

# Onde d'urto nel terzo millennio. Presente e futuro?

Le prime applicazioni cliniche delle onde d'urto (OU) sono state attuate in ambito urologico. Più recenti sono stati i trattamenti ortopedici, dalla pseudoartrosi con formazione del callo osseo, alle entesiti calcifiche, con la frantumazione dei depositi cristallini, alle tendinopatie, con risoluzione delle condizioni flogisitico-degenerative, alle algodistrofie, con azione antalgica e rivascolarizzante.

DI BIAGIO MORETTI, ANGELA NOTARNICOLA, LORENZO MORETTI, SILVIO PATELLA, ANTONIO MARTUCCI, VITTORIO PATELLA, Ambulatorio di Onde d'Urto, Cliniche di Ortopedia e Traumatologia del Policlinico di Bari, Facoltà di Medicina e Chirurgia dell'Università degli Studi di Bari



BIAGIO MORETTI



SILVIO PATELLA



VITTORIO PATELLA

**L'onda d'urto (OU) è un'onda acustica che, attraversando il fluido citoplasmatico cellulare, determina l'implosione di bolle di gas, causando, prima, la rottura dei legami molecolari, poi, il successivo innesco di meccanismi riparatori tramite la neoangiogenesi.**

**L'OU prodotta dai generatori focalizzati è un'onda acustica che raggiunge, in un tempo di un centesimo di microsecondo, valori di 100 MPa.**

**Le applicazioni cliniche riguardarono inizialmente il trattamento della calcolosi renale (ESWL), mentre oggi riguardano le patologie ortopediche e traumatologiche (ESWT).**

**Nel follow-up devono essere presi in considerazione l'associazione con trattamenti di fisiocinesiterapia, come la rieducazione motoria, la TENS, la laserterapia ad ultrasuoni, ecc.**

**N**ella letteratura scientifica i primi cenni alle onde d'urto (OU) risalgono alla Seconda Guerra Mondiale, quando venivano riportati casi di esplosioni di organi interni, perlopiù a carico dei polmoni, in militari che erano stati investiti dall'onda d'urto di detonazioni, in mare, di ordigni bellici. In questi soggetti, paradossalmente, non si riscontravano lesioni esteriori che avrebbero potuto giustificare il danno.

## ■ Definizione di onda d'urto e suoi bersagli principali

L'OU è scientificamente definita come un'onda acustica che si propaga, nelle tre dimensioni dello spazio, con un fronte di avanzamento che, al di sopra del valore atmosferico, cresce dalla pressione ambiente ad una pressione massima, variando da 10 a 100 MegaPascal in pochi nanosecondi<sup>1</sup> (figura 1).

La profondità del fronte d'urto dipende dalla velocità di

spostamento, specifica del mezzo in cui si diffonde, e dall'intensità con cui si propaga. Ciò determina il verificarsi di una perturbazione che modifica localmente le distanze intramolecolari del mezzo. In particolare, nei gas e nei liquidi l'OU si trasmette longitudinalmente, mentre nei solidi le caratteristiche di propagazione sono più varie e complesse.

Il passaggio dell'OU attraverso la parete cellulare sviluppa sollecitazioni significative generate dalla differenza del valore pressorio che si forma immediatamente prima e immediatamente dopo il fronte di avanzamento dell'onda.

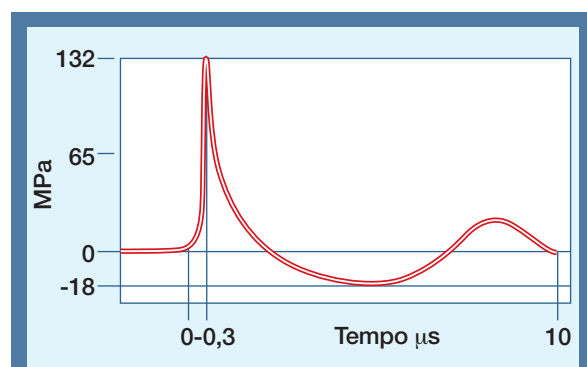


Figura 1. Grafico che descrive l'avanzamento nel tempo dell'onda d'urto.

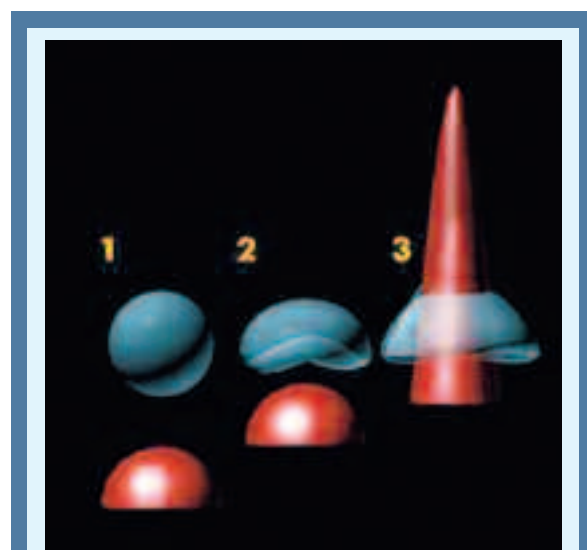


Figura 2. Immagine che illustra le tre fasi di produzione dell'effetto cavitazionale.

In seguito l'onda, attraversando il fluido citoplasmatico, genera delle differenze pressorie, responsabili della formazione di bolle di gas. Questo viene definito effetto cavitazionale (figura 2).

La bolla formata secondo questo fenomeno risulta in condizioni di equilibrio, una successiva OU la colpisce e ne causa la deformazione e, di conseguenza, una violenta implosione. La membrana cellulare è la componente cellulare più sensibile: sono sufficienti livelli energetici pari a 0,12 mJ/mm<sup>2</sup> per alterarne le proprietà di permeabilità. Più resistenti, invece, risultano il citoscheletro, i mitocondri e la membrana nucleare, nei quali le alterazioni si cominciano a notare per valori di energia pari a 0,50 mJ/mm<sup>2</sup>. Il danno tissutale sarà massimo nel punto focale, dove si concentrano le onde, e tenderà a diminuire in modo progressivo allontanandosi da tale punto.

### ■ Meccanismo d'azione

Il meccanismo d'azione delle onde d'urto può essere descritto in 4 fasi consecutive:

1. *Fase fisica*: l'OU, attraversando un fluido, genera molteplici differenze pressorie responsabili della formazione di bolle di gas. La successiva OU, colpendo la bolla così formata, dà luogo ad una violenta implosione che forma un getto d'acqua, il cosiddetto *jet stream* direzionale; questo induce, sui tessuti vicini, alcune microlesioni (cavitazione) determinando un'alterazione temporanea della membrana con aumento della permeabilità e conseguente edema cellulare, danno transitorio del reticolo endoplasmico e del nucleo cellulare, vacuolizzazione del citoplasma, lesione del citoscheletro e ionizzazione molecolare.
2. *Fase chimico-fisica*: le bolle di cavitazione collassano al loro interno determinando la produzione di alte temperature che causano la formazione di radicali liberi, i quali diffondono ed interagiscono con le molecole biologiche determinando lesioni mitocondriali.
3. *Fase chimica*: L'energia sprigionata dal *jet stream* è in grado di portare a rottura talune molecole, come la L-Arginina e il perossido di idrogeno presenti nelle aree d'infiammazione. Dal conseguente riarrangiamento molecolare, sarebbe possibile giungere direttamente alla produzione di NO (ossido nitrico), molecola assai instabile che, fisiologicamente, è prodotta in condizioni di stress da atti-

vità enzimatiche chiamate NO sintasi. L'NO è considerato la molecola responsabile dell'inizio della neoangiogenesi, della risposta antinfiammatoria; inoltre l'NO possiede attività neuromodulante, citotossica (nei trattamenti ad alte energie) e probabilmente è coinvolto anche nella risposta immunitaria.

4. *Fase biologica*: subentra alle fasi precedenti, quando le trasformazioni diventano definitive, a seguito della riduzione della flogosi locale, della neoformazione di vasi sanguigni e dell'attivazione dei processi riparativi.

Per capire il meccanismo d'azione delle onde d'urto dobbiamo considerare gli effetti nei vari tessuti.

L'azione nel tessuto osseo è analoga a quella della litotripsia nel trattamento dei calcoli renali, consistente in microfissurazioni della corticale ossea, formazione di ematomi nella sottocorticale e trasformazione delle cellule del tessuto connettivo locale tramite induzione di fattori di crescita. Il risultato è l'osteogenesi<sup>2</sup>. A livello dei tessuti molli possono essere riconosciuti due tipi di risposta: la prima, precoce e transitoria, sulle terminazioni nervose simpatiche, con conseguente simpaticoplegia che induce l'apertura del letto capillare e per questa ragione è definita effetto

*wash out*. La seconda risposta, a distanza di alcuni giorni, è legata all'incremento del numero dei capillari nel distretto irradiato. Ne consegue che la risposta antinfiammatoria, osservabile dopo il trattamento, è sostenuta dall'intenso lavaggio circolatorio tissutale che si viene a determinare nell'area bersaglio e che causa l'allontanamento delle molecole ad attività chinino- ed istamino-simile e della sostanza P presenti nella regione della flogosi<sup>3</sup>. Le OU hanno effetti importanti anche sui nervi e sulle cellule nervose. L'effetto analgesico è la conseguenza dell'aumento dei radicali liberi che, modificando l'eccitabilità della membrana cellulare dei nocicettori, impediscono l'insorgenza del dolore.

## ■ Evoluzione storica delle onde d'urto

Risale al 1971 il primo trattamento con successo di un paziente, affetto da calcolosi renale, con una nuova metodica mininvasiva come la litotripsia mediante onde d'urto (*Extracorporeal Shock Waves Lithotripsy*, ESWL). Questo risultato aprì il campo delle applicazioni in medicina di questa forma di energia. In seguito all'osservazione di un odontoiatra di Francoforte, che notò una marcata riduzione di flogosi peridontale in pazienti sottoposti a trattamento per i calcoli delle ghiandole salivari, risultati molto incoraggianti sono derivati dall'applicazione, relativamente recente, delle onde d'urto nel trattamento di alcune comuni e diffuse patologie ortopediche (*Extracorporeal Shock Waves Therapy*, ESWT). Tra i primi a studiare l'effetto in ortopedia furono nel 1991 Valchanov e Michailov, seguiti, nel 1993, da Sukul<sup>4,2</sup>. Questi ricercatori, trattando i ritardi di consolidazione e le pseudoartrosi di fratture, descrissero fenomeni locali di decorticazione e frammentazione accompagnati a contemporanea stimolazione della osteogenesi. Queste osservazioni furono confermate, nel 1992, da Haist, che documentò la consolidazione di 32 casi di pseudoartrosi su 40 pazienti trattati<sup>5</sup>. In Italia, le prime applicazioni cliniche furono condotte nel 1992 dall'équipe del professor Ezio Maria Corrado, dell'Università degli Studi di Napoli, che utilizzò le OU per il trattamento di casi di pseudoartrosi di scafoide carpale<sup>6</sup>.

Tale applicazione era basata sull'ipotesi che gli aggregati cristallini, presenti in questa patologia, avrebbero potuto subire, come avveniva per i calcoli renali, un'in-

### Le controindicazioni al trattamento con UO

#### Assolute

- Presenza di patologie tumorali nel campo focale
- Prossimità di cartilagini di accrescimento, anche se tale condizione ha perso gran parte della sua importanza poiché è stata dimostrata l'assenza di effetti lesivi sulla stessa, con particolare riferimento alle basse e medie energie
- Contiguità di strutture vascolari a rischio e di strutture nervose centrali e periferiche
- La presenza di focolai settici acuti nel fuoco di azione
- Coagulopatie non compensate.

#### Relative

- Presenza di trapianti ossei nella prima fase d'integrazione
- Le angiomatosi ossee
- Le alterazioni vasali sclerotiche
- La presenza di apparecchiature elettroniche biomediche
- La gravidanza.

fluenza fisica diretta. Da allora sono stati compiuti numerosi progressi, soprattutto dopo l'osservazione che, oltre ad una azione fisica diretta, le OU producono effetti biologici indiretti. Ciò ha permesso di allargare immediatamente le loro possibili indicazioni cliniche dalla pseudoartrosi ad un più vasto campo di patologie traumatologiche muscolo-scheletriche. Recentemente la terapia con OU è stata utilizzata anche nelle condizioni di ipertono neurologico centrale, nelle ulcere cutanee<sup>7</sup> e nella patologia miocardica ischemica<sup>8</sup>.

### ■ Le onde d'urto nella pratica medica

Le onde d'urto utilizzate nella pratica medica sono caratterizzate da alte pressioni positive fino a 80-100 MPa e da pressioni negative di 5-10 MPa. Inoltre, devono crescere molto rapidamente arrivando al valore massimo in un intervallo di tempo breve di 30-120 nanosecondi ed una durata dell'impulso ancora più breve (di circa 5 microsecondi). Il livello di energia liberata è definito dal rapporto tra potenza applicata e densità tissutale; si distinguono, perciò, OU ad alta, media e bassa energia<sup>9</sup>.

Il range di potenza, cioè la densità dell'energia, è compreso tra 0,005 mJ/mm<sup>2</sup> e 0,50 mJ/mm<sup>2</sup>, ed è erogabile in diversi livelli di intensità a seconda del tipo di patologia da trattare. Infatti, con valori pari allo 0,1 e 0,2

mJ/mm<sup>2</sup>, si ottiene una risposta prevalentemente antidolorifica ed antiflogistica; tra 0,2 e 0,3 mJ/mm<sup>2</sup> si attivano i processi di neoangiogenesi, tali da portare ad un più fisiologico metabolismo locale e si ottiene una azione meccanica decalcificante nelle tendinopatie calcifiche. Infine, tra 0,4 e 0,5 mJ/mm<sup>2</sup>, si osserva un'azione osteogenetica fondamentale per il trattamento delle pseudoartrosi e delle necrosi ossee (figura 3).

### ■ Tecnologie adottate

Tutte le sorgenti di onde d'urto impiegate nella pratica clinica medica consistono di un generatore di energia elettrica, di un apparato di conversione elettro-acustica e di un dispositivo per concentrare le onde acustiche in un fuoco. Esistono tre principali generatori per produrre le onde d'urto: piezoelettrico, elettroidraulico ed elettromagnetico<sup>10</sup>. I generatori piezoelettrici utilizzano elementi piezoceramici in grado di trasformare l'energia elettrica in energia meccanica, provocando nell'acqua la formazione di OU che, grazie alla particolare disposizione dei cristalli su una emisfera, vengono focalizzate al centro di essa. I vantaggi offerti da questo sistema sono la mancanza di parti di consumo e la possibilità di effettuare i trattamenti senza anestesia, opportunità tuttavia che è diretta conseguenza della bassa energia disponibile. Gli svantaggi principali correlati a questo tipo di generatori sono una potenza eccessivamente bassa, con la conseguente necessità di trattamenti lunghi, e un fuoco troppo piccolo.

I generatori elettroidraulici sfruttano l'alto voltaggio applicato a due elettrodi, posti a distanza reciproca di un millimetro, all'interno dell'acqua. L'arco voltaico generato provoca l'evaporazione dell'acqua circostante e la conseguente formazione di un'onda sferica di pressione, indotta dalla ra-

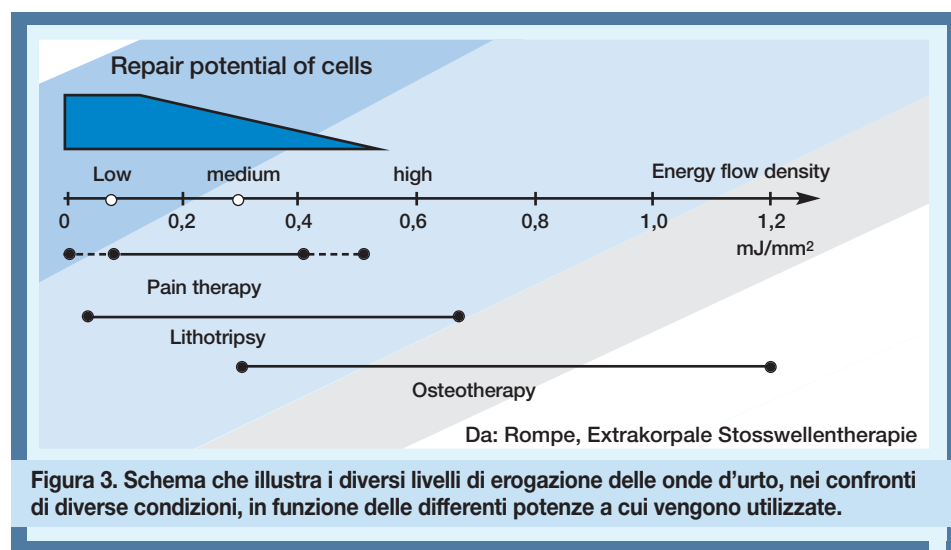


Figura 3. Schema che illustra i diversi livelli di erogazione delle onde d'urto, nei confronti di diverse condizioni, in funzione delle differenti potenze a cui vengono utilizzate.

pida crescita della bolla di vapore. L'onda d'urto, così generata, viene riflessa successivamente da un ellissoide nel suo secondo fuoco, il bersaglio. Un potenziale svantaggio, legato a questo tipo di generatori, è rappresentato dalla non costanza dell'onda d'urto, dovuta alla scarica irregolare degli elettrodi; problema che si aggrava con il passare del tempo di utilizzo, a causa del consumo degli elettrodi stessi. Questa è la ragione per la quale si è costretti a cambiare spesso gli elettrodi, con conseguente aumento dei costi.

I generatori elettromagnetici si suddividono in 2 categorie:

1. con bobina piatta e lente acustica di focalizzazione;
2. con bobina cilindrica e riflettore parabolico.

In entrambi i tipi, l'onda è prodotta dal movimento di una

lamina metallica, causato dalla forza elettromagnetica prodotta da una bobina attraversata da un forte impulso di corrente. Con questo tipo di generatori non servono elettrodi, inoltre è possibile avere un ampio campo di regolazione della pressione dell'OU, con una erogazione di potenza costante e riproducibile, mentre la spirale generatrice del segnale è un dispositivo a lunghissima durata.

In ambito clinico vengono utilizzate anche delle onde balistiche che, a differenza delle onde d'urto propriamente dette, si propagano in modo radiale, quindi senza fuoco, la cui profondità di penetrazione è superficiale (circa 2-3 cm). Esse sono prodotte con un principio di funzionamento molto semplice e rudimentale, basato sul meccanismo del martello pneumatico stradale, determinando la generazione di

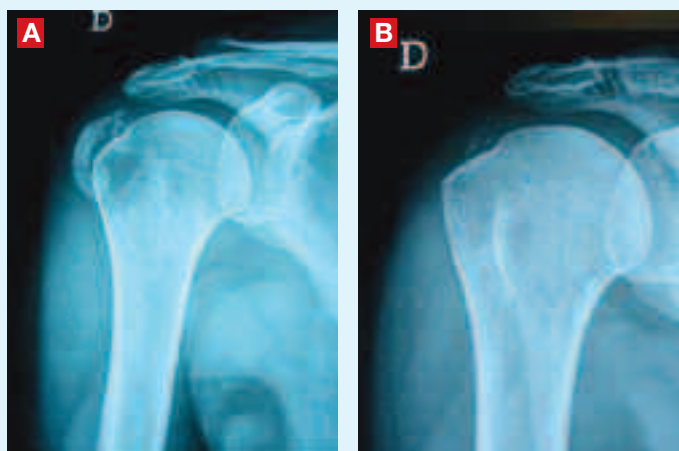


Figura 4. PSO calcifica prima (A) e a distanza di 2 mesi (B) da trattamento con onde d'urto.

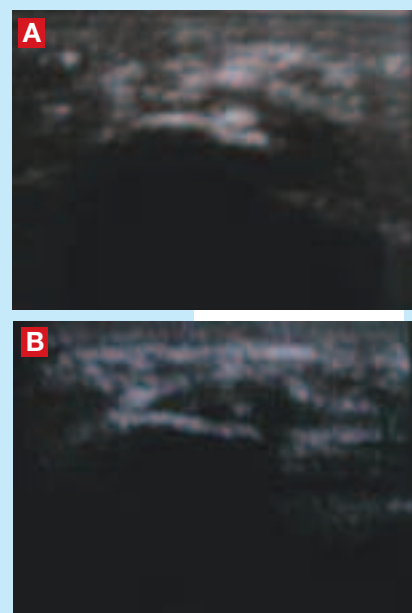


Figura 5. Epicondilita calcifica prima (A) e dopo trattamento (B) con onde d'urto.



Figura 6. Fascite plantare prima (ispessimento inserzionale, ipoecogenicità e disomogeneità ecostrutturale della fascia) (A) e dopo trattamento con OU (risoluzione della enteropatia) (B).

un'onda d'urto non focalizzata, con parametri fisici di tempo e pressione completamente differenti da quella focalizzata, prodotta dai generatori citati in precedenza<sup>11</sup>.

## ■ Le indicazioni cliniche e i protocolli terapeutici

La prescrizione al trattamento con OU fa seguito ad un'accurata visita medica specialistica eseguita dall'Ortopedico, dal Fisiatra, dal Medico Sportivo oppure dal Radiologo, supportata da accertamenti di imaging (Rx, Ecografia, TAC e RM). Va precisato che in caso di grave osteoporosi, cioè quando il T score è maggiore di 3, di lesione tendinea completa, oppure di necrosi ossea avanzata, non è possibile eseguire una terapia con OU.

Per quanto riguarda le patologie dei tessuti molli, le OU sono impiegate soprattutto nelle tendinopatie, sia in quelle acute sia in quelle a carattere degenerativo cronico (inserzionali o calcifiche) (*figure 4, 5*). In particolare, nelle forme degenerative, caratterizzate da una scarsa irrorazione ematica della giunzione osteo-tendinea e mio-tendinea, la terapia con OU può essere considerata elettiva poiché è possibile ottenere una rivascularizzazione del tessuto bersaglio, cui si associa un effetto antinfiammatorio e antiodolorifico. Nelle tendiniti calcifiche le OU riescono a distruggere la calcificazione, anche se va ricordato che il fine della terapia non è tanto quello di frammentare la formazione calcifica, quanto quello di determinare il suo progressivo riassorbimento attraverso l'aumento della vascularizzazione locale. Giacché hanno una consistenza minore, tali calcificazioni non sono assimilabili alle concrezioni calcolitiche: l'effetto desiderato, pertanto, non è soltanto quello meccanico della frammentazione, ma anche quello dell'induzione vascolare.

Per quanto riguarda le patologie dell'osso, le OU sono utilizzate nelle pseudoartrosi, nei ritardi di consolidazione, nelle fratture da durata e nelle necrosi epifisarie asettiche. In tali casi esse cedono energia, in modo esplosivo, a livello dell'interfaccia fra tessuti a differente impedenza acustica e determinano, nell'area bersaglio, microfrazture e sanguinamento; il conseguente ematoma perifocale rappresenta il primo stadio della ripresa del processo riparativo ed innesca i successivi eventi attraverso un aumento del flusso ematico locale, associato alla riattivazione dei

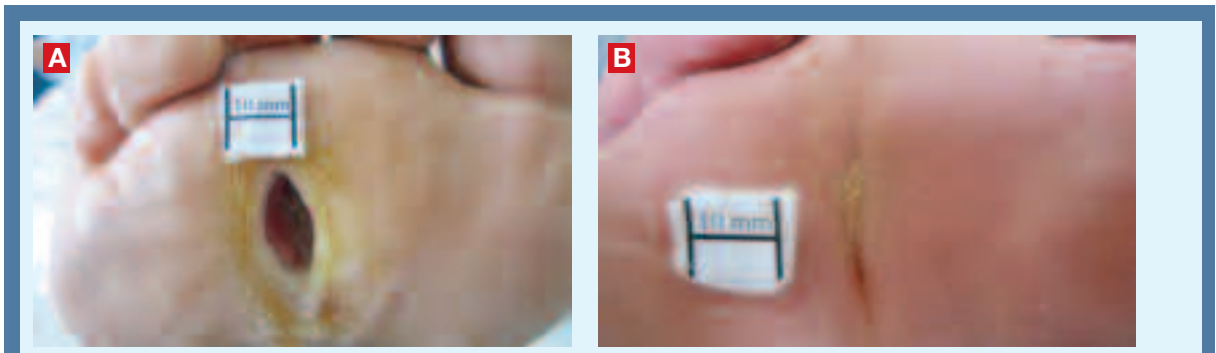
fattori di crescita osteogenetici. Il successo della terapia con OU nelle pseudoartrosi è strettamente correlato al fenomeno della cavitazione; si verificherebbe così la cosiddetta "cruentazione a cielo chiuso" che innesca i sopraccitati meccanismi fisiologici dell'osteogenesi riparativa. Questo fenomeno è subordinato alla presenza, nell'osso, di una struttura tridimensionale a contenuto idrico e quindi di un rapporto corticale/midollare che permette la formazione delle bolle di cavitazione; ciò spiega la differente sensibilità al trattamento dei diversi segmenti scheletrici in funzione del rapporto relativo tra lo spessore della corticale e quello della componente midollare più ricca di fluidi. Recentemente la terapia con OU è stata utilizzata anche nella traumatologia muscolare acuta, sfruttando l'effetto decontratturante ed antalgico, nelle insufficienze vascolari del tessuto osseo, nonché nelle malattie osteocondrosiche e nelle condizioni di ipertono neurologico centrale (*figura 6*).

### Il rischio di risposta negativa

Ai fini del recupero clinico del paziente, è necessario considerare, di volta in volta, che l'utilizzo di OU, se non effettuato nella giusta dimensione, può determinare una risposta negativa (istolesiva). È, infatti, innegabile che, ancorché l'effetto cavitazionale sia auspicabile, questo induce, comunque, una lesione intorno al bersaglio, per cui la tecnica di impiego diventa un fattore di fondamentale importanza: ad esempio, nelle calcificazioni bursali della scapolo-omeroale, un cattivo puntamento oppure un bersaglio le cui dimensioni siano più piccole di quelle del punto focale dell'apparecchio utilizzato possono determinare una lesione della cuffia dei rotatori.

### Le evidenze sperimentali

Trattando con la ESWT ritardi di consolidazione di fratture associati a problemi dei tessuti molli, sono stati osservati effetti positivi anche sulle lesioni cutanee eventualmente concomitanti, con una rapida guarigione delle ferite; pertanto, sono stati avviati studi sperimentali e clinici sulla risposta alla ESWT di lesioni cutanee post-traumatiche, ulcere venose e arteriose, cicatrici cheloidi, piaghe da decubito e ustioni. Molti studi sono stati avviati con l'obiettivo di indagare il fenomeno dell'incremento dell'apporto ematico e della perfusione ematica nei tessuti ischemici sottoposti al trattamento con ESWT su lembi cutanei



**Figura 7.** In un nostro studio clinico abbiamo trattato con OU ulcere diabetiche neuropatiche a livello del piede. Ulcera prima (A) e dopo terapia (B). Esse sono andate incontro a completa guarigione nell'arco di 45 giorni dall'inizio del trattamento, con un indice di riepitelizzazione di 2,9 mm<sup>2</sup>/die. Il gruppo controllo di lesioni simili non trattate con OU hanno presentato guarigione a 60 giorni e con indice di riepitelizzazione di 1,4 mm<sup>2</sup>/die.

danneggiati. A questo scopo, in modelli sperimentali, è stata dimostrata, a seguito dell'applicazione delle onde d'urto, la riduzione di aree necrotiche indotte tramite clamping di arterie regionali<sup>12</sup>.

Si è passati, così, ad utilizzare con queste indicazioni la ESWT anche nell'uomo. Schaden ha valutato l'applicazione della ESWT a lesioni cutanee post-traumatiche, ulcere venose e arteriose, cicatrici cheloidi, piaghe da decubito e ustioni<sup>13</sup>. L'81% delle ferite trattate ha presentato una guarigione completa e il 12% una riepitelizzazione superiore al 50%. In base a questi risultati incoraggianti, nuovi trial clinici sono stati avviati per valutare la risposta alla ESWT delle ferite di guerra<sup>7</sup>. Dall'autunno 2006 presso il nostro ambulatorio abbiamo attivato uno studio clinico sul trattamento di ulcere cutanee del piede diabetico neurogeno. Il monitoraggio dei primi pazienti sta fornendo dati significativi, presentando un indice di riepitelizzazione di 2,9 mm<sup>2</sup>/die e una guarigione completa già in 45 giorni, mentre nel gruppo controllo, non trattato con OU, i valori sono, rispettivamente, di 1,4 mm<sup>2</sup>/die e di 60 giorni (figura 7). In uno studio sperimentale del 2004 sono state applicate le OU a basse energie su grandi mammiferi (maiali), ai quali era stato indotto l'infarto del miocardio tramite occlusione chirurgica di arteria coronaria. Ad un mese dall'induzione del danno tissutale, gli animali hanno ricevuto un trattamento con OU a basse energie. Negli animali, sottoposti a ESWT cardiaca, si verificò un completo recupero

della funzionalità miocardica, come espresso dai valori della frazione di eiezione del ventricolo sinistro (passati dal 51% al 62%) e dal valore di flusso ematico miocardico regionale (incrementato da 1 a 1,4 ml/min x g). Né aritmie né altre complicanze furono osservate durante, o dopo, il trattamento. Inoltre la ESWT ha determinato, in vivo, un significativo aumento dell'espressione del fattore di crescita endoteliale<sup>14</sup>.

In una successiva ricerca clinica sono stati selezionati 9 pazienti affetti da coronaropatia in fase di angina stabile con evidenza di ischemia miocardica. L'applicazione delle OU sulle regioni di ischemia miocardica ha determinato un miglioramento dei sintomi già entro 3 mesi dal trattamento e persistenti nei 9 mesi successivi. Inoltre la perfusione miocardica, valutata mediante scintigrafia, è risultata migliorata. Questi risultati indicano che la ESWT cardiaca è un'efficace e non invasiva procedura per il trattamento della coronaropatia<sup>8</sup>.

Grazie a questi studi sperimentali e clinici le conoscenze nel campo della litotrixxia sono in continua evoluzione e pertanto c'è da augurarsi che in un futuro molto vicino nuovi scenari terapeutici siano disponibili per i pazienti.

#### **Relazione fra onde d'urto e dolore**

Durante le sedute terapeutiche per il trattamento dei tessuti molli, normalmente senza alcuna forma di anestesia o analgesia, l'applicazione delle onde d'urto è ba-

sata su una sorta di “risposta” dolorosa, che sfrutta la capacità dei pazienti di riconoscere il proprio sintomo in termini di qualità e sede dello stimolo doloroso. Ma va sempre tenuto presente che esistono strutture algogene, come il periostio o un ramo nervoso sensitivo che, quando sono superficiali, possono essere facilmente stimolate dalle onde d’urto. La stimolazione di tali strutture provoca sempre dolore intenso che può confondere l’operatore. Per questo motivo, al fine di individuare esattamente la sede della patologia, è opportuno che i generatori siano dotati di un dispositivo di puntamento ecografico, possibilmente coassiale al raggio. Nel caso in cui il dolore provocato sia insopportabile i trattamenti con onde da alta energia, per la cura di patologie scheletriche, possono essere associati ad una forma di analgesia o anestesia. In questi casi sarebbe necessario disporre di un amplificatore di brillantezza per centrare il fuoco del raggio sul punto esatto sede della patologia che deve essere trattata e che altrimenti non potrebbe essere individuata con precisione.

### Controindicazioni all’uso

Le controindicazioni al trattamento con OU sono giustificate dal meccanismo d’azione delle stesse. Infatti, la maggior parte dell’energia viene sprigionata nella penetrazione attraverso tessuti di varia densità: in tal senso, la dose di energia applicata e il tipo dei mezzi attraversati giocano un ruolo decisivo. È opportuno evitare di colpire con le OU i grandi vasi sanguigni (passaggio solido/liquido) per il possibile danno delle pareti degli stessi (emorragie, induzione di trombosi), così come è necessario “compensare” preventivamente i pazienti in trattamento anticoagulante che, pertanto, non rappresentano più una controindicazione assoluta. Il passaggio dell’OU dal mezzo solido a quello gassoso, come si verifica nel polmone o nell’intestino, può essere causa di lesioni tissutali; in questi casi occorrerà iniziare con bassi livelli di energia.

Dopo trattamenti di tessuti superficiali, come ad esempio nelle entesopatie, si può verificare, sulla superficie cutanea (interfaccia tessuto/aria), lo sviluppo di una ecchimosi che, comunque, risulta transitoria.

I protocolli di trattamento sono diversificati nella loro proposizione in relazione alle caratteristiche proprie del-

le diverse patologie e dei singoli casi clinici, in relazione alle caratteristiche tecnologiche delle diverse apparecchiature (elettroidrauliche, elettromagnetiche o piezoelettriche) che comunque devono rispettare i dati tecnici fissati a livello internazionale.

Inoltre tutti i protocolli trovano sostanziale uniformità nella quantità totale di energia somministrata. Si possono avere differenze nei protocolli terapeutici per numero di colpi (e quindi di tempo dedicato per singolo trattamento) e per numero di applicazioni (e quindi numero di sedute successive).

A completamento della terapia con OU seguirà un trattamento riabilitativo ed un nuovo controllo clinico, supportato da un accertamento mediante esami strumentali di imaging. Potrà verificarsi la completa risoluzione del quadro anatomico-clinico con una rapida ripresa funzionale oppure la persistenza del processo morboso: in

## Procedure

### Che cosa fare

- Conoscere quali siano le strutture anatomiche coinvolte nel processo patologico tramite esami strumentali accurati (RX, ETG, RMN, TAC);
- Utilizzare apparecchiature dotate di puntamento ecografico o/e radiografico;
- Eseguire le tre sedute del ciclo terapeutico rispettando la potenza, la profondità e il numero di colpi previsti dal protocollo;
- A distanza di 45-60 giorni dal trattamento rivalutare il paziente clinicamente e tramite esami strumentali.

### Che cosa non fare

- Indirizzare tutti i pazienti al trattamento senza eseguire una prima visita in cui si valutino le indicazioni e le eventuali controindicazioni
- L’insorgenza di ecchimosi localmente a livello della zona del trattamento rappresenta una controindicazione assoluta alle successive sedute terapeutiche
- Non riprogrammare un secondo trattamento ad un paziente che non ha trovato miglioramento dal primo ciclo
- Non associare trattamenti FKT e/o farmacologici.

questo ultimo caso sarà opportuna una nuova rivalutazione del paziente.

## ■ Conclusioni

Nel complesso, i diversi protocolli di trattamento evidenziano, alla conclusione del ciclo terapeutico, risultati sovrapponibili nonostante le variazioni applicative per le diverse tecnologie. Secondo l'opinione della maggior parte degli Autori, che fino ad oggi si sono occupati di onde d'urto nelle patologie ortopediche, si tratta di una metodica poco invasiva e di sicuro impiego nel trattamento di patologie tradizionalmente difficili e problematiche, sia dell'osso sia dei tessuti molli. In base all'esperienza che deriva dall'enorme quantità di trattamenti eseguiti in tutto il mondo, le OU possono essere consi-

derate una forma di terapia quasi del tutto esente da effetti collaterali. Per questo le onde d'urto devono essere tenute nella giusta considerazione tra le possibilità di trattamento, alla pari e prima di un trattamento chirurgico, con conseguente risparmio economico oltre che per la tutela del paziente.

Il ruolo svolto dalla ESWT in ambito clinico è stato appropriatamente definito dalla letteratura come una procedura che ha decretato la fine della *stone age*<sup>15</sup>: le sue prime applicazioni hanno riguardato il trattamento della calcolosi con localizzazione renale, ureterale<sup>16</sup>, vescicale<sup>17</sup>, colecistica<sup>18</sup>, pancreatica<sup>19</sup> e a livello delle ghiandole salivari<sup>20</sup>. Risultati altrettanto soddisfacenti sono stati ottenuti dalle successive applicazioni in ambito ortopedico: i recenti studi in vitro e in vivo aprono la strada a nuove prospettive terapeutiche della metodica in questione.

## Bibliografia

1. Ueberle F. Shock wave technology. Siebert W, Buch A. (eds.) Extracorporeal shock waves in orthopaedics. Springer 1998; 59-87.
2. Sukul K, Johannes E. The effect of high energy shock waves focussed on cortical bone: an in vitro study. *J Surg Res* 1993; 54: 46.
3. Buch M. Review. Siebert W, Buch A. (eds): Extracorporeal shock waves in orthopaedics. Springer 1998; 3-58.
4. Vachalnov V, Michailv P. High energy shock waves in treatment of delayed and non-union of fractures. *Int Orthop* (SICOT) 1999; 15: 181-4.
5. Haist J, Steeger D. The extracorporeal shockwave therapy in the treatment of disturbed bone union. 7<sup>th</sup> Int Conference on Biomedical engineering. Singapore, 1992; 222-4.
6. Russo S, Canero R. Meccanismo delle onde d'urto sul tessuto osseo. Atti del Corso Interdisciplinare, Parma, 27 febbraio 1998; 12-16.
7. Steinberg JS, Stojadinovic A, Elster E et al. Feature: Is There A Role For ESWT In Wound Care? *Podiatry Today* 2006; 19, 7: 62-8.
8. Yoshihiro F, Akira I, Toyokazu U et al. Extracorporeal cardiac shock wave therapy ameliorates myocardial ischemia in patients with severe coronary artery disease. *Coronary Artery Disease* 2006; 17: 63-70.
9. Basaglia N, Bertocchi A, Carli S. "Shock waves" in medicina riabilitativa. *MR* 1999; 13, 2: 11-24.
10. Wess O, Feige A. Introduction to the physics and thecnology of extracorporeal shock wave therapy (ESWT). Kreuzlingen, Storz Medical Ag, 1997.
11. Cacchio A. Effectiveness of radial shock-wave therapy for calcific tendinitis of the shoulder: single-blind, randomized clinical study. *Phys Ther* 2006; 86, 5: 672-82.
12. Meirer R, Kamelger FS, Huemer GM, Wanner S, Piza-Katzer H. Extracorporeal shock wave therapy may enhance skin flap survival in an animal model. *Br J Plast Surg* 2005; 58: 53-57.
13. Schaden W, Kolpl C, Pusch M, Valentin A. Preliminary report using ESWT for chronic skin lesions. VII Congresso Nazionale SITO 2006.
14. Takahiro N, Hiroaki S, Keiji O et al. Extracorporeal Cardiac Shock Wave Therapy markedly ameliorates ischemia-induced myocardial dysfunction in pigs in vivo. *Circulation* 2004; 110: 3055-61.
15. De la Rosette JJ. Extracorporeal Shock Wave Lithotripsy and the "End of the Stone Age". *Eur Urol* 2006; 50, 3: 400-1.
16. Marcovich R, Smith AD. Renal pelvic stones: choosing shock wave lithotripsy or percutaneous nephrolithotomy. *Int Braz J Urol* 2003; 29: 195-207.
17. Al-Ansari A, Shamsodini A, Younis N et al. Extracorporeal shock wave lithotripsy monotherapy for treatment of patients with urethral and bladder stones presenting with acute urinary retention. *Urology* 2005; 66, 6: 1169-71.
18. Chang WH, Chu CH, Wang T et al. Outcome of simple use of mechanical lithotripsy of difficult common bile duct stones. *World J Gastroenterol* 2005; 11, 4: 593-6.
19. Guda NM, Freeman ML, Smith C. Role of extracorporeal shock wave lithotripsy in the treatment of pancreatic stones. *Rev Gastroenterol Disord* 2005; 5, 2: 73-81.
20. McGurk M, Escudier MP, Brown JE. Modern management of salivary calculi. *Br J Surg* 2005; 92, 1: 107-12.