piedi e altre parti: non ho avuto più bisogno di bottiglie d'acqua calda. I miei piedi e le cosce sono sufficientemente caldi, digerisco sempre meglio e l'aloe, di cui non potevo fare a meno da 7-8 anni, non è più necessaria per farmi evacuare».

De la Roche (Ginevra) nel 1778 decanta l'efficacia del magnete nel provocare senso di calore e sudorazione, nel regolare le mestruazioni, nell'attenuare i dolori. Un medico americano, Elisha Perkins, nel 1776 brevettò una apparecchiatura chiamata "Apparato metallico di Perkins per la terapia del dolore". Sembra che anche George Washington abbia provato tale apparecchio. Poco più tardi un tale di nome Goylord Wilshire brevettò un apparecchio "ionico", con il quale si sarebbe dovuto magnetizzare il sangue e guarire molti malanni. In un brevetto del 1869 si descriveva una spira elettrica da applicarsi intorno al corpo del paziente. Questo corsetto magnetico, avrebbe dovuto guarire i disturbi cardiaci, disturbi cerebrali e patologie neurologiche varie. Negli anni successivi comparvero numerose domande di brevetto: cappelli magnetici, purtroppo venduti in farmacia anche ai giorni nostri (dovrebbero far rinascere i capelli, sic!), sedie magnetiche, medaglioni magnetici (anche questi presenti ai giorni nostri con un business multimilionario).

Questo è il momento delle riscoperte. Il tempo che trascorre tra il momento di una scoperta e il suo inserimento nel campo del sapere consolidato, che apre la strada al suo impiego scientifico e pratico, può essere tanto lungo da rendere necessaria una riscoperta che rivaluti quella originale. Più spesso, l'interpretazione corretta della scoperta è fatta soltanto dal nuovo scopritore al quale la storia attribuisce il merito.

Ai nostri giorni, il campo magnetico è indispensabile per immagazzinare l'antiprotone, in quanto quest'ultimo deve essere immagazzinato in un contenitore senza pareti. Queste ricerche tecnologiche hanno avuto una ricaduta pratica anche in medicina, in quanto tutto il sistema, ora brevettato da Gerald Gabrielse della Harvard University, ha portato allo sviluppo di una macchina per la ricostruzione di immagini spaziali con la spettroscopia di massa con risonanza ionica di ciclotrone: una bella accoppiata tra scienza pura e tecnologia, che perseguendo obiettivi di fisica fondamentale ha sollecitato a tal punto la tecnologia facendone emergere applicazioni pratiche. Attualmente l'obiettivo più ambizioso nella fisica delle alte energie è la ricerca finalizzata alla produzione di energia elettrica mediante fusione nucleare controllata, tecnica per la quale si vedrà necessaria la costruzione di grandi magneti. Queste ricerche hanno comportato un enorme fall-out di conoscenze nel campo della produzione dei campi magnetici e del controllo degli stessi, che certamente avrà una ricaduta positiva anche nello specifico della magnetomedicina.

## Descrizione della strumentazione impiegata

Negli ultimi anni sono stati ottenuti notevoli successi in fisioterapia, con l'impiego dei CMP-ELF (Campi

Magnetici Pulsati – Extremely Low Frequency). Questi risultati hanno accresciuto l'interesse dei biologi verso una più approfondita conoscenza del meccanismo di azione dei CMP-ELF e contemporaneamente hanno suscitato l'entusiasmo dei clinici che li hanno applicati con maggior frequenza.

Purtroppo, i vari ricercatori hanno sperimentato i CMP-ELF utilizzando un protocollo non normalizzato. Così alcuni hanno impiegato campi generati da segnali ad onda rettangolare, altri sinusoidale, altri ancora semisinusoidale e pulsati o alternati e con frequenze le più disparate; mentre l'ampiezza del campo è stata impostata dal valore qualche gauss fino a diverse migliaia di gauss.

Questo modo di procedere ha reso impossibile il confronto dei risultati ed impedito l'astrazione di concetti generali da applicarsi poi nella pratica clinica. Nella pratica clinica, invece, già da molti anni viene utilizzata la magnetoterapia, ma il suo impiego e la sua corretta collocazione in fisioterapia sono relativamente recenti. Vi è una notevole confusione in merito alle diverse apparecchiature: sul mercato si trovano apparecchi eterogenei sia come concezione sia come principio di funzionamento. Questo comporta una difficoltà di valutazione dei risultati clinici in rapporto al tipo di apparecchiatura impiegata, senza contare le diverse tecniche di applicazione.

## Apparecchiature

Si definisce apparecchio per magnetoterapia un dispositivo elettronico che genera un campo prevalentemente magnetico. Questo campo è caratterizzato da:

- a) intensità;
- b) andamento;
- c) frequenza;
- d) forma d'onda.

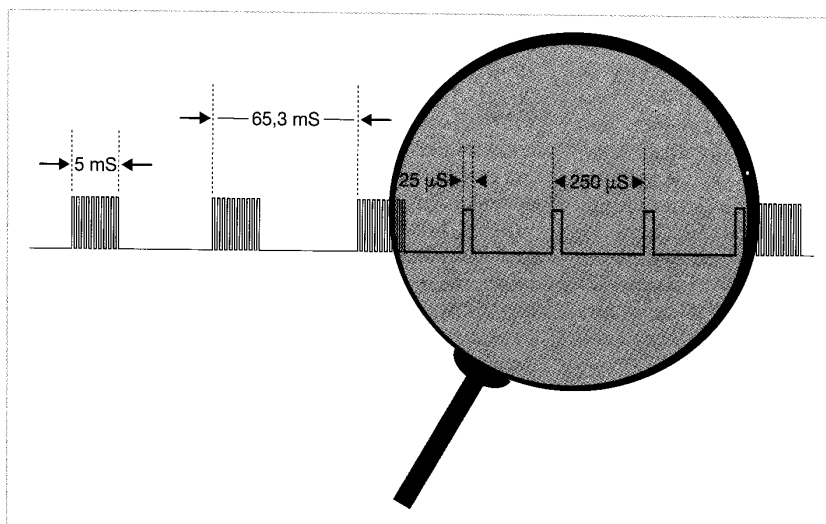


Fig. 81. I Treni d'onde, secondo Basset, da applicare agli amplificatori di potenza, le cui uscite generano segnali adatti a pilotare i magnetotrasduttori.

## Tipo di campo magnetico

I campi magnetici comunemente impiegati in magnetoterapia sono di tipo pulsante; pulsante significa che l'onda di bassa frequenza modula l'onda di frequenza più alta. In figura 81.1 è riportata la forma d'onda di Bassett dove si può notare l'emissione di treni d'onda separati da intervalli di emissione nulla a loro volta opportunamente modulati. Si utilizzano questi intervalli di tempo sia per permettere l'accomodamento cellulare, sia per far sì che la componentistica elettronica e/o elettrica – nella fattispecie lo stadio di potenza di uscita e il trasduttore – possano dissipare la notevole energia termica che il sistema inevitabilmente produce.

## Come si generano i CMP-ELF

Ad una prima analisi superficiale, utilizzando l'attuale tecnologia elettronica, sembrerebbe abbastanza semplice produrre i CMP-ELF usati in magnetoterapia. È sufficiente infatti, far circolare una corrente in un conduttore, o meglio in un solenoide (che chiameremo *magnetotrasduttore*), per ottenere un campo magnetico. Il trasduttore elettromagnetico non è semplicemente un solenoide, cioè una normale bobina composta da un certo numero di spire, ma una speciale bobina, molto ben calcolata e dimensionata, capace di fornire un flusso magnetico in grado di raggiungere una certa profondità in modo uniforme e su una zona ben delimitata. Il magnetotrasduttore è di difficile costruzione, in quanto come si può dedurre dalla relazione:

$$H = \frac{n \cdot I}{L}$$

che esprime l'intensità del campo magnetico  $H$  in funzione di:  $n$  numero delle spire che compongono il solenoide,  $I$  intensità di corrente che scorre nel filo dell'avvolgimento che forma il solenoide (in ampere), e  $L$  è la lunghezza del solenoide (in metri). Da tale relazione emergono alcuni concetti importanti e precisamente: l'intensità del campo aumenta in proporzione diretta col numero delle spire formanti il solenoide e con l'intensità di corrente circolante.

Inoltre poiché al centro del solenoide:

$$H = \frac{n \cdot I}{2 \cdot r}$$

in cui  $r$  è il raggio del solenoide.

Si deduce che per avere campi elevati:

- il numero delle spire deve essere elevato;
- il diametro del solenoide deve essere piccolo;
- la lunghezza del solenoide deve essere contenuta.

Qui sorgono le prime difficoltà: se la corrente circolante nel solenoide deve essere elevata, il conduttore di conseguenza, deve avere una sezione elevata e pertanto il solenoide, anche avendo dimensioni ragguardevoli, non potrà avere un numero di spire elevato. Se il magnetotrasduttore ha grandi dimensioni, il

campo generato sarà modesto. Se si cerca invece di aumentare la corrente nel circuito applicando una elevata differenza di potenziale, a causa della resistenza del conduttore, si provoca un riscaldamento dell'avvolgimento con conseguente enorme dispendio di energia termica.

L'avvolgimento d'altra parte, se riscaldato, aumenta la propria resistenza facendo diminuire la corrente e di conseguenza anche il campo. Come avrete compreso, per risolvere, almeno in parte, i problemi tecnico costruttivi inerenti il magnetotrasduttore, bisognerebbe utilizzare un conduttore a bassa resistenza, molto più bassa di quella posseduta dai normali conduttori di rame o leghe d'argento. La moderna metallurgia, mediante la tecnologia delle leghe ad alta conducibilità elettrica, ci permette di superare, almeno in parte, le prime difficoltà progettuali inerenti la resistività elettrica del magnetotrasduttore, ma altre difficoltà insorgono e queste sono di natura propriamente elettrica.

Nel produrre campi magnetici variabili, come quelli necessari per la magnetoterapia con CMP-ELF, insorgono anche i seguenti problemi tecnici:

a) produzione di calore per effetto Joule;

b) presenza di forze controelettromotrici indotte dovute alla componente induttiva del solenoide.

Le forze elettromagnetiche indotte sono la causa della notevole difficoltà di pilotaggio in corrente dei magnetotrasduttori; infatti il legame tra tensione applicata e corrente circolante, non è più di semplice proporzionalità diretta come dettato dalla legge di Ohm che stabilisce:  $V = R \cdot I$  ma dipende da relazioni più complesse. Infatti, l'andamento della tensione variabile che pilota il generatore di corrente per il magnetotrasduttore deve essere proporzionale alla derivata rispetto al tempo della corrente nel solenoide. La forma d'onda della tensione inviata al generatore di corrente sarà molto diversa dalla forma d'onda della corrente che verrà applicata al solenoide (vedi Fig. 81.6). Il fenomeno dell'autoinduzione è anche causa, a parità di tensione applicata, della diminuzione dell'intensità della corrente, con l'aumentare della frequenza. Tralasciando le formule matematiche che regolano i generatori di corrente, sono comunque intuitibili le difficoltà incontrate nella progettazione di un generatore di campi magnetici con forme d'onda e frequenze variabili entro un intervallo ben definito. Come già accennato in precedenza, le conoscenze tecnologiche dovute alle applicazioni dei campi magnetici in altri settori (lievitazione magnetica dei treni, acceleratori di particelle, ecc.), hanno favorito enormemente la risoluzione di questi problemi che sarebbero rimasti insoluti.

## Misura del campo magnetico

La misura accurata, sia per quanto riguarda l'intensità del campo, sia per l'analisi della forma d'onda, è molto difficile; d'altra parte, solo con misure accurate si è in grado di stilare protocolli univoci e attendibili. A tale proposito l'ISO (International Standard Organisa-

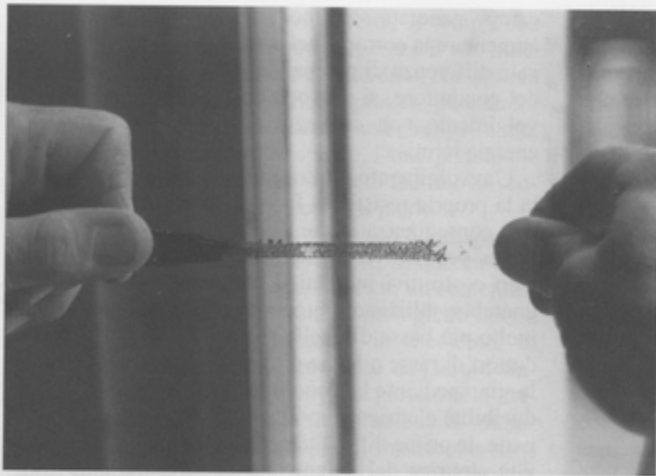


Fig. 81.2 Nastro magnetico "stirato".

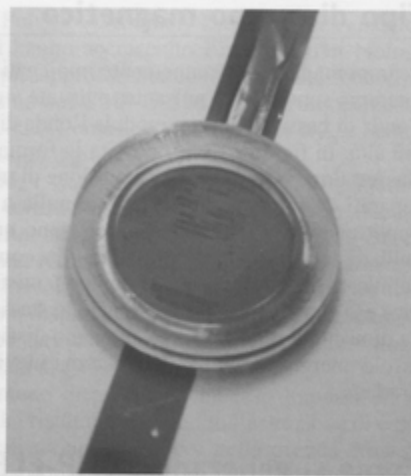


Fig. 81.3 Lente magnetica.

tion) e il CEN (Comité European de Normalisation) stileranno in un prossimo futuro le norme a cui tutti si dovranno attenere per le misure. È comunque già in corso da parte dell'ISO e con il contributo dello scrivente, la stesura di una bozza della norma. La mia esperienza in queste procedure suggerisce che ci vorranno ancora alcuni anni per l'emissione della norma definitiva e la relativa pubblicazione. Le norme ISO sono estremamente severe e restrittive, a tutto vantaggio dell'utilizzatore (persino le tastiere per l'introduzione dei comandi saranno normalizzate). Questo vuol dire, in parole povere, che le macchine per magnetoterapia prodotte in futuro, avranno tutte le medesime caratteristiche elettriche e ergonomiche, senza contare la normalizzazione più importante riguardante l'emissione del CMP-ELF.

Per chi non ha a disposizione una sofisticata attrezzatura per la misura dei CM, e ha bisogno solo di controllare l'emissione del campo, può procedere empiricamente nel seguente modo: si procuri uno spezzone di nastro magnetico, lungo circa 8-10 cm e largo un quarto di pollice dotato di una coercività di 2700-4000 oersted, e precisamente il nastro usato per la fabbricazione delle tessere a banda magnetica per il controllo degli accessi, tenendolo stretto tra le dita delle due mani, lo stiri con forza (Fig. 81.2) fino ad allungarlo al limite della rottura. Così facendo, il materiale magnetico depositato sul supporto in poliestere, si sfoglierà ma rimarranno attaccate al nastro ancora molte particelle aghiformi di ossido magnetico. Posizionando questo nastro così trattato nei pressi della testa di emissione del campo, si noterà la presenza del CMP, in quanto l'ossido rimasto sul nastro tenderà a "seguire", orientandosi in varie direzioni, la variazione del CM. Con un po' di pratica, sarà anche possibile misurare otticamente, in modo evidentemente approssimativo, anche l'intensità del campo.

### Frequenza di emissione dei campi

Gli apparecchi che inducono un campo prevalentemente magnetico operano tutti con frequenze molto basse, inferiori a 100 Hz. Solo entro questo limite si può considerare prevalente il vettore  $B$  sul vettore intensità del campo elettrico associato  $E$ , da cui la dizione consueta di campi magnetici a bassa frequenza. Restando in questo ambito, vi sono apparecchi che operano con una sola frequenza fissa (50 Hz) e altri in cui la frequenza può essere variata (con due sole possibilità, 50 e 100 Hz, o con tutte le possibilità comprese in questo intervallo). Ritengo importante chiarire questo argomento in quanto la variabilità della frequenza oltre a quella, sicuramente necessaria, dell'intensità, introduce un'altra variabile che contribuisce non poco alla difficoltà di normalizzazione dei trattamenti. Bisogna poi considerare attentamente se la variabilità della frequenza sia veramente utile o no. Vediamo perché dovrebbe essere preclusa all'operatore, la possibilità di variare la frequenza di emissione. Un esempio tipico è l'inclusione del calcio<sup>45</sup> in linfociti umani in cui è stato riscontrato un effetto di risonanza, cioè di maggiore o minore incorporazione del radionuclide, a seconda dell'intensità di campo alla frequenza di 14,27 Hz. Più di recente, il dott. Lednev di Puschino (Russia) ha riferito che la fosforilazione della miosina, comprendente una proteina avente legami con il calcio, risultava aumentata quando il sistema in reazione veniva contemporaneamente esposto al campo magnetico terrestre e ad un campo magnetico di 16 Hz. Come avete avuto modo di notare in figura 81.1 Bassett modula l'onda di frequenza più alta con una bassa frequenza di 15,3 Hz, pertanto compresa tra 14,27 Hz, corrispondente alla risonanza del calcio<sup>45</sup>, e 16 Hz della miosina. Inoltre, come si può notare in figura 81.4, lo spettro di emissione generato dal segnale di Bassett, copre una fascia abba-

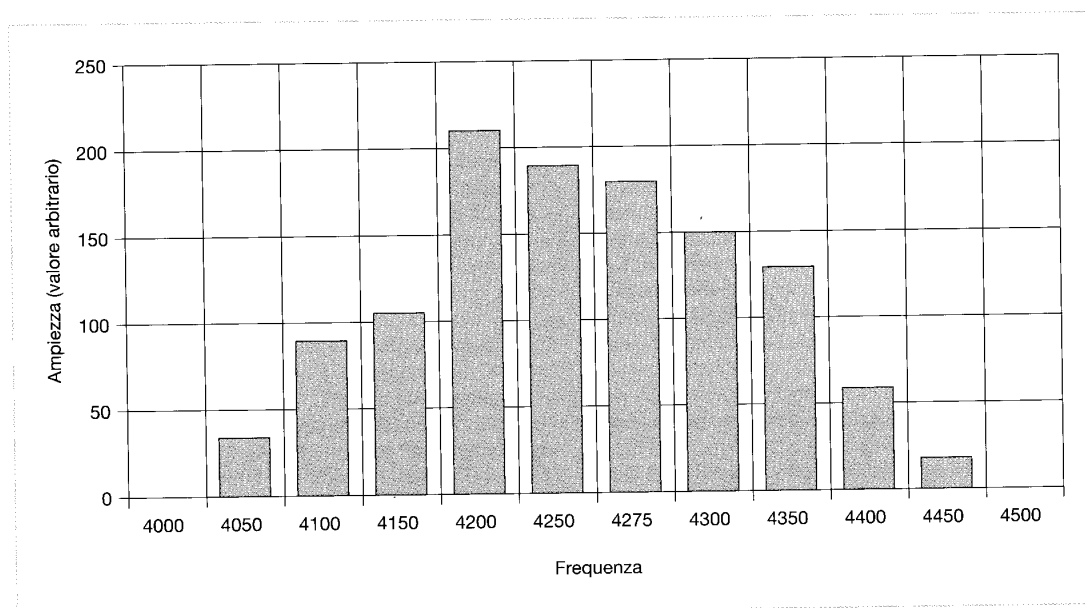


Fig. 81.4 Analisi armonica espansa in serie di Fourier del segnale applicato ai magnetotrasduttori, secondo Bassett.

stanza larga di frequenze. Ho seri dubbi sull'efficacia terapeutica di apparecchi che generano campi magnetici a 50 o 100 Hz; con molta probabilità tale frequenza è stata scelta per motivi di semplicità costruttiva in quanto sia il 50 Hz sia il 100 Hz sono ricavabili facilmente dalla rete elettrica di alimentazione.

Seri dubbi nutro anche sull'efficacia terapeutica di tutti quegli apparecchi i cui costruttori dichiarano un'emissione di intensità pari a 100-300 gauss; intensità di campo che è possibile generare ma con adeguate e rispettive potenze elettriche prelevate dalla rete di alimentazione. Se si va a leggere la targhetta con

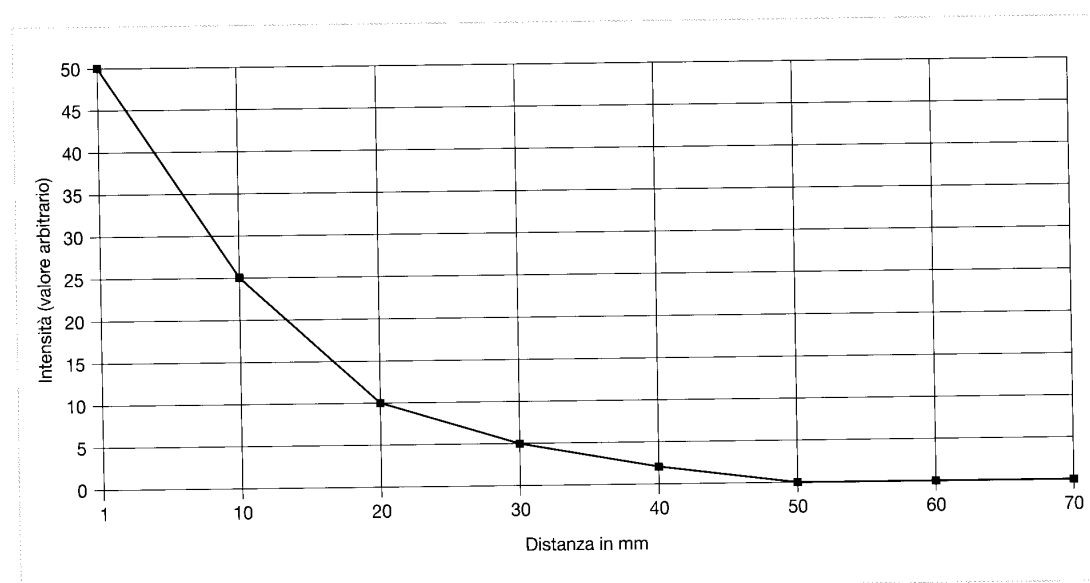


Fig. 81.5 Intensità di campo in funzione della distanza dal magnetotrasduttore.

le indicazioni inerenti la potenza assorbita dalla rete elettrica, si scopre che tutti gli apparecchi assorbono dai 20 ai 30 VA. Orbene, in virtù di quale nuova scoperta di fisica funzionano questi apparecchi? Come si può assorbire dalla rete elettrica una potenza di 30 VA e contemporaneamente generare in uscita una potenza di 3000 Watts. Con 20-30 VA assorbiti sulla rete elettrica, al massimo si possono generare (escludendo pure le perdite inevitabili) 2 gauss, misurati a contatto; poi se la misura viene fatta a vari centimetri, tale è la distanza degli organi da colpire, l'intensità del campo si riduce drasticamente (Fig. 81.5).

### Forma d'onda

I campi magnetici utilizzati a scopi terapeutici sono essenzialmente:

- a) semisinusoidale ad una semionda;
- b) semisinusoidale a due semionde;
- c) sinusoidale alternato;
- d) rettangolare continuo e/o modulato con fronti di salita ripidi.

Come già detto in precedenza, sia la frequenza di 50 Hz, sia di 100 Hz, sia le elementari forme d'onda, sono state scelte per favorire enormemente la semplicità costruttiva, la progettazione e la sua ingegnerizzazione. Bassett aveva ipotizzato (Fig. 81.1), sin dal 1966, come doveva essere la forma d'onda, ma, in quell'epoca, la tecnologia elettronica non permetteva la realizzazione di apparecchiature che generassero campi con forme d'onda di tale tipo – per lo meno con emissione magnetica accettabile –. Oggi, con la moderna tecnologia elettronica di potenza è possibile realizzare campi magnetici di intensità sufficienti a sollevare una persona. In particolar modo con l'utilizzo dei componenti di potenza quali gli IGBT pilotati da una elettronica ad intelligenza artificiale (logiche “fuzzy”), si possono generare CMP-ELF i cui fronti di salita sono molto brevi. (Si ricorda che per tempo di salita si intende il tempo impiegato da un segnale rapidamente variabile per passare dal 10 al 90% del suo valore massimo). Una forma d'onda come in figura 81.6(b), prelevata con una sonda di Hall nel centro del solenoide, è molto difficile da ottenere, ma d'altronde è l'unica che produrrà, quasi sempre, CMP-ELF con effetti terapeutici efficaci. Un campo magnetico rapi-

damente variabile può indurre, per la legge di Faraday-Neumann, in un conduttore anche modesto quale è il tessuto umano, delle correnti che sono state invocate nei tentativi di spiegazione dei risultati terapeutici. Infatti la legge di Faraday-Neumann enuncia: «In un circuito la f.e.m. indotta  $e$  è direttamente proporzionale alla variazione del flusso di  $\vec{B}$  concatenato con il circuito e inversamente proporzionale all'intervallo di tempo in cui avviene la variazione

$$e = - \frac{\Delta \Phi_B}{\Delta t}$$

(Il segno negativo serve a precisare il verso della f.e.m. indotta.)

Sotto queste ipotesi l'importanza del tempo di salita e la frequenza del campo può apparire addirittura prevalente sulla sua intensità.

### Intensità paramagnetica

Corrisponde al prodotto dell'intensità  $H$  per il gradiente di un campo magnetico. Si esprime in  $\text{Oe}^2/\text{m}$  (o  $\text{cm}$ ) ed è una misura di efficacia che riguarda solo quegli apparecchi che generano un campo magnetico omogeneo con una componente disomogenea. La sua importanza è rappresentata dal fatto che esercita una funzione di accelerazione sulle particelle che sono più “paramagnetiche” o “diamagnetiche” di quelle circostanti, mentre un campo magnetico solo omogeneo non esercita tale forza.

Pur essendo questo un parametro molto importante, nessun costruttore di apparecchiature per magnetoterapia, ne dichiarano il valore.

### Effetti fisiobiologici

Molti ricercatori sono stati stimolati dall'osservazione sperimentale e clinica dei CMP-ELF che svolgono su numerosi e diversi tessuti dell'organismo animale e dell'uomo. I ricercatori cercano di illustrare il meccanismo dei CMP-ELF sulle cellule di diversi tessuti. Dal tessuto epiteliale, a quello nervoso, dal tessuto collagene in tutte le sue diversificazioni anatomofunzionali, al tessuto muscolare liscio: in sintesi a ogni tipo di cellula sottoposta a sperimentazione si otten-

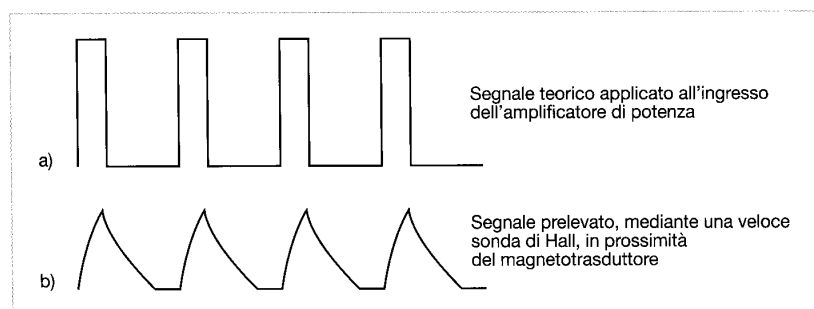


Fig. 81.6 Confronto tra segnale elettrico teorico e segnale reale.



gono risultati in favore dell'affermazione «i CMP-ELF influenzano l'attività di elementi e/o strutture cellulari».

Negli ultimi anni sono stati ottenuti notevoli successi con l'impiego dei CMP-ELF nella terapia di osteopatie e di artropatie che hanno accresciuto l'interesse dei biologi verso una più approfondita conoscenza del meccanismo di azione dei CMP-ELF e ha acceso l'entusiasmo dei clinici per un maggior uso dei CMP-ELF stessi. Purtroppo, i CMP-ELF sono stati scelti con criteri diversi dai vari ricercatori e si sono usati campi generati da segnali ad onda rettangolare, sinusoidale, semisinusoidale, pulsati, alternati e con frequenze le più disparate; l'ampiezza del campo è compresa da qualche gauss ad alcuni tesla. Questo modo di procedere ha reso impossibile il confronto dei risultati ed impedito l'astrazione di concetti generali da applicarsi poi nella pratica clinica (Tab. 81.1).

La sede principale dell'azione dei CMP-ELF sembra essere la membrana principalmente per questi motivi:

a) i processi flogistici, nei quali è caratterizzata l'alterazione della distribuzione degli ioni ai due lati della membrana, sono tra i processi che più favorevolmente risentono dell'azione terapeutica dei CMP-ELF;

b) i campi CMP-ELF sarebbero capaci di modificare la distribuzione degli ioni ai due lati della membrana cellulare;

c) i CMP-ELF determinano l'orientamento dei dipoli magnetici elementari.

Numerosi atomi del nostro corpo sono in realtà dipoli magnetici elementari: tali dipoli hanno ognuno un proprio orientamento. Quando un atomo avesse una forma diversa da quella sferica, esso presenterebbe almeno due diametri, uno dei quali potrebbe avere dimensioni maggiori e l'altro dimensioni minori rispetto alle dimensioni dei canali della membrana da attraversare. L'atomo potrà passare al di là della membrana, solo presentandosi all'imboccatura del canale con il diametro più piccolo; altrimenti, la possibilità dell'attraversamento dipenderà da qualche influenza capace di modificare l'orientamento dei dipoli. In tal modo, dopo un certo tempo e anche casualmente, il dipolo prima mal orientato sarà in grado di aver libero accesso nella cellula.

Inoltre:

– i CMP-ELF influenzano molti sistemi enzimatici intracellulari e di membrana e i processi di rigenerazione epatica;

– i CMP-ELF modificano la permeabilità della membrana cellulare e quindi l'equilibrio ionico ai due lati della membrana medesima. Infatti, in molte condizioni morbose il potenziale di membrana è alterato rispetto alle condizioni fisiologiche: questa osservazione potrebbe indicare un'alterazione della struttura o dell'organizzazione lipoproteica della membrana cellulare in modo tale che la distribuzione ionica ai due lati della stessa è quanto meno differente rispetto alle condizioni fisiologiche.

Per concludere: è molto probabile che il ripristino

delle condizioni fisiologiche dei tessuti, che prima dell'applicazione dei CMP-ELF erano funzionalmente alterati, siano dovuti a meccanismi diversi e forse tutti possibili e tutti probabilmente responsabili del ripristino funzionale.

Molto sinteticamente la magnetoterapia consiste nell'influire sul comportamento di alcuni tipi di cellule sottoponendole a campi magnetici variabili in grado di indurre, soprattutto a livello di membrana, ed in minor misura a livello di citoplasma, deboli correnti elettriche indotte, d'intensità estremamente più bassa di quella coinvolta nella stimolazione naturale dei tessuti eccitabili. Le cellule che massimamente rispondono a questi deboli segnali elettrici sono quelle dei tessuti connettivi, calcificati o no, come le cellule del tessuto osseo e della cartilagine.

Non è causale che siano proprio queste cellule pronte a modificare il proprio comportamento sotto l'effetto di stimoli elettrici di modesta entità, dato che proprio nell'osso e nella cartilagine già naturalmente arrivano alle cellule (osteoblasti, osteoclasti, osteociti, condrociti) informazioni ed ordini di comportamento sotto forma di deboli segnali elettrici. Quei segnali appunto che nascono nel contesto stesso di questi tessuti sotto forma di potenziali elettrici presenti come biopotenziali statici oppure generati per fenomeno piezoelettrico del collagene come potenziale di flusso quando l'osso o la cartilagine, come avviene nel semplice movimento, o anche in assenza di movimento, per effetto della gravità e del tono muscolare, sono sottoposti a sollecitazione. Siamo in presenza dunque di una sorta di feedback nel quale un trasduttore elettromeccanico naturale (il collagene della matrice organica) tiene elettricamente sotto controllo e regola l'attività cellulare.

Così come i potenziali elettrici che si generano spontaneamente nell'osso e nella cartilagine per effetto di sollecitazioni meccaniche, ubbidendo alla legge fondamentale dell'economia naturale, comandano gli osteoblasti di depositare più osso nelle zone maggiormente sottoposte a carichi compressivi e comandano agli osteoclasti di demolire osso nelle zone meno caricate, così immettendo un osso vivente in un campo magnetico variabile di opportuna frequenza, intensità e forma d'onda, si generano in esso deboli correnti elettriche indotte che mimano quelle naturali e per tali vengono scambiate dalle cellule.

Queste, adeguandosi all'informazione loro trasmessa dal segnale elettrico artificialmente indotto e creduto naturale, a seconda del tipo di segnale e conformemente alle loro caratteristiche funzionali, si metteranno a produrre più osso se sono osteoblasti, a demolirne di più se sono osteoclasti, e comunque modificheranno il loro comportamento metabolico, mettendosi a produrre più proteine od a produrne di meno, a sintetizzare più acidi nucleici o a sintetizzarne di meno, ad attivare o rallentare la sintesi dell'ATP e dell'AMP ciclico, ad accelerare o ridurre le pompe ioniche di membrana.

Sulla base di tale verificata possibilità di influire sul comportamento cellulare con segnali elettrici indotti dall'esterno mediante campi magnetici variabili, si è ipotizzato che l'energia elettrica potesse sostituire

Tab. 81.1 Azione dei CMP-ELF.

	Azione antinvecchiamento tissutale				
	Effetti sul sistema nervoso centrale e periferico				
	Influenze bioenergetiche				
	Effetti sull'infiammazione				
	Effetti sul sangue				
	Effetti sull'apparato digerente				
	Effetti sul tessuto osseo				
Molte azioni vengono svolte tramite mediazione umorale					X
Aumento dell'ampiezza del tracciato elettroencefalografico					X
Azione a livello della membrana degli osteoblasti e sull'effetto piezoelettrico dell'osso	X				
Accentuazione dei dolori ischemici all'inizio		X			
Regolazione della motilità		X			
Aumento degli scambi ionici a livello membranario (mobilitazione soprattutto del Calcio e del Sodio)	X				
Accelerazione della catena respiratoria e delle reazioni enzimatiche				X	
Effetto antalgico					X
Apertura degli sfinteri precapillari con meccanismo d'azione anche neuroormonale		X			
Azione di neuroregolazione a livello del diencefalo, della sostanza reticolare, dell'ipotalamo, del surrene, del fegato e della milza					X
Miglioramento dell'osteogenesi	X				
Vivace produzione e deposizione del collagene con maggior ordinamento ed orientamento strutturale	X				
Aumento della resistenza alla trazione della membrana cellulare				X	
Aumento della mineralizzazione e riattivazione delle cellule in quiescenza	X				
Aumento della correlazione enzima-coenzima ed enzima-substrato				X	
Miglioramento del metabolismo della cute e del connettivo					X
Effetto antiedemigeno			X		
Apporto cariche negative					X
Azione sul collagene					X
Risoluzione dello spasmo muscolare			X		
Effetto organizzativo	X				
Aumento della resistenza ossea	X				
Aumento dell'attività elettrica (di natura elettrochimica) nel focolaio di frattura	X				
Importanti effetti sulla membrana cellulare e sul sistema neurovegetativo descritti in precedenza	X				
Vasodilatazione					X
Modificazioni fisico-chimiche del sangue		X			
Aumento delle immunoglobuline-G e leucocitosi		X			
Modificazione della permeabilità di membrana			X		
Risoluzione dell'edema intra-assonico			X		
Attività batteriostatica			X		
Effetto Hall (su cariche in movimento)		X			
Azione antalgica			X		
Diffusione ioni (principio di Lorentz)		X			
Effetto sulla neuroregolazione ormonale, anche localmente			X		
Normalizzazione della differenza di potenziale tra regione lesa della membrana cellulare e regione normale (vi è uno squilibrio del potenziale di riposo in molte patologie)			X		
Accelerazione dei processi di guarigione dei tessuti molli			X		
Aumento del rendimento mentale e della performance individuale					X
Nel caso di flusso variabile pulsante (come quello arterioso) il campo elettromagnetico è in grado di influenzare la patologia circolatoria		X			
Diminuzione dell'aggregazione nei confronti delle emazie e delle piastrine		X			
Azione a livello della membrana degli osteoblasti e sull'effetto piezoelettrico dell'osso	X				
Modificazioni ultrastrutturali delle pareti capillari		X			
Diminuzione della V.E.S. delle $\alpha_2$ globuline e delle mucoproteine		X			
Effetto sulla pompa sodio-potassio			X		
Nel caso di lesioni trofiche si ottengono sia effetti biomagnetici, con maggior utilizzazione dell'ossigeno, che aumento degli effetti bioelettrici con incremento della proliferazione fisiologica per effetto piezoelettrico		X			
Stimolazione del sistema reticolo-endoteliale e quindi delle difese dell'organismo		X			
Aumento del flusso ematico periferico ed aumento della velocità di scorrimento del sangue		X			
Nessuna variazione è stata dimostrata negli elettroliti plasmatici dopo 20 sedute giornaliere di 30 minuti l'una		X			
Aumento dell'irrorazione vascolare (il deficit di ossigeno è un fattore altamente indiziato nell'etiopatogenesi della pseudoartrosi)	X				
Favorevole azione sui vasi e sul loro contenuto (per campi di scarsa intensità e frequenza)		X			
Normalizzazione della conducibilità elettrica					X
Elevazione del pH, della concentrazione di potassio e dei depositi glicoproteici				X	
Diminuzione della glicemia (soprattutto in iperglicemici), aumento aspecifico delle SGOT, variazioni lievi in più o in meno dell'azotemia		X			

l'energia meccanica nello spingere verso l'osteogenesi cellule del connettivo che non vi fossero orientate, e l'ipotesi si è dimostrata sperimentalmente valida. Infatti, l'induzione di deboli correnti elettriche nel contesto di una frattura recalcitrante alla guarigione rende oggi possibile in circa l'80% dei casi consolidare una pseudoartrosi o accelerare la guarigione di un semplice ritardo di calcificazione. Prove sono in corso presso i laboratori di ricerca ortopedica della Columbia University di New York, per accertare se sia eventualmente possibile con questo metodo anche prevenire o curare l'osteoporosi.

### Risultati clinici

Riferire in questo ambito su tutti i risultati clinici esistenti in letteratura sui CMP-ELF, ottenuti mediante le apparecchiature più diverse e con informazioni lacunose circa i metodi e i mezzi utilizzati, è impresa disperata e probabilmente poco utile. Ritengo importante in questa sede indicare le applicazioni cliniche sulle quali esiste una documentazione attendibile. A questo proposito occorre fare una premessa generale: al giorno d'oggi è arduo se non impossibile, l'approfondimento di materie multidisciplinari da parte di un singolo ricercatore, visto il livello conoscitivo e scientifico raggiunto. Di qui la necessità alla specializzazione con il conseguente atto di fiducia di fronte alle informazioni ed affermazioni in campi tecnico-scientifici diversi. Questo atto di fiducia si deve basare essenzialmente sul prestigio delle fonti e sulla autorevolezza del mezzo di comunicazione usato.

Fatta la necessaria premessa, sulla base degli effet-

ti biologici dei CMP-ELF ampiamente verificati da diversi Autori ed ormai ben noti, l'azione terapeutica dei campi magnetici può essere sintetizzata nelle sue due componenti principali:

- 1) antiflogistica, antiedemigena;
- 2) stimolante la riparazione tissutale.

In questi termini si possono utilizzare oggi sulla base di ben precise documentazioni sperimentali (Fig. 81.7), le quali hanno depurato la magnetoterapia di un certo alone "magico" che ha accompagnato talvolta gli inizi della sua pratica clinica.

### Patologia dell'apparato muscoloscheletrico

È il campo di applicazione più frequente della magnetoterapia.

Occorre comunque sottolineare che:

1) la traumatologia risponde al trattamento in modo eccellente; dal piccolo trauma distorsivo alla grave frattura, con brevissimi tempi di guarigione e con minor incidenza di sequele ed esiti. Il trattamento si esegue con la massima intensità e si protrae sino ad avvenuta guarigione;

2) la reumatologia rappresenta un'indicazione al trattamento in tutte le affezioni di natura infiammatoria; vi sono tuttavia buoni risultati anche nelle forme a prevalente componente degenerativa. A questo proposito è da sottolineare che, sebbene il trattamento sia innocuo, esso può comunque risultare inutile se la diagnosi non è corretta; per fare un esempio, una periartrosi scapolo-omeroale calcificata può rispondere in modo eccellente, addirittura con la scomparsa delle calcificazioni, ma un dolore alla spalla può essere di origine riflessa e richiede un trattamento a livello del-

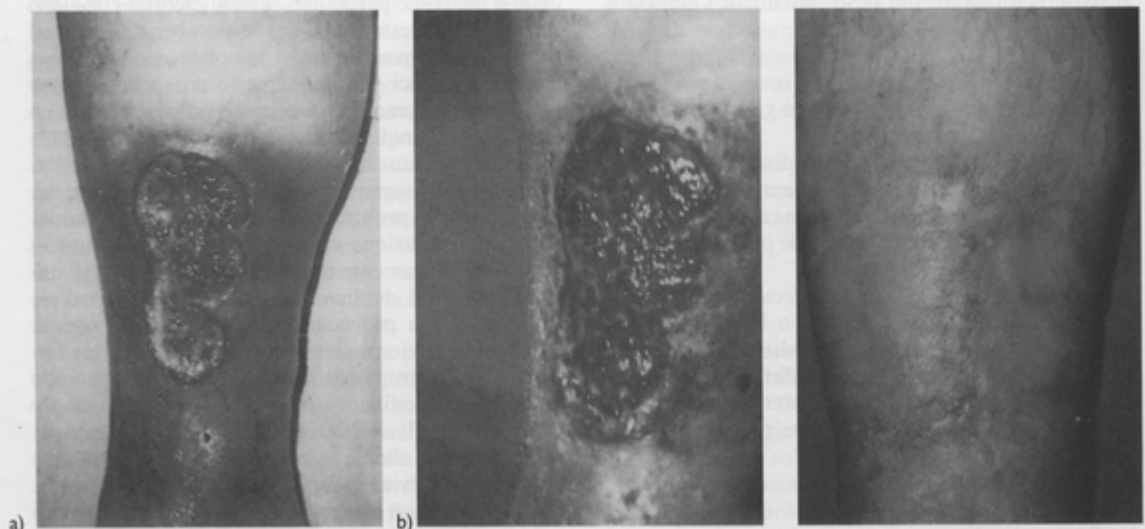


Fig. 81.7 B.A. femmina, anni 72. a) Lesione trofica cutanea presente da 24 mesi. b) Dopo due mesi di magnetoterapia: significativa attivazione dei processi riparativi. c) Dopo 4 mesi di magnetoterapia: completa guarigione. (Per gentile concessione di IGEA s.r.l., Carpi).

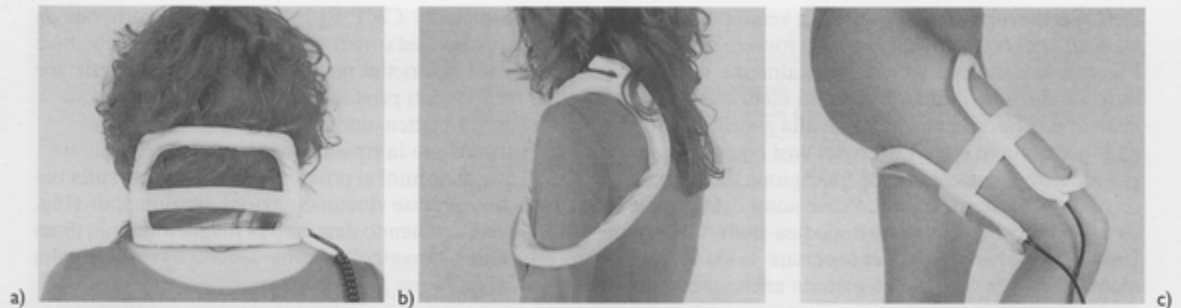


Fig. 81.8 Esempi di applicazione dei magnetotrasduttori. a) Magnetotrasduttore unico applicato su rachide cervicale. b) Magnetotrasduttore unico applicato su clavicola. c) Magnetotrasduttori contrapposti applicati su femore. (Per gentile concessione di IGEA s.r.l., Carpi).

la colonna cervicale (Fig. 81.8). Questo ribadisce la necessità di una corretta valutazione diagnostica del paziente da parte di un medico esperto di magnetoterapia, ma soprattutto di reumatologia.

### Malattie dell'apparato vascolare

1) *Flebopatie*. Si ottengono eccellenti risultati in tutte le forme di flebite e relativi postumi o esiti (in questo caso per quanto attiene all'edema dell'arto). Oltre a ciò, si ha guarigione delle ulcere varicose in circa il 90% dei casi, che raramente recidivano. In questi casi l'intensità del campo magnetico da utilizzare deve essere elevata.

2) *Arteriopatie*. Il trattamento delle arteriopatie ostruttive degli arti inferiori dà risultati molto positivi che si protraggono nel tempo, sia in termini di miglioramenti soggettivi (scomparsa o riduzione della claudicatio) che oggettivi, dimostrabili tramite teletermografia e Doppler. Le intensità da impiegare sono quelle basse e il trattamento deve riguardare l'emisoma.

### Dermatologia

1) *Dermatiti atrofiche*. Rispondono generalmente bene alle intensità.

2) *Psoriasi*. Argomento molto discusso in quanto non è ancora chiaro attraverso quale meccanismo possa agire la magnetoterapia in questo caso. È sicuro che circa il 60% dei casi trattati risponde positivamente alla terapia.

3) *Piaghe mal granulanti e da decubito*. Necessitano di trattamenti molto lunghi con intensità elevate ma si ottengono risultati molto soddisfacenti. È molto probabile che entrino in gioco effetti di membrana sulle cellule paracheratosiche, favorevoli lo sfaldamento e l'assottigliamento delle placche psoriasiche.

### Chirurgia

È dimostrata da tempo l'azione cicatrizzante dei CMP-ELF per cui è indicato il trattamento tempestivo di qualunque tipo di sutura.

### Neurologia

Rispondono molto bene ai CMP-ELF le nevriti chimiche o comunque su base irritativa. Risultati eccellenti si sono ottenuti nel trattamento della neuropatia post-erpetica che necessita di lunghi tempi di cura con le massime intensità possibili, consentendo miglioramenti importanti in una patologia sinora poco trattabile.

### Ginecologia, ORL

Vi è indicazione al trattamento di tutte le forme flogistiche acute e croniche, in associazione o meno con una terapia specifica a seconda dell'eziologia.

### Oncologia

Enormi prospettive sono aperte dalla possibilità di intervenire selettivamente sulla funzionalità di alcune cellule mediante particolari segnali elettrici che siano indotti nel contesto stesso del tessuto bersaglio, con il metodo non invasivo della semplice esposizione a campi magnetici variabili; queste prospettive vanno ben oltre il traguardo di accelerare l'osteogenesi in un focolaio di pseudoartrosi. Si paventa anche la possibilità di influenzare la crescita delle cellule neoplastiche avendo come obiettivo quello di bloccare selettivamente la proliferazione delle cellule trasformate, senza interazione con quelle normali, oppure di indurre selettivamente un tale accumulo di errori, durante le fasi di duplicazione del DNA delle cellule trasformate, da provocare l'autodistruzione, oppure di favorire l'azione chemioterapica di specifici farmaci. Alcuni gruppi di ricerca stanno già operando con questo specifico metodo, ma il tremendo impatto che gli eventuali risultati, o ancor peggio, le false speranze indotte che si eserciterebbero sull'opinione pubblica e l'elevata competizione in atto fanno sì che i dati preliminari non siano ancora resi di dominio pubblico.

Esistono interessanti dati sperimentali che deporrebbero a favore di un'azione antitumorale dei CMP-

ELF, non ancora del tutto chiarita nei suoi meccanismi fisicobiologici, anche se sembrano ipotizzabili effetti sulle membrane cellulari (nel più ampio significato del termine), sulla respirazione cellulare e sulla mitosi. Va tuttavia segnalato che la soglia di danno cellulare da CMP-ELF della cellula neoplastica è decisamente più bassa di quella della cellula normale e che topi con tumore trattati con CMP-ELF hanno una sopravvivenza superiore rispetto ai controlli. Sarà interessante seguire gli sviluppi di queste affascinanti teorie che, allo stato attuale, hanno significato per la sola ricerca sperimentale.

### Tossicità

La comune nozione che la pericolosità per il tessuto biologico delle onde elettromagnetiche è inversamente proporzionale alla lunghezza d'onda risponde già a questo quesito. Considerato che, nell'ordine, gli infrarossi, la radarterapia e marconiterapia hanno lunghezze d'onda enormemente inferiori alla magnetoterapia così come noi l'abbiamo definita, si deduce che questa tecnica è da considerarsi innocua. Sono comunque stati realizzati studi sperimentali in vivo riguardo la tossicità per il feto, la cancerogenicità e la tossicità in genere per i vari parenchimi ed apparati e tutti hanno confermato l'assoluta assenza di tossicità dei CMP-ELF.

Ad ogni modo le cause di esclusione di un soggetto dal trattamento devono essere:

- 1) la presenza di un pacemaker;
- 2) le donne in gravidanza;
- 3) epilessia.

Si è potuto sperimentare che soggetti epilettici in cura con *vigabatrin*, i cui tempi di risposta alle reazioni psicomotorie, misurate con accuratezza con l'apparecchio DVART (Device for Visual and Auditory Reaction Time mod. RE 9306 della Cellograf-Simp S.p.A.), sottoposti a terapie mediante CMP-ELF, hanno modificato in modo casuale i tempi di risposta. È per questo motivo che si devono escludere soggetti epilettici al trattamento, almeno fino a quando non si conosceranno con certezza le interazioni esistenti tra CMP-ELF e epilessia. A questo proposito, un gruppo di ricercatori svizzeri ha dimostrato che esiste un rapporto fra l'esposizione a campi magnetici e crisi epilettiche. L'ipotesi alla base della ricerca propone che piccole particelle di minerale (magnetite, recentemente scoperta nel cervello), possano essere attratte in presenza di campi magnetici e provocare il fenomeno di crisi epilettiche.

I valori di una soglia di tolleranza per le cellule viventi al campo magnetico, nonostante una vasta sperimentazione in vitro e in vivo, non sono ancora stati definiti con sicurezza. Che esista una intensità soglia sembra indubbio; anche se la complessità dei meccanismi di interazione e la grande variabilità dei possibili bersagli rende oggi impossibile fissarne un valore. Vi è inoltre da dire che l'affinamento della sperimentazione biologica sta dimostrando l'esistenza di effetti per valori di campo e di frequenza sempre più bassi,

effetti che non necessariamente corrispondono ad azioni lesive. Si può comunque affermare che i campi magnetici ad uso medico sono a bassa e bassissima intensità (max 350 G). La massima parte delle esperienze cliniche e sperimentali con campi magnetici pulsanti sono state effettuate con intensità comprese tra i 5 e i 100 gauss (si tenga conto che il campo magnetico terrestre in cui viviamo è dell'ordine di 0,5 G). La moderna elettronica permette oggi di produrre campi di intensità rilevante, ma intensità più elevate in terapia richiedono ancora ulteriore sperimentazione. È comunque evidente che le intensità di campo magnetico dimostrate efficaci ad uso clinico sono enormemente inferiori a valori di riconosciuta tossicità cellulare. A questo proposito, riportiamo quanto disposto dal Ministero della Sanità e riportato sulla Gazzetta Ufficiale del 20 agosto 1991, n. 194, riguardo i lavoratori esposti a campi magnetici:

Parte esposta	Intensità di campo	Durata dell'esposizione
Corpo	2000 Gauss	1 ora/giorno
Corpo	20.000 Gauss	15 min/giorno
Arti	20.000 Gauss	1 ora/giorno

### Effetti collaterali

#### Positivi

Sono frequenti e consistono essenzialmente in azione ansiolitica, cenestesizzante, regolante il ritmo sonno-veglia; non è chiaro attraverso quali meccanismi ciò avvenga, ma presumibilmente per azione a livello ipotalamico.

In alcuni pazienti sottoposti a terapia con CMP-ELF per lombosciatalgia, hanno rivelato che l'attività motoria del colon, normale prima del trattamento, ne risultasse esaltata. I pazienti riferivano infatti la comparsa di borborigmi (sensazione soggettiva di accresciuta motilità intestinale) durante le sedute di magnetoterapia e riscontravano, inoltre, per almeno 1-2 mesi dopo la cura, una più regolare ed ottimale evacuazione dell'alvo.

La magnetoterapia è sempre ben accettata dai pazienti sia per la mancanza di effetti collaterali, sia per l'assenza di sensazioni sgradevoli legati a questo tipo di terapia.

#### Negativi

Piuttosto rari e comunque rapidamente reversibili con diminuzione di intensità del CMP-ELF o sospensione del trattamento. Consistono essenzialmente in eretismo psichico, irritabilità, insonnia (specie nei pazienti più anziani) e solo per intensità più elevate.

In alcuni pazienti si è osservato un lieve accentuarsi della sintomatologia algica, limitatamente alle prime sedute, che si è risolta spontaneamente e che comunque non è stata tale da indurre la sospensione della terapia.



## Conclusioni

Si può affermare che la *magnetoterapia con CMP-ELF* è una metodica terapeutica di primo piano in moltissime patologie e consente risultati superiori a qualunque altro tipo di terapia fisica e, spesso anche farmacologica, purché siano rispettate le seguenti condizioni e precisamente:

- 1) accurata diagnosi;
- 2) selezione delle patologie da trattare;
- 3) impiego di apparecchiature idonee;
- 4) corretto impiego delle medesime.

È auspicabile naturalmente una standardizzazione delle apparecchiature e dei trattamenti ed è necessario proseguire sul piano della ricerca sia sperimentale che clinica perché è sicuro che noi oggi non siamo ancora in grado di sfruttare appieno la potenzialità di cura con i campi magnetici. La magnetoterapia è destinata in breve ad assumere il ruolo che le compete nelle

strutture sanitarie in virtù della grande efficacia, dell'assenza di tossicità e dei bassi costi sia di impianto che di esercizio.

L'affacciarsi all'orizzonte medico di nuovi preparati e di nuove possibilità tecniche, grazie alla moderna elettronica (Fig. 81.9), costituisce da sempre momento di grande emozione, legato alla speranza che le innovazioni diagnostiche e terapeutiche possano apportare soluzioni agli infiniti problemi, dubbi e quesiti, che ancor oggi caratterizzano la nostra attività.

Non si deve però scordare che le scoperte debbono essere accettate con estrema cautela, perché l'entusiasmo per le innovazioni tanto desiderate ed attese, può deviare l'orientamento del nostro processo speculativo e tradire l'obiettività dell'osservazione, inducendo alla sottovalutazione degli effetti collaterali non desiderati.

Oggi le applicazioni diagnostiche e terapeutiche di tutti quei tipi di radiazioni elettromagnetiche il cui meccanismo primario di interazione con la materia non consiste in un atto di ionizzazione, ci fanno correre questo rischio.

In un'epoca in cui il processo alle radiazioni ionizzanti induce gravi timori in chi non è adeguatamente informato, la scoperta di soluzioni alternative agli abituali atti terapeutici, suscita inevitabilmente ondate di entusiasmi.

I tecnici, confortati dalla constatazione dell'assenza di danni immediati, stanno lavorando come dei forsenati nella speranza di proporre nuove apparecchiature e aprire nuovi sbocchi di mercato; i medici, a loro volta, si considerano sottratti agli artigli della «radiation hysteria» e finalmente liberi di prescrivere ai propri pazienti terapie fisiche senza limitazioni, senza preclusioni di età e senza timori di danni o responsabilità.

Purtroppo la realtà non è così semplice, in quanto l'assenza di ionizzazione non significa mancanza di effetti biologici; anzi è ben noto che i risultati diagnostici e terapeutici di una qualsivoglia energia fisica si ottengono solo a condizione che siffatta energia interagisca con la materia. Ma è altrettanto vero che non tutti gli effetti biologici sono tali da tradursi inevitabilmente in danni per gli organismi viventi.

Per questo complesso di motivi, il vertiginoso incremento dell'impiego di apparecchiature elettroniche capaci di generare campi elettrici e magnetici non ionizzanti, deve essere accettato con particolare spirito critico.

## Bibliografia

- ALBIANA P., RICCI R., PIOMBO G., *Absence of DNA damage in liver, spleen and kidney of rats after exposure to therapeutic magnetic fields*, IRCS Medical Science, 13: 257, 1985.
- ALTMANN G., *Influsso dei fattori fisici sugli organismi*, Da «Atti del 1° Congresso Internazionale di Magnetomedicina», 19: 33, Rapallo, 27-28 ottobre 1979.

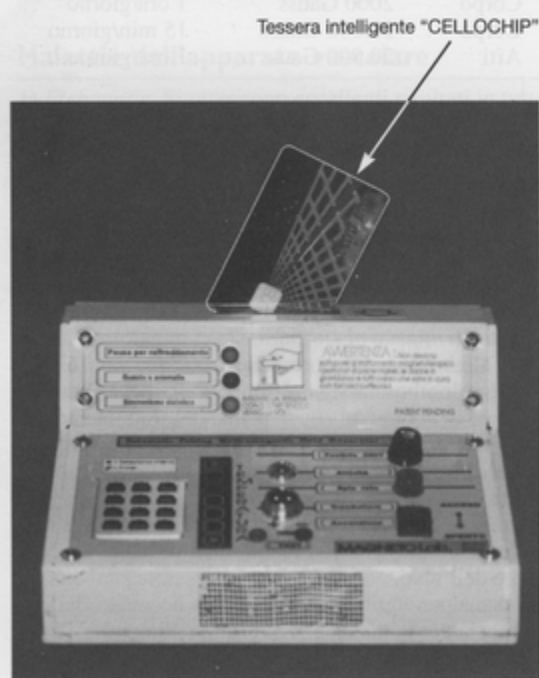


Fig. 81.9 Sofisticata unità di controllo per magnetoterapia in logica "Fuzzy". L'unità di controllo si collega con un PC per ricevere e trasmettere i dati di set-up o di funzionamento; oppure può funzionare in stand-alone. La tessera intelligente "CELLOCHIP", in dotazione al paziente, oltre a contenere i dati anagrafici e clinici, ha anche una zona di memoria dedicata alla registrazione della funzione economico-gestionale: il comportamento funzionale è identico a una normale tessera telefonica a scalare (ad es.: lire/minuto oppure lire/applicazione). Il medico è l'unico che può parametrizzare la tessera paziente (ricetta elettronica), mallevando il fisioterapista da ogni responsabilità. Un collegamento telematico attraverso Internet provvede ad immagazzinare i dati (nel rispetto delle norme sulla privacy) e ad aggiornare il firmware. (Per gentile concessione di Divisione R. & S. CELLOGRAF-SIMP s.p.a., Barzate di Bollate, MI).

- ARISTARKHO V.M., PIRUZYAN L.A., TSYBYSHEV V.P., SIMONYAN S.Z., *Changes in iron content under the influence of a permanent magnetic field in organs and tissues of intact animals and tumor bearing animals*, Investija Akad. Nauk SSSR (Biol.), 11: 429, 1974.
- BAKER R.R., MATHER J.G., KENNAUGH J.H., *Magnetic bones in human sinuses*, Nature, 301: 78-80, 1983.
- BARKER A.T., LUNT M.J., *The effects of pulsed magnetic fields of the type used in the stimulation of bone fracture healing*, Clin. Phys. Physiol. Meas., 4, 1, 1-27, 1983.
- BARNOTHY M.F., *Biological effects of magnetic fields*, Vol. II, Plenum Press, N.Y., London, 1969.
- BASSETT C.A.L., PAWLUK R.J., PILLA A.A., *Augmentation of bone repair by inductively-coupled electromagnetic fields*, Science, 184: 575, 1974.
- BASSETT C.A.L., PAWLUK R.J., PILLA A.A., *Acceleration of fracture repair by electromagnetic fields. A surgically non-invasive method*, Annals New York Academy of Sciences, 238: 242, 1974.
- BASSETT C.A.L., MITCHELL S.N., NORTON L., PILLA A.A., *Repair of nonunions by pulsing electromagnetic fields*, Acta Orthopaedica Belgica, 44: 706-724, 1978.
- BASSETT C.A.L., CHOKSHI H.R., HERNANDEZ E. et al., *The effect of pulsing electromagnetic fields on cellular calcium and calcification of nonunions*, In: Brighton C.T., Black J., Pollack S.R. (eds), Electrical properties of bone and cartilage, experimental effect and clinical applications. New York, Grune & Stratton Inc., 1979.
- BASSETT C.A.L., MITCHELL S.N., *Repair of ununited tibial diaphyseal fractures with pulsing electromagnetic fields*, Orthopaedic Transactions, 4: 96-7, 1980.
- BASSETT C.A.L., PILLA A.A., PAWLUK R.J., *A non-operative salvage of surgically resistant pseudoarthroses and non-unions by pulsing electromagnetic fields: Modification of fracture repair with selected pulsing electromagnetic fields*, Journal of Bone Joint Surgery, 64A: 888-895, 1982.
- BASSETT C.A.L., *Low energy pulsing electromagnetic fields modify biomedical processes*, Bio-Essays, 6: 36, 1987.
- BASSETT L.S., TZITZIKALAKIS G., PAWLUK R.J., BASSETT C.A.L., *Prevention of disuse osteoporosis in the rat by means of pulsing electromagnetic field*, In: Electrical properties of bone and cartilage. Brighton C.T., Black J., Pollack R.S. (eds.), New York, 1979.
- BERSANI F., *Premesse fisiche agli effetti biologici dei campi magnetici*, Da: Atti del 1° Congresso Internazionale di Magnetomedicina. Rapallo, 27-28 ottobre 1979.
- BISTOLFI F., *Campi magnetici in Medicina*, Ed. Minerva Medica, 1983.
- BISTOLFI F., *Campi magnetici in Medicina e Cancro*, Minerva Medica, 1983.
- BROADBENT D.E., BROADBENT M.H.P., MALE J.C., JONES M.R.L., *Health of workers exposed to electric field*, British Journal of Industrial Medicine, 42: 75, 1985.
- CACCIATORE E., CADOSI R., CASELLI G., *Campos electromagnéticos pulsantes de baja frecuencia: su empleo en las enfermedades vasculares periféricas*, Angiologia, 32: 212, 1980.
- CHEN K.M., CHUANG H.R., LIN C.J., *Quantification of interaction between ELF-LF electric fields and human bodies*, IEEE Transaction on Biomedical Engineering, 33: 746, 1986.
- CHIABRERA A., HINSEKAMP M., PILLA A., NICOLINI C., *Electrochemical information transfer from cell surface to chromatin under electromagnetic exposure*, In: Nicolini C.: Chromatin structure and function, part B, 811-840, Plenum Press, 1979.
- CHIABRERA A., GRATTAOLA M., PARODI G., DE BASTIANI G., MARCERC M., MUSATTI G., TAGLIASCO V., *Interazione tra campo elettromagnetico e cellule*, Arti Grafiche Palombi, 1985.
- CONSTANTINESCU D., FELLUS M., *L'action des champs électromagnétiques dans les processus métaboliques*, Congrès Mondial de l'altra Médecina, San Remo, May 1973.
- CONTI P., GIGANTE G.E., CIFONE M.G., ALESSE E., FIESCHI C., ANGELETTI P.U., *Effect of electromagnetic fields on two calcium dependent biological systems*, Journal of Bioelectricity, 4: 227, 1985.
- DEGEN H., *Therapeutic effect of constant and low-frequency alternating magnetic fields*, Vrac. delo. 3: 124, 1971.
- DEGEN H., *Consolidation des fragments d'os dans un champ magnétique constant*, Ortho. Traumat. Proth., 32, 1971.
- ECOCHARD J., MARET G., *Magnetic-field-induced skin-temperature changes of animals originate from modified air convection*, Naturwissenschaften, 74: 39, 1987.
- EDELMAN E.R., BROWN L., TAYLOR J., LANGER R., *In vitro and in vivo kinetics of regulated drug release from polymer matrices by oscillating magnetic fields*, Journal of Biomedical Materials Research, 21: 339, 1987.
- EMILIA G., TORELLI G., CECCHERELLI G., DONELLI A., FERRARI S., ZUCCHINI P., CADOSI R., *Effect of low-frequency low-energy pulsing electromagnetic fields on the response to lectin stimulation of human normal and chronic lymphocytic leukemia lymphocytes*, Journal of Bioelectricity, 4: 145, 1985.
- ENZLER M.A. et al., *Prevention of pseudoarthrosis using magnetic stimulation? Experimental demonstration of Basset's method on beagles*, Unfallheilkunde, 83(5): 188-94, 1980.
- FARNDAL R.W., MAROUDAS A., MARSLAND T.P., *Effects of low-amplitude pulsed magnetic fields on cellular ion transport*, Bio Electro Magnetics, 8: 119, 1987.
- FISHER S.J., DULING J., SMITH S.D., *Effect of a pulsed electromagnetic field on plasma membrane protein glycosylation*, Journal of Bioelectricity, 5: 253, 1986.
- FREY A.H., EICHERT E.S., *Modification of heart function with low intensity electromagnetic energy*, Journal of Bioelectricity, 5: 201, 1986.
- GHOLE V.S., DAMLE P.S., THIEMANN H.P., *Effect of*

- magnetic field on ascorbic acid oxidase activity, *I. Zeitschrift für Naturforschung*, 41: 355, 1986.
- GOLDING G.P., NEUWBOULT L., REES J.M.H., VARLOW B.R., *The effects of 50 Hz magnetic fields on opioid peptide mediated inhibition of guinea pig ileum*, *Neuropeptides*, 5: 357, 1985.
- GOODMAN E.M., GREENEBAUM B., MARRON M.T., CARRICK K., *Effect of intermittent electromagnetic fields on mitosis and respiration*, *Journal of Bioelectricity*, 3: 57, 1984.
- GOODMAN R., HENDERSON A.S., *Some biological effects of electromagnetic fields*, *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 15: 39, 1986.
- GRATTAROLA M., CHIABRERA A., VIVIANI R., PAPODI G., *Interactions between weak electromagnetic fields and biosystems: a summary of nine years of research*, *Journal of Bioelectricity*, 4: 211, 1985.
- GUBBIOTTI A., *Effetto dei campi magnetici pulsanti sulla flogosi dei seni paranasali*, *Atti II Congr. Int. Magnetomedicina*, Roma 1980, pagg. 167-174.
- HAIMOVICI N., *Quattro anni di esperienza con terapia con campi magnetici pulsanti a bassa frequenza in ortopedia e traumatologia*, *Atti II Congr. Int. Magnetomedicina*, Roma 1980, pagg. 29-64.
- HINSENKAMP M., CHIABRERA A., RYABY J., PILLA A., BASSETT C.A.L., *Cell behaviour and DNA modification in pulsing electromagnetic fields*, *Acta Orthopaedica Belgica*, 44: 636-650, 1978.
- IVANOV V., KONDORSKY E.I., SHALYGIN A.N., *About changes in bilayer lipid membrane structure in the magnetic field*, *Biofizika*, 32: 51, 1987.
- JEWETT D.L., BERMAN S.M., GREENBERG M.R., *Effects of electric lighting on human muscle strength-visible spectrum and low frequency electromagnetic radiation; medical and biological effects of light*, *Annals of the New York Academy of Sciences*, 453: 390, 1984.
- JONES D.B., *The effect of pulsed magnetic fields on cyclic AMP metabolism in organ cultures of chick embryo tibiae*, *Journal of Bioelectricity*, 3: 427, 1984.
- JUUTILAINEN J., LIIMATAINEN A., *Mutation frequency in salmonella exposed to weak 100-Hz magnetic fields*, *Hereditas*, 104: 145, 1986.
- KAVALIERS M., OSSENKOPP, *Magnetic fields and stress: day-night differences*, *Progress in NeuroPsychopharmacology & Biological Psychiatry*, 11: 279, 1987.
- KINOUCHI Y., USHITA T., SATO K., MIYAMOTO H., TAMAGUCHI H., YOSHIDA Y., *Design of a magnetic field generator for experiments on magnetic effects in cell cultures*, *Bioelectromagnetics*, 5: 399, 1984.
- KORT J., ITO H., BASSETT C.A.L., *Effects of pulsing electromagnetic fields on peripheral nerve regeneration*, *J. Bone Joint Surg. Orthop. Trans.*, 4: 238-242, 1980.
- KUNTZ W.H., LARTER R., UHEGBU C.E., *Enhancement of membrane transport of ions by spatially nonuniform electric fields*, *Journal of the American Chemical Society*, 109: 2582, 1987.
- LEUCHT T., *Effects of weak magnetic fields on background adaptation in xenopus laevis*, *Naturwissenschaften*, 74: 192, 1987.
- LUCCHESI V., *Variazione di parametri bioumorali in pazienti sottoposti a trattamento magnetico pulsato*, *Atti II Congr. Int. Magnetomedicina*, Roma, 1980, pagg. 149-158.
- LUDWIG H.W., *Biological tolerance of electromagnetic fields*, *Symposium «Electromagnetic Compatibility (EMC)»*, Monteaux, 1977.
- MARKOV M.S., TODOROV N.G., *Electromagnetic field stimulation of some physiological processes*, *Studia Biophysica*, 99: 151, 1984.
- MILHAM S. JR., *Mortality in workers exposed to electromagnetic fields*, *Environmental Health Perspectives*, 62: 297, 1985.
- MOONEY N.A., SMITH R.E., WATSON B.W., *Effect of extremely-low-frequency pulsed magnetic fields on the mitogenic response of peripheral blood mononuclear cells*, *Bio Electro Magnetics*, 7: 387, 1986.
- MOORE B.R., STANHOPE K.J., WILCOX D., *Pigeons fail to detect low-frequency magnetic fields*, *Animal Learning & Behavior*, 15: 115, 1987.
- O'BRIEN W.J., MURRAY H.M., ORGEL M.G., *Effects of pulsing electromagnetic fields on nerve regeneration: correlation of electrophysiologic and histochemical parameters*, *Journal of Bioelectricity*, 3: 33, 1984.
- OLCESE J., REUSS S., *Magnetic field effects on pineal gland melatonin synthesis: comparative studies on albino and pigmented rodents*, *Brain Research*, 369: 365, 1986.
- PARKINSON W.C., *Electromagnetic fields in biological studies*, *Annals of Biomedical Engineering*, 13: 491, 1985.
- PARRENO A., SARAZA M.L., MERCADER J., DELGADO J.M.R., *Reduction of plasma gammaglobulin in rats exposed to weak electromagnetic fields*, *IRCS Medical Science*, 12: 1092, 1984.
- PELUSO F.P., GOOSSENS H., *Contactless nerve stimulation by induction*, *All. for Engng. in Med. & Biol.*, pag. 455, Nov. 1976.
- PHILLIPS J.L., WINTERS W.D., RUTLEDGE L., *In vitro exposure to electromagnetic fields: changes in tumour cell properties*, *International Journal of Radiation Biology*, 49: 463, 1986.
- PILLA A.A., KAUFMAN J.J., *Electromagnetic modulation of cell function: frequency characterization of input waveforms*, *Journal of Bioelectricity*, 3: 3, 1984.
- POLSON M.J.R., BARKER A.T., FREESTON I.L., *Stimulation of nerve trunks with time-varying magnetic fields*, *Med. & Biol. Eng. & Com.*, 20: 243-244, 1982.
- PORSCHKE D., MEIER H.J., RONNENBERG J., *Interactions of nucleic acid double helices induced by electric field pulsed (BPC 00879)*, *Biophysical Chemistry*, 20: 225, 1984.
- RAJI A.R.M., BOWDEN R.E.M., *Effects of high-peak pulsed electromagnetic fields on the degeneration and regeneration of the common peroneal nerve in rats*, *Journal of Bone and Joint Surgery*, 65-B: 478, 1983.
- REUSS S., SEMM P., *Effects of an earthstrength magnetic field*



- tic field on pineal melatonin synthesis in pigeons, *Naturwissenschaften*, 74: 38, 1987.
- ROCARD Y., *Actions of a very weak magnetic gradient. The reflex of the dowser*, In: Barnothy, M. (Ed.): *Biological Effects of Magnetic Fields*. Plenum Press, New York, 1964.
- ROTH J.B., WIKSWO J.P. JR., *The electrical potential and the magnetic field of an axon in a nerve bundle*, *Mathematical Biosciences*, 76: 37, 1985.
- SAALI K., JUUTILAINEN J., LAHTINEN T., *A system for exposing biological objects to variable combinations of electric and magnetic fields*, *Journal of Bioelectricity*, 5: 171, 1986.
- SAHA S., BOCCHINI J.A., SAHA S., ROBERTSON S., *Effect of pulsed electromagnetic fields on the growth of fibroblast cells; biomedical engineering III, recent developments*, Ed. by Louis C. Sheppard, 223, 1984.
- SCHMITT O., *The influence of the electromagnetic field on the activity of phosphate alkaline in immobilized children (author's transl.)*, *Arch. Orthop. Traum. Surg.*, 93(1): 21-24, 1978.
- SCHMIT-NEUERBURG K.P. et al., *The influence of alternating current on the incorporation of autologous cancellous bone grafts in experimental nonunions*, *Unfallheilkunde*, 83(5): 195-201, 1980.
- SCHWARTZ M., FISCHLER, KORENSTEIN R., *Pulsed Electromagnetic fields affect neuritic out-growth from regenerating goldfish retinas*, *Bioelectrochemistry and Bioenergetics*, 12: 243, 1984.
- SIDYAKIN V.G., TEMURYANTS N.A., EVSTAFYEVA E.V., *Biochemical and morphological changes in blood of rats exposed to an infralow frequency alternating magnetic field*, *Kosmicheskaya Biologiya i Aviakosmicheskaya Meditsina*, 20: 90, 1986.
- SISKEN B.F., FOWLER I., MAYAUD C., RYABY J.P., RYABY J., PILLA A.A., *Pulsed electromagnetic fields and normal chick development*, *Journal of Bioelectricity*, 5: 25, 1986.
- STRAUB K.D., CARVER P., *Effects of electromagnetic fields on microsomal ATPase and mitochondrial oxidative phosphorylation*, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 247: 292, 1975.
- STUCHLY M.A., *Human exposure to static and time varying magnetic fields*, *Health Physics*, 51: 215, 1986.
- STUCHLY M.A., STUCHLY S.S., *Measurements of electromagnetic fields in biomedical applications*, *CRC Critical Reviews in Biomedical Engineering*, 14: 241, 1987.
- STURMER K.M. et al., *Electromagnetic fields and alternating current, do they accelerate bone healing?*, *Zentralbl. Chir.*, 104(12): 777-90, 1979.
- TAKAHASHI K., KANEKO I., DATE M., FUKADA E., *Effect of pulsing electromagnetic fields on DNA synthesis in mammalian cells in culture*, *Experientia*, 42: 185, 1986.
- TORBET J., DICKENS M.J., *Orientation of skeletal muscle action in strong magnetic fields (FEBS 1695)*, *Hypothesis*, 173: 403, 1984.
- WAHLSTROM O., *Stimulation of fracture healing with electromagnetic fields of extremely low frequency*, *Clinical Orthopaedics*, 186: 293, 1984.
- WHITSON G.L., CARRIER W.L., FRANCIS A.A., SHIH C.C., GOERGHIOU S., REGAN J.D., *Effects of extremely low frequency (ELF) electric fields on cell growth and DNA repair in human skin fibroblast*, *Cell And Tissue Kinetics*, 19: 39, 1986.
- WILSON D.H. et al., *The effects of pulsed electromagnetic energy on peripheral nerve regeneration*, *Ann. N.Y. Acad. Sci.*, 238: 575, 1974.
- WILSON B.W., CHESSE E.K., ANDERSON L.E., *60 Hz electric field effects on pineal melatonin rhythms, Time course for onset and recovery*. *Bio Electro Magnetism*, 7: 239, 1986.
- ZIEGENBEIN R.W., WESTERMAN R.A., SILBERSTEIN R., KRANZ H., CASSEL J., FINKENSTEIN D.I., BETTESS D., *Effect of electric fields on nerve regeneration and functional recovery in the cat hindlimb; molecular pathology of nerve and muscle*, Edited by Kidman A.D., Humana Press. Inc., 119, 1983.