

L'utilizzo della magnetoterapia nel management delle fratture in acuto: revisione della letteratura

Rita DI CENSO, Sofia TOMASELLO, Mirko FILIPPETTI, Nicola SMANIA, Alessandro PICELLI

Centro di Ricerca in Riabilitazione Neuromotoria e Cognitiva; Sezione di Medicina Fisica e Riabilitativa; Dipartimento di Neuroscienze, Biomedicina e Movimento; Università di Verona, Verona, Italia.

Corresponding Author:

Alessandro Picelli

Email: alessandro.picelli@univr.it

Abstract

In ambito riabilitativo le onde elettromagnetiche sono tra le modalità di terapia fisica maggiormente impiegate per promuovere un effetto antalgico, antiedemigeno e riparativo dei tessuti. Le forme di magnetoterapia principalmente utilizzate a scopo terapeutico in clinica sono i campi elettromagnetici pulsati.

Le principali patologie trattate con l'utilizzo di magnetoterapia sono: osteoporosi, ritardo di consolidamento delle fratture ossee, osteonecrosi, algodistrofia, osteoartrosi, dolore cronico, infiammazione ed edema.

Di seguito forniamo una breve panoramica sulla natura dei campi magnetici e dei loro effetti biologici sul tessuto osseo. A tale proposito, gli studi risultano essere molto promettenti per quanto riguarda la valutazione dei processi biologici che favoriscono la formazione dell'osso e che risultano avere una interazione positiva con i campi elettromagnetici pulsati.

Seguirà una revisione degli articoli presenti in letteratura sull'utilizzo clinico della magnetoterapia per favorire la guarigione delle fratture ossee in acuto, argomento sul quale la letteratura è molto scarsa ma che risulta importante analizzare, tenendo in considerazione che spesso nella pratica clinica la magnetoterapia viene prescritta anche per questa condizione.

I campi magnetici e i loro effetti biologici sull'osso

Un'onda elettromagnetica può essere definita come una perturbazione che si diffonde in tutto l'ambiente circostante, e che trasporta energia nello spazio. L'onda elettromagnetica è caratterizzata dalla presenza concomitante sia di un campo elettrico che di un campo magnetico, i quali sono disposti in modo ortogonale tra loro.

In Medicina Riabilitativa vengono frequentemente utilizzati i campi elettromagnetici pulsati (CEMP), ovvero onde elettromagnetiche a bassa frequenza prodotte da dispositivi contenenti un solenoide, ovvero una bobina costituita da una serie di spire di filo conduttore, percorsa da una corrente elettrica, capace di erogare segnali variabili nel tempo, a bassa intensità e monodirezionali. Per determinate aree corporee (es. estremità) o patologie è possibile utilizzare anche apparecchi con due solenoidi contrapposti per generare CEMP. Negli ultimi anni si è posta attenzione anche sui campi magnetici statici per il trattamento di patologie come la neuropatia diabetica, dolori muscolari idiopatici; tuttavia, il loro impiego non è paragonabile in termini di diffusione a quello dei CEMP.

I parametri di applicazione della magnetoterapia sono i seguenti: forma del segnale (in genere rettangolare, anche se può essere di diverse forme),

duty-cycle (rapporto on-off del dispositivo, valutato come il tempo totale attivo del segnale magnetico rispetto alle pause; è espresso in percentuale del totale tempo di applicazione ed è utile per poter regolare l'intensità media del campo magnetico), intensità, frequenza e durata [1, 2].

L'intensità dei campi magnetici utilizzati in ambito riabilitativo si misura generalmente in Gauss ed è impostata a seconda della problematica da trattare (solitamente al di sotto dei 100 G nel caso di patologie ossee). Per quanto riguarda la frequenza, i valori terapeutici variano tra 1 e 800 Hz. In particolare, si prediligono frequenze inferiori a 100 Hz per avere un effetto trofico, mentre per ottenere anche un effetto analgesico bisogna aumentare la frequenza fino a 350 Hz. Tra 600Hz e 800Hz l'effetto prevalente è quello analgesico. Oltre 750Hz si inizierà ad avere un effetto termico importante.

La magnetoterapia è un trattamento non invasivo, privo di importanti effetti avversi se si tengono in considerazione le controindicazioni, sovrapponibili a quelle di molte altre terapie fisiche, che includono: stato di gravidanza, presenza di dispositivi elettrici (come pacemaker e defibrillatori) o metallici (placche, viti) non magneto-compatibili, sanguinamento, epilessia, infezioni, morbo di Paget e tumori.

L'utilizzo dei campi elettromagnetici sul tessuto osseo si fonda sulle osserva-

zioni di Yasuda e Fukada, che negli anni '50 del secolo scorso scoprirono le proprietà piezoelettriche dell'osso, ovvero la capacità di produrre una polarizzazione elettrica se sottoposto a sollecitazioni meccaniche [3]. Questo fenomeno fisico era stato descritto per la prima volta dai fratelli Jacques e Pierre Curie e annunciato presso l'Accademia Francese delle Scienze nel 1880, a seguito di studi condotti sul comportamento di cristalli asimmetrici sottoposti a compressione [4, 5].

La teoria che la formazione dell'osso derivi dalla creazione di una differenza di potenziale dovuta all'applicazione di un carico, senza necessità di fonti esterne di energia, è stata gradualmente riconosciuta. Questo ha portato allo sviluppo di diversi strumenti volti a favorire la guarigione delle fratture attraverso l'applicazione di campi magnetici che, generando correnti elettriche all'interno dell'osso, mimano l'effetto fisiologico dell'applicazione di uno stress meccanico. Il primo ad usare i CEMP fu Bassett nel 1978, ottenendo buoni risultati in uno studio sul trattamento di pazienti con ritardo di consolidamento di fratture [6].

Negli anni sono stati eseguiti diversi studi per indagare le vie cellulari attivate dai CEMP per promuovere la formazione ossea [7]. Secondo l'attuale evidenza i due processi maggiormente influenzati dai CEMP, e fondamentali per la riparazione ossea, sembrerebbero essere l'osteogenesi e l'angiogenesi. Durante il processo di osteogenesi, infatti, i CEMP amplierebbero l'espressione dei canali calcio voltaggio-dipendenti a livello delle cellule mesenchimali, aumentando quindi il rilascio intracellulare di calcio che, attraverso l'azione della calmodulina, promuove la trascrizione di geni per il collagene I e la fosfatasi alcalina. L'incremento del calcio intracellulare aumenta inoltre anche i livelli di ossido nitrico e di conseguenza del guanosin-monofosfato (GMP) ciclico, attivando così la via della protein chinasi G, utile per la differenziazione degli osteoblasti e, tramite la modulazione del rilascio di citochine infiammatorie, per la riduzione del dolore [8-14].

Sono state inoltre studiate altre vie di segnalazione promosse dai CEMP, importanti per stimolare la differenziazione osteogenica e favorire la vitalità

degli osteoblasti e l'angiogenesi. Ne citiamo alcune: mitogen-activated protein kinase (MAPK), fibroblast growth factor (FGF), vascular endothelial growth factor (VEGF) e transforming growth factor β (TGF- β) [7].

Revisione della letteratura

Nel 2014 veniva pubblicata da Hanne-mann *et al.* [15] una revisione sistematica della letteratura riguardante gli effetti dei CEMP e degli ultrasuoni a bassa intensità sulle fratture in acuto.

La revisione evidenziava l'efficacia di questi approcci terapeutici nel ridurre il tempo di consolidamento radiologico delle fratture dell'arto superiore trattate conservativamente, dando però particolare rilievo all'effetto degli ultrasuoni a bassa intensità nell'accelerare il tempo di unione clinica delle fratture diafisarie. Gli autori sottolineavano tuttavia come gli studi randomizzati controllati inclusi nella revisione non dessero sufficienti evidenze per consigliare tali approcci come terapie routinarie. Dei sedici articoli inclusi, tredici riguardavano la terapia con ultrasuoni a bassa intensità e solo tre erano focalizzati sui CEMP [16-18]. Di questi, solo uno mostrava una guarigione significativamente più rapida delle fratture del collo femorale nei pazienti trattati con magnetoterapia rispetto al placebo [16].

Considerati questi risultati, abbiamo condotto una revisione sistematica della letteratura sugli studi randomizzati controllati pubblicati dal 2014 ad oggi che analizzano l'utilizzo di CEMP nel trattamento delle fratture ossee in acuto, e di seguito riportiamo le conclusioni dei tre studi che rispettavano i criteri della nostra ricerca.

Hannemann *et al.* [19] hanno evidenziato come non ci sia una differenza significativa nella riduzione del tempo di guarigione per le fratture acute di scafoide tra pazienti trattati con CEMP vs. placebo dopo un follow-up di 6 (P=0.23), 12 (P=0.51), 24 (P=0.74) e 52 (P=1.00) settimane.

Mohajerani *et al.* [20], analizzando pazienti con frattura mandibolare sottoposti ad intervento chirurgico, non hanno trovato alcuna differenza significativa nei valori medi di densità ossea tra il gruppo sottoposto a CEMP e il gruppo di controllo (P> 0.05) dopo 4

settimane di follow-up.

Martinez – Rondanelli *et al.* [21] mostravano un consolidamento osseo più veloce (anche se non significativo dal punto di vista statistico) nel gruppo di pazienti con frattura della diafisi femorale trattati con CEMP vs. placebo. In particolare, la percentuale di soggetti guariti alla dodicesima settimana era del 75% nel gruppo trattato con CEMP e del 58% nel gruppo di soggetti trattati con placebo (P= 0.10); alla diciottesima settimana si raggiungeva il 94% di consolidamento nel gruppo trattato con CEMP e l'80% nel gruppo placebo (P= 0,15) e alla ventiquattresima settimana veniva mantenuto il successo terapeutico del 94% nel gruppo sottoposto a CEMP contro l'87% del gruppo placebo (P= 0,43).

I risultati degli studi da noi analizzati sono pertanto in linea con la letteratura preesistente. Le evidenze attualmente non sono tali da dare univoca indicazione al trattamento con CEMP per velocizzare il processo di consolidamento osseo in acuto.

Bisogna però riflettere sul bassissimo numero di pubblicazioni di studi randomizzati controllati sull'argomento e di conseguenza sul rischio di bias di pubblicazione, così come sulla presenza di una elevata eterogeneità degli studi esistenti, considerando il tipo di frattura, la localizzazione e i parametri del campo magnetico impostati. Infatti, è noto, come sottolineato precedentemente, che gli effetti dei campi magnetici dipendono dalla direzione delle correnti elettriche generate ed è semplice capire come una frattura a rima spiroide abbia una inclinazione diversa da una frattura con una rima trasversa e quindi possa non risultare influenzata la disposizione del campo magnetico. Allo stesso modo, l'intensità e la frequenza di stimolazione possono essere impostate con diverse modalità a seconda della lunghezza della rima di frattura e della sua localizzazione.

In conclusione, ad oggi non ci sono sufficienti evidenze che permettano di dare univoca indicazione all'utilizzo dei CEMP per promuovere il consolidamento delle fratture in acuto, nonostante siano noti gli effetti biologici dei campi magnetici sul tessuto osseo relativamente alle evidenze di base. Il limite maggiore è lo scarso numero di articoli clinici pubblicati, che risul-

tano inoltre estremamente eterogenei tra di loro, per cui appare di primaria importanza cercare di incrementare la produzione scientifica di alta qualità sull'argomento.

Bibliografia

1. Foti C, Monticone M. Manuale di medicina fisica e riabilitativa. Edra 2021. EAN: 9788821447259
2. Zati A, Valent A. Terapia fisica. Nuove tecnologie in medicina riabilitativa. Minerva Medica. 2017. EAN: 9788877119070
3. Fukada E, Yasuda I. On the piezo electric effect of bone. *J Phys Soc Japan*. 1957; 12:1158-69.
4. Curie J, et al. Développement par compression de l' électricité polaire dans les cristaux hémihèdres à faces inclinées. *Bulletin de la société minéralogique de France*. 1880; 3: 90-93.
5. Katzir S. (2006). The discovery of the piezoelectric effect. In: KATZIR, S. (eds) the beginnings of piezoelectricity. Boston studies in philosophy of science, vol 246. Springer, Dordrecht.
6. Bassett CA, Mitchell SN, Norton L, Pilla A. Repair of non-unions by pulsing electromagnetic fields. *Acta Orthop Belg*. 1978; 44:706-724.
7. Yuan J, Xin F, Jiang W. Underlying Signaling Pathways and Therapeutic Applications of Pulsed Electromagnetic Fields in Bone Repair. *Cell Physiol Biochem*. 2018; 46(4):1581-1594.
8. Kuzyk PR, Schemitsch EH. The science of electrical stimulation therapy for fracture healing. *Indian J Orthop* 2009; 43:127-131.
9. Tonelli FM, Santos AK, Gomes DA, et al. Stem cells and calcium signaling. *Adv Exp Med Biol*. 2012; 740:891-916.
10. Li JK, Lin JC, Liu HC, et al. Comparison of ultrasound and electromagnetic field effects on osteoblast growth. *Ultrasound Med Biol* 2006; 32:769-775.
11. Pall ML. Electromagnetic fields act via activation of voltage-gated calcium channels to produce beneficial or adverse effects. *J Cell Mol Med*. 2013; 17:958-965.
12. Petecchia L, Sbrana F, Utzeri R, et al. Electro-magnetic field promotes osteogenic differentiation of BM-hMSCs through a selective action on Ca(2+)-related mechanisms. *Sci Rep*. 2015; 5:13856.
13. Kim MO, Jung H, Kim SC, et al. Electromagnetic fields and nanomagnetic particles increase the osteogenic differentiation of human bone marrow-derived mesenchymal stem cells. *Int J Mol Med*. 2015; 35:153-160.
14. Zhong C, Zhao TF, Xu ZJ, He RX. Effects of electromagnetic fields on bone regeneration in experimental and clinical studies: a review of the literature. *Chin Med J (Engl)*. 2012; 125:367-372.
15. Hannemann PF, Mommers EH, Schots JP, et al. The effects of low-intensity pulsed ultrasound and pulsed electromagnetic fields bone growth stimulation in acute fractures: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Arch Orthop Trauma Surg*. 2014; 134(8):1093-106.
16. Faldini C, Cadossi M, Luciani D, et al. Electromagnetic bone growth stimulation in patients with femoral neck fractures treated with screws: prospective randomized double-blind study. *Curr Orthop Pract*. 2010; 21(3):282-287.
17. Adie S, Harris IA, Naylor JM, et al. Pulsed electromagnetic field stimulation for acute tibial shaft fractures: a multicenter, double-blind, randomized trial. *J Bone Joint Surg Am*. 2011; 93(17):1569-76.
18. Hannemann PF, Göttgens KW, van Wely BJ, et al. The clinical and radiological outcome of pulsed electromagnetic field treatment for acute scaphoid fractures: a randomised double-blind placebo-controlled multicentre trial. *J Bone Joint Surg Br*. 2012; 94(10):1403-8.
19. Hannemann PF, van Wezenbeek MR, Kolkman KA, et al. CT scan-evaluated outcome of pulsed electromagnetic fields in the treatment of acute scaphoid fractures: a randomised, multicentre, double-blind, placebo-controlled trial. *Bone Joint J*. 2014; 96-B(8):1070-1076.
20. Mohajerani H, Tabeie F, Vossoughi F, et al. Effect of pulsed electromagnetic field on mandibular fracture healing: A randomized control trial, (RCT). *J Stomatol Oral Maxillofac Surg*. 2019; 120(5):390-396.
21. Martinez-Rondanelli A, Martinez JP, Moncada ME, et al. Electromagnetic stimulation as coadjuvant in the healing of diaphyseal femoral fractures: a randomized controlled trial. *Colomb Med*. 2014; 45(2),67-71.