

# La litotrissia extracorporea nel trattamento delle pseudoartrosi ossee

S. RUSSO, E. AMELIO, U. GALASSO, B. CORRADO, L. CUGOLA

I

*Estratto da* MINERVA ORTOPEDICA E TRAUMATOLOGICA  
Vol. 52 - N. 6 - Pag. 261-267 (Dicembre 2001)

---

EDIZIONI MINERVA MEDICA – TORINO

# La litotrissia extracorporea nel trattamento delle pseudoartrosi ossee

S. RUSSO, E. AMELIO\* U. GALASSO, B. CORRADO, L. CUGOLA\*

Università degli Studi – Napoli

Policlinico Federico II – Napoli

\* Università degli Studi – Verona

Policlinico G.B. Rossi – Verona

## EXTRACORPOREAL LITHOTRIPSY IN THE TREATMENT OF BONE PSEUDOARTHROSIS

**Background.** Shock wave therapy, originally devised to break up renal calculi, in the last years has been successfully employed in orthopedics and traumatology. The efficacy and the fast effect have won it an extensive place in the treatment of bone pseudoarthrosis and tendon diseases, especially in athletes. A retrospective study of five-years experience in the treatment of bone pseudoarthrosis by high-energy shock wave, is reported.

**Methods.** Since 1995 up to October 2000, three hundred and ninety-nine patients suffering from bone pseudoarthrosis have been treated. All patients have been treated at the ESWT Units of Orthopedics Department, University of Naples Federico II and University of Verona. Prior to undergo shock wave therapy patients have been submitted to clinical and radiological examinations. All cases have a minimum follow-up of 6 months, some cases showed an 8-year follow-up. Electromagnetic coil lithotriptors provided with in-line radiographic and ultrasound aiming (Modulith SL-20 and Modulith SLK by Storz Medical) have been used. The device used in Verona was provided with a virtual aim system, named lithotrack system.

**Results.** The success rate reported was high even if it changed on the basis of pseudoarthrosis localisation. No side

**effects were observed. Failures are discussed also on the basis of in vitro and in vivo studies of unsuccessful treatment due to inadequate development of cavitation during shock wave therapy.**

**Conclusions.** The success rate in the treatment of bone pseudoarthrosis is high. Reasons of failed treatments have been hypothesised. The cavitation development seems to play a primary role for the effectiveness of the therapy. Shock wave technique has several advantages over other treatments: it does not give any complication, it's a non operative, painless treatment with an excellent compliance (rarely anesthesia is required), it can be used both before operative methods and after unsuccessful surgical interventions for fractures, the time required for a single application is short (15/20 minutes), its sanitary cost is not exorbitant mainly because the treatment doesn't require hospitalisation. Due to the above mentioned reasons and on the basis of the results achieved shock wave therapy is a useful technique the specialist should always consider to treat such diseases.

**Keywords:** Pseudoarthrosis, therapy – Lithotripsy, instrumentation – Lithotripsy, methods.

Le pseudoartrosi ipertrofiche o atrofiche sono ancora oggi una temibile complicanza delle fratture<sup>1</sup>.

Indirizzo per la richiesta di estratti: S.Russo – Clinica Ortopedica Policlinico Federico II – Via S.Pansini, 5 – 80131 Napoli, Italia. E-mail: [serghiey@hotmail.com](mailto:serghiey@hotmail.com)

Tabella I. -Distribuzione per sede delle pseudoartrosi sottoposte a trattamento con onde d'urto.

Sede	Università Napoli	Università Verona	Totale
Falange/Metacarpo	15	11	26
Scafoide carpale	153	14	127
Ulna	22	11	33
Radio	19	8	27
Omero	20	4	24
Capitato	2	0	2
Clavicola	9	0	9
Femore	29	7	39
Tibia	43	24	67
Congenite di tibia	3	0	3
Sesamoide alluce	0	2	2
Perone	2	1	3
<b>Totale</b>	<b>317</b>	<b>82</b>	<b>399</b>

Tabella II. -Distribuzione per tipo delle pseudoartrosi sottoposte a trattamento con onde d'urto.

Sede	Oligotrofiche	Ipertrorfiche	Totale
Falange/Metacarpo	18	8	26
Scafoide carpale	144	23	167
Ulna	24	9	33
Radio	17	10	27
Omero	10	14	24
Capitato	2	0	2
Clavicola	7	2	9
Femore	16	20	36
Tibia	39	28	67
Congenite di tibia	3	0	3
Sesamoide alluce	2	0	2
Perone	2	1	3
<b>Totale</b>	<b>284</b>	<b>115</b>	<b>399</b>

La maggior parte degli A. è concorde nel riconoscere come cause più probabili di pseudoartrosi l'instabilità del focolaio di frattura (condizione biomeccanica) e la scarsa o assente vitalità delle estremità di frattura (condizione biologica) <sup>2, 3</sup>.

Tali fattori rappresentano condizioni sfavorevoli affinché l'attività riparativa cellulare della sede di frattura si possa esplicare con modalità tali da raggiungere la completa consolidazione della frattura.

Le numerose e recenti acquisizioni nel campo del trattamento incruento delle fratture e dei ritardi di consolidazione (campi magnetici pulsanti o CEMP, stimolazione ultrasonica a bassa intensità, ecc.) ed i notevoli progressi delle tecniche chirurgiche (spongioplastica, cruentazione dei capi ossei, fissazione esterna dinamica) non garantiscono un risultato sicuro ed espongono al rischio di decorsi molto prolungati o d'ulteriori complicanze. Per le suddette motivazioni le pseudoartrosi presentano un notevole costo sociale oltre che un elevatissimo costo economico per le strutture sanitarie.

Fin dai primi anni '90 la litotrissia ha mostrato di possedere meccanismi d'azione razionalmente sfruttabili nel trattamento delle pseudoartrosi <sup>4-7</sup> e ciò in virtù della particolare similitudine tra l'impedenza acustica d'alcune forme di cristalli di calcolo

renale e quella dei cristalli di idrossiapatite dell'osso. Le onde d'urto riattiverebbero attraverso molteplici meccanismi i processi d'osteogenesi spentina nel tessuto di pseudoartrosi.

Gli ultimi anni si sono arricchiti di un gran numero di contributi scientifici sulla validità sperimentale e clinica delle onde d'urto ad alta energia nell'induzione dell'osteogenesi riparativa<sup>8,9</sup>; allo stesso tempo il numero delle indicazioni al trattamento con tale tecnica è andato via via crescendo<sup>10-15</sup>.

Il presente lavoro consiste nella disamina dei risultati ottenuti relativamente al trattamento di 399 casi di pseudoartrosi trattati con onde d'urto. Gli A. alla luce dei risultati ottenuti forniscono importanti dati circa le indicazioni e le modalità di trattamento, individuando, altresì i principali fattori prognostici che caratterizzano la cura di tali patologie mediante onde d'urto.

## Materiali e metodi

Gli A. riportano una casistica relativa a 399 casi di pseudoartrosi trattate con ESWT.

Di questi, 317 sono stati trattati presso il Policlinico Federico II di Napoli ed 82 presso il Policlinico Borgo Roma di Verona.

La durata media di queste era di 14 mesi, con una media pari ad 1,3 interventi chirurgici eseguiti per ciascun paziente prima di essere sottoposti alle onde d'urto.

La casistica mostra la distribuzione per sede (tab. I) e tipo di pseudoartrosi (tab. II).

Sono state escluse dal trattamento le pseudoartrosi infette, nonché quelle con perdita degli assi e dei rapporti articolari.

La presenza di mezzi di sintesi, sia essi sia interni, non sono stati invece considerati motivo di esclusione dal protocollo trattamento.

Nei pazienti in cui questi non erano presenti si è provveduto ad un'immobilizzazione in gesso al termine delle applicazioni ed i mezzi di contenzione sono stati mantenuti fino a consolidazione avvenuta.

Sono state impiegate due diverse apparecchiature elettromagnetiche a bobina con escursione di potenza fino ad un massimo di 1,06 mj/mm<sup>2</sup> (Napoli) e 0,84 mj/mm<sup>2</sup> (Verona). Il protocollo di trattamento ha previsto, per i piccoli segmenti, due sedute a 48 ore di distanza l'una dall'altra con 3/4.000 colpi e a potenze comprese tra 0,5 e 0,69 mj/mm<sup>2</sup>. Per i grossi segmenti le sedute sono state quattro, con un numero uguale di colpi ma con potenze mediamente più elevate, comprese tra i 0,5 e 0,84 mj/mm<sup>2</sup>.

Per alcuni pazienti si è provveduto, a distanza di un mese dal termine della terapia, ad un secondo ciclo di applicazioni con le stesse caratteristiche del primo.

Questo per ch  la consolidazione ottenuta era insufficiente o addirittura assente.

## Risultati

Vengono di seguito riportati i risultati a sei di mesi di distanza dal trattamento (tab. III).

Dall'analisi di tali dati sono evidenti alcune discrepanze tra le percentuali di guarine relative a specifici segmenti scheletrici.

La media generale di consolidazione   del 66,16%.

In particolare la *clavicola* ha presentato una percentuale di consolidazione del 100%

la *tibia*, segmento di cui ben si conoscono le problematiche legate all'elevata frequenza di consolidazione insufficiente o assente, non solo non ha opposto particolari difficolt  alla guarigione, ma mostrato addirittura una percentuale di successo del 76,11%, ben superiore alla media generale. Il *femore* nell'86% dei casi   andato incontro a completa consolidazione dopo il trattamento (fig. 1-5). Di contro un segmento quale *l'omero* ha mostrato soltanto un 25% di consolidazione (fig. 6-10) contro un 45,83% di insuccessi e un 29,16% di risposte parziali.

Nel trattamento delle pseudoartrosi dell'*ulna* (fig. 11-14) e del *radio* (fig. 15 e 16) sono stati ottenuti risultati soddisfacenti.

Sede	Totale n. casi Napoli/Verona	Consolidazione		Parziale Consolidazione		Assenza di consolidazione	
		n.	%	n.	%	n.	%
Falange/metacarpo	26	24		1		1	
Scafoide carpale	167	88	52,69	50	29,94	29	17,36
Ulna	33	27		3		3	
Radio	27	22		3		2	
Omero	24	6	25	7	29,16	11	45,83
Capitato	2	2		0		0	
Clavicola	9	9	100	0		0	
Femore	36	31	86,11	3		2	
Tibia	67	51	76,11	8	11,94	8	11,94
Congenite di tibia	3	0		0		3	
Perone	3	2		0		1	
Sesamoide alluce	2	2		0		0	
Totale (%)	399 (100)	264		75	18,79	60	15,03



Fig.1. - F.M., paziente con frattura del femore destro nel settembre 1997, trattata con inchiodamento endomidollare. Esitata in pseudoartrosi, veniva nuovamente operata nel luglio 1998 con DOM + innesto + FEA.  
 Fig.2. - F.M., dopo 5 mesi dal DOM + innesto + FEA persiste la pseudoartrosi. Sono trascorsi 15 mesi e 2 interventi dalla frattura. La figura mostra il quadro radiografico immediatamente precedente al trattamento con onde d'urto.  
 Fig.3-4 - F.M., Rx praticata a 2 mesi dal trattamento con onde d'urto (fig.3) e a 4 mesi (fig.4): buona la stabilità che ha permesso la rimozione del FEA.  
 Fig.5 - F.M., Rx a 6 mesi dal trattamento con onde d'urto. Consolidazione.



Fig.6. - Z.M., esisti subamputazione 1/3 medio braccio sinistro avvenuta nel maggio 2000. La figura mostra l'esame radiografico praticato a settembre dello stesso anno; non si evidenzia consolidazione. Il paziente viene trattato con 4 sedute di onde d'urto nella zona mediale della pseudoartrosi.  
 Fig.7. - Z.M., controllo Rx dopo 40 giorni dal I ciclo della terapia. Si procede con un II ciclo di 3 sedute di ESWT sulla parte laterale della pseudoartrosi.  
 Fig.8. - Z.M., controllo Rx dopo 40 giorni dal II ciclo (80 giorni dall'inizio della terapia).  
 Fig.9. - Z.M., controllo Rx dopo 3 mesi dal II ciclo (4 mesi e mezzo dall'inizio della terapia). Consolidazione.

Segmento i cui risultati meritano un'analisi a parte è lo *scafoide carpale*.

Quest'osso, nonostante sia fornito di un circolo vascolare di tipo terminale che ne condiziona una frequente evoluzione in pseudoartrosi su base vascolare e successiva necrosi del polo prossimale, mostra una percentuale di ripaazione (52,69% di consolidazioni e 29,94% consolidazioni parziali) lievemente inferiore rispetto alla media generale e, comunque ben superiore a quella dell'omero.

## Discussione e conclusioni

L'efficacia delle onde d'urto nel trattamento delle pseudoartrosi è sicuramente legata a molteplici fattori<sup>16</sup>.

Alcuni A. hanno ipotizzato che le onde d'urto determinerebbero una rottura dei legami tra le molecole di fosfato tricalcico costituenti i macrocristalli inerti di idrossiapatite. Si verrebbero a formare così dei microcristalli di idrossiapatite che agirebbero come nuclei di aggregazione calcica, siti attivi di innesco del processo di ossificazione. Al contempo,

attraverso l'induzione di microfissurazioni dell'osso ed alla formazione di un ematoma perifocale si realizzerebbe una ripresa dei fenomeni riparativi dell'osso.

Studi sperimentali hanno dimostrato un aumento della permeabilità capillare ed un conseguente incremento del flusso ematico e

ella quantità di ossigeno e metaboliti disponibili<sup>17, 18</sup>.

Tale effetto risulterebbe particolarmente utile nel trattamento delle pseudoartrosi in cui il ridotto apporto locale di metaboliti ed ossigeno, riferibile tanto all'instabilità



Fig.11,12 – B.F., 36 anni, frattura dell'ulna sinistra nel marzo 1993. Operata in urgenza con chiodo endomidollare. Esitata in pseudoartrosi. Nuovo intervento nell'aprile 1994 con DOM + innesto + placca. La pseudoartrosi non guarisce. Nel marzo 1999 si verifica la rottura della placca sicchè si procede ad un terzo intervento chirurgico nell'ottobre 1999 (nuovamente DOM + innesto + placca). La figura mostra il persistere della pseudoartrosi a 6 mesi dall'ultima operazione. Il paziente viene sottoposto a 4 sedute di onde d'urto.

Fig.13,14 – B.F., 36 anni. Risultato radiografico a 4 mesi dal termine della terapia con onde d'urto.

Fig.15 – C.F., frattura del radio sinistro nel gennaio 2000. Trattata con gesso. La figura mostra la pseudoartrosi dopo 7 mesi dalla rimozione del gesso e prima di iniziare la terapia con onde d'urto.

Fig.16 – C.F., esame radiografico praticato a distanza di 2 mesi dal termine della terapia con onde d'urto.

interframmentaria quanto, alle caratteristiche intrinseche dell'osso fratturato o alle condizioni generali del paziente, determina la differenziazione delle cellule mesenchimali totipotenti in condroblasti produttori di tessuto fibroso anziché in osteoblasti<sup>19</sup>.

Gli A., alla luce della personale esperienza clinica ed a recenti studi sperimentali condotti sia *in vitro* che *in vivo*<sup>20, 21</sup>, sono portati ad affermare che esistono ulteriori ed importanti meccanismi alla base dell'efficacia delle onde d'urto sul tessuto osseo in pseudoartrosi.

La conoscenza di tali meccanismi spiega la diversa sensibilità dei segmenti scheletrici al trattamento con onde d'urto.

Il fattore vascolare in termini di incremento del flusso ematico locale successivamente all'applicazione delle onde d'urto influisce certamente sull'evoluzione di una pseudoartrosi trattata con ESWT, ma tale fenomeno non sembra l'unico, e forse neanche il più importante per il processo riparativo mediato dalle onde d'urto. È più probabilmente la riattivazione dei fenomeni riparativi dell'osso attraverso una fase di

«cruentazione a cielo chiuso» ad essere responsabile dell'efficacia delle onde d'urto. La rottura delle lamelle ossee ed il secondario microsanguinamento locale non è sempre ottenuto durante l'applicazione delle onde d'urto ma esso risulta in funzione dello sviluppo della cavitazione.

La cavitazione è un fenomeno fisico che descrive particolari movimenti di bolle di gas o vapore in un fluido<sup>22</sup>. È stato dimostrato sia *in vitro*<sup>23</sup> che *in vivo*, che i moderni litotrittori sono capaci di indurre cavitazione nei fluidi interstiziali dei tessuti sottoposti a trattamento. Sono, così, liberati enormi quantitativi di energia sotto forma di microgetti di liquido ad altissima velocità.

Gli A. hanno dimostrato che ciò avviene anche nell'uomo nel corso di trattamento per diverse patologie; hanno descritto, inoltre, come l'effetto cavitazionale si sviluppi solo per determinate condizioni<sup>20, 21</sup>. Tra i fattori principali che consentono di ottenere l'effetto cavitazionale nel tessuto osseo, vi sono le caratteristiche spaziali dell'osso stesso ed in particolare è il rapporto relativo tra spessore della corticale e componente midollare ad essere determinante: nel contesto della

corticale non si sviluppa cavitazione, questa compare appena il fuoco delle onde d'urto è posto nella midollare ed è presente fino ad una profondità di 2,5 cm dalla superficie dell'osso; ad una profondità nell'osso superiore ad 2,5 cm dalla corticale ottenere la cavitazione non è possibile pur impiegando valori di energia molto elevati. Bersagli indivi duati ad una profondità superiore ad 2,5 cm non verranno ad essere coinvolti dall'effetto di cavitazione. Probabilmente l'affastellamento delle lamelle ossee nella corticale rende indisponibile un adeguato spazio per la generazione e lo sviluppo di bolle di cavitazione. Ben altrimenti avviene per la midollare dove lo spazio è più che sufficiente. La corticale non rappresenta comunque una barriera al propagarsi dell'onda d'urto.

Ne deriva che per la struttura tridimensionale e la concentrazione di acqua in alcuni segmenti ossei la cavitazione si sviluppi con relativa facilità, in altri, ciò avviene per valori superiori di energia, in altri ancora, pur impiegando intensità di energie molto elevate non si ottiene cavitazione. Questo sarebbe alla base dell'alta percentuale di insuccessi registrati nel trattamento di particolari distretti ossei come l'omero in cui, a livello diafisario, il rapporto midollare/corticale risulta sbilanciato in favore di quest'ultima e la midollare è più densa che in altri distretti.

La clavicola rappresenta, invece, l'osso ideale per la terapia con ESWT proprio per la superficialità della stessa, per le scarse dimensioni del diametro trasverso e la notevole rarefazione delle lamelle ossee a fronte di una corticale molto esigua. La tibia presenta anch'essa una buona rappresentazione nella midollare. Per lo scafoide giocano invece un ruolo chiave i fattori vascolari pur bilanciati da un più favorevole rapporto corticale/midollare.

Altro aspetto importante che deriva da quanto detto in precedenza è che nel corso di trattamento di segmenti ossei grossi affetti da pseudoartrosi poiché non si sviluppa cavitazione ad una profondità superiore a 2,5 cm dalla superficie, è necessario ruotare la finestra d'ingresso in modo tale da lavorare in cavitazione tutto intorno al perimetro osseo. Tale accorgimento è fondamentale nel trattamento delle pseudoartrosi omerali non è necessario, invece, nel caso della clavicola. L'analisi dei dati presentati nello studio

offre, inoltre, informazioni utili allo specialista impegnato nella scelta della terapia da intraprendere. L'approccio terapeutico con le onde d'urto deve essere preceduto da un accurato studio clinico e radiografico, che permetta di escludere la presenza di rotazione o marcati spostamenti angolari dei capi di frattura. Anche la durata della pseudoartrosi è un elemento importante da considerare: i pazienti in cui la pseudoartrosi data da diversi anni non rappresentano i candidati migliori all'utilizzo delle onde d'urto.

Altro fattore importante per la riuscita del trattamento è l'adeguatezza dei macchinari impiegati: l'uso di apparecchiature dotate di sistemi di puntamento e localizzazione rappresenta un elemento tecnico fondamentale. In particolare è richiesta massima precisione dell'area di applicazione delle onde d'urto sul focolaio di pseudoartrosi nella terapia dei piccoli segmenti ossei. Risulta importante, infine, la stretta osservanza delle controindicazioni di ordine generale e locale al trattamento con onde d'urto<sup>24, 27</sup>.

In conclusione, la terapia con onde d'urto con le giuste indicazioni e la corretta selezione dei pazienti, può essere considerata il golden standard nel trattamento delle pseudoartrosi. Si tratta, infatti, di una metodica incurante, ben tollerata dai pazienti, priva di importanti complicanze, caratterizzata da bassi costi per la struttura sanitaria essendo praticabile in regime di day hospital. Non possono essere sottovalutati, d'altronde, i costi diretti ed indiretti di tecniche operatorie complesse che, spesso, richiedono tempi microchirurgici, anastomosi vascolari e prelievi ossei in sedi anche lontane.

## Riassunto

*Obiettivo.* Le onde d'urto rappresentano una terapia oramai consolidata nel trattamento delle pseudoartrosi. Si tratta di una metodica caratterizzata non solo da una percentuale elevata di successi ma ben tollerata ed accettata dal paziente per la sua noninvasività ed assenza di complicanze.

*Metodi.* Gli Autori riportano la personale esperienza maturata nel trattamento delle pseudoartrosi mediante onde d'urto elettromagnetiche presso i due diversi Servizi di Terapia ESWT delle Università di Napoli "Federico II" e di Verona "Borgo Roma". La casistica comprende 399 casi di pseudoartrosi

interessanti i diversi segmenti ossei. I dati presentati si riferiscono ad un periodo che va da gennaio 1995 ad ottobre del 2000. Tutti i casi riportati nello studio presentano un follow-up compreso tra uno minimo di sei mesi ed uno massimo di sei anni. Il protocollo di terapia con onde d'urto ha previsto un numero d'applicazioni, un'intensità d'energia ed un numero di colpi variabili in base alla durata, alla sede ed alla gravità della pseudoartrosi.

**Risultati.** La percentuale di successi ottenuta è stata considerevolmente elevata, pur con notevoli differenze in base alla sede della patologia. Gli Autori sulla scorta di recenti studi sperimentali forniscono una personale interpretazione delle ragioni alla base degli insuccessi riscontrati, in particolare per alcuni distretti ossei.

La metodica ha mostrato sempre una totale assenza d'effetti collaterali o indesiderati per i protocolli utilizzati.

**Conclusioni.** La discussione dei risultati ottenuti nel corso di cinque anni di trattamenti fornisce al lettore dati importanti circa le indicazioni, i protocolli di terapia, i fattori prognostici e la percentuale di successi attesi in base alla durata ed alla sede della pseudoartrosi trattata con le onde d'urto.

Le poche controindicazioni, l'alta percentuale di successi, i costi ridotti per le strutture sanitarie che possono utilizzare un regime di ricovero in day hospital e la semplicità d'impiego fanno delle onde d'urto una valida soluzione per lo specialista impegnato a trattare i difetti di consolidazione dell'osso.

Parole chiave: Pseudoartrosi, terapia - Onda d'urto - Litotrissia.

## Bibliografia

1. Weber BG, Cech O. Pseudoartrosi, Padova: Piccin, 1989.
2. Frost HM. The Biology of fracture healing: an overview for clinicians. Part I and II. Clin Orthop Rel Res 1989;248:283-209.
3. Judet R, Judet J, Roy Camille R. La vascularisation des pseudarthroses des os longs d'après une étude clinique et expérimentale Revue de Chirurgie Orthopédique 1958;44:5-14.
4. Corrado EM, Russo S, Gigliotti S, de Durante C, Marinò D, Cozzolino E *et al.* Le onde d'urto ad alta energia nel trattamento delle pseudoartrosi. G IC Ortop Traumatol 1996;22(2):485-90.
5. Delius M. Biological effects of shock waves. *In vivo* effect of high energy pulses on rabbit bone. Ultrasound Med Biol 1995;21(9):1219.
6. Schleberger R, Senge T. Non invasive treatment of long bone pseudoarthrosis by shock wave. Arch Orthop Trauma Surgery 1992;111:224-7.
7. Valchanov VD, Michailov P. High energy shock waves in the treatment of delayed and nonunion of fractures. Int Orthop 1991;15:181-4.
8. Haupt G. Use fo E.S.W. in treatment ot pseudoarthrosis, tendinopathy and other orthopaedic diseases. J Urol 1997;158-:4-11.
9. Vogel J, Hopf C, Eysel P, Rompe JD. Application of extracorporeal shock-waves in the treatment ot pseudarthrosis of the lower extremity. Preliminary results. Arch Orthop Trauma Surg 1997;116(8):480-3.
10. Loew M, Daecke W, Kusnierczak D, Rahmzadeh M, Ewerbeck V. Shock-wave therapy is effective for chronic calcifying tendinitis of the shoulder. J Bone Joint Surg Br 1999;81(5):863-7.
11. Rompe JD, Kirkpatrick CJ, Kullmer K, Schwitalle M, Krschek O. Dose-related effects of shock waves on rabbit tendo Achillis. A sonographic and histological study. J Bone Joint Surg Br 1998;80(3):546-52.
12. Russo S, Galasso O, Stoßwellentherapie der Hüftkopfnekrose. Stoßwellentherapie 2001;17:171-7.
13. Russo S, Gigliotti S, de Durante C, Passaretti U. The treatment of shoulder pain with shock waves. J Hand Surg 1997;22b:57.
14. Russo S, Gigliotti S, de Durante C, Passaretti U. The treatment of footballer's

- tendinopathies. *J Sports Traumatol Rel Res* 1999;2:84-8.
15. Russo S, Galasso O, Corrado B, Andretta D. Le onde d'urto nel trattamento dell'osteonecrosi della testa del femore agli stadi iniziali. *G It Ortop Traumatol* 1999;25(2):207-14.
  16. Delius M. Medical applications and bioeffects of extracorporeal shockwaves. *Shockwaves* 1995; 4:55-72.
  17. Seidl M, Steinback P, Worle K, Hofstadler F. Induction of stress fibers and intercellular gaps in human vascular endothelium by shock waves. *Ultrasonics* 1994;32(5):397-400.
  18. Seidl vi. Shock wave induced endothelial damage – *in situ analysis* by confocal laser scanning microscopy. *Ultrasound Med Biol* 1994;20(6):571.
  19. Schenk R, Hunziker E. Histologic and ultrastructural features of fracture healing. In: Brighton CT, Friedlander GE, Lane JM, editors. Bone formation and repair. Rosemont: AAOS, 1994.
  20. Russo S, Marlinghaus E, Amelio E, Corrado B, Galasso O, Cugola L *et al.* Le onde d'urto nel trattamento delle pseudoartrosi: valutazione clinica e sperimentale della risposta neo-osteogenetica. *G It Ortop Traumatol* 2000;26:20-31.
  21. Russo S, Galasso O, Marlinghaus E, Hagelauer U, Mayer J. The *in vitro* cavitation measurement In: Proceedings of the 3<sup>rd</sup> Congress of the International Society for Musculoskeletal Shockwave Therapy. Napoli, 1-3 Giugno, 2000.
  22. Apfel RE. Acoustic cavitation. In: Methods of experimental physics. New York: Academic Press, 1981;19:355-411.
  23. Coleman AJ, Sanders JE, Crum LA, Dyson M. Acoustic cavitation generated by an extracorporeal shock wave lithotripter. *Ultrasound Med Biol* 1987;13:69-75.
  24. Brummer F, Brummer J, Brauner T, Hulser D. Effects of shock waves on suspended and immobilized L 1210 cells. *Ultrasound Med Bio* 1989;15:229-34.
  25. Buch M, Siebert W. Extracorporeal shock waves in orthopaedics. Heidelberg: Springer Verlag Berlin Ed., 1997.
  26. Coombs R, Schaden W, Zhou SSH. Musculoskeletal Shockwave Therapy. London: Greenwich Medical Media Ltd., 2000.
  27. Leslie D, Christopher PJ. Effects of shock waves on the structure and growth of the immature rat epiphysis. *J Urol* 1989;141:670-4.