

ARTICOLO ORIGINALE

Miglioramento della resistenza e della performance muscolare mediante trattamento con onde d'urto defocalizzate

Prof. Previtera Antonino Michele*, Dott. Concardi Gianluca*, Dott.ssa Pagani Rossella*, Dott.ssa Golasseni Daniela*, Dott.ssa D'Agostino Cristina**, Dott. Respizzi Stefano**, Dott. Gallozzi Francesco*, Dr. Cerri Andrea*, Dr. De Bettin Federico*, Dr. Vecchio Luca*

* DISS Università degli Studi di Milano – Polo San Paolo - U. O. di Riabilitazione Specialistica

** Humanitas Research Hospital, Milano - Dipartimento Riabilitazione e Recupero Funzionale

Abstract

Scopo di questo studio è la valutazione degli effetti di un trattamento con onde d'urto defocalizzate sull'attività del muscolo scheletrico in termini di resistenza e di performance.

Sono stati reclutati 60 soggetti sani, 30 maschi e 30 femmine. 40 pazienti sono stati sottoposti al protocollo di intervento, mentre 20 hanno partecipato al gruppo di controllo, senza ricevere il trattamento con onde d'urto.

Al termine di un ciclo di quattro sedute di onde d'urto si è osservato un aumento dell'Endurance Time e una diminuzione della Frequenza Cardiaca Massimale durante il test da

sfuerzo a carico costante su cicloergometro.

A 12 settimane dalla fine del trattamento i valori della Frequenza cardiaca Massimale non hanno subito variazioni statisticamente significative, mentre quelli dell'Endurance Time hanno subito un ritorno ai valori basali.

Per quanto riguarda la performance muscolare si è visto un miglioramento significativo alla valutazione T_1 , subito dopo la terapia con onde d'urto, e alla valutazione T_2 , 12 settimane dopo l'ultima seduta di onde d'urto, rispetto alla valutazione iniziale a T_0 . Non è stata evidenziata una differenza statisticamente significativa tra i valori rilevati a T_1 e quelli a T_2 .

I risultati di questo studio suggeriscono che il trattamento con onde d'urto defocalizzate può portare a un miglioramento dell'attività del muscolo scheletrico in termini di performance e di resistenza muscolare senza provocare alcun tipo di danno ai tessuti. Questi risultati aprono possibilità di applicazione di questa metodica sia in ambito clinico (per esempio per il recupero funzionale dell'amiotrofia *ex non usu*), sia in ambito sportivo.

Keywords: *Shockwave therapy, muscular microcirculation, neoangiogenesis, capillarization, muscular resistance, mechanotransduction, biological mechanism of shockwaves.*

Introduzione

Le onde d'urto sono una valida opzione terapeutica che trova plurime indicazioni in diversi campi della medicina, così come descritto nel consenso della Società Internazionale per la Terapia Muscolo-Scheletrica con Onde d'Urto (I.S.M.S.T.) e nelle linee guida della Società Italiana Terapia con Onde d'Urto (S.I.T.O.D.) (1).

Il meccanismo d'azione di questa terapia, seppur non ancora spiegato nei minimi dettagli, si è dimostrato in grado di generare una serie di fenomeni biologici principalmente: neoangiogenesi o vasculogenesi, riattivazione dei processi riparativi e un effetto antalgico (2,3).

L'ipotesi di partenza del nostro studio deriva dalla valutazione delle possibili relazioni tra i meccanismi neurofisiologici della contrazione muscolare e il meccanismo d'azione delle onde d'urto applicate ai tessuti biologici.

Si è partiti dal presupposto che le onde d'urto possano portare a un miglioramento dell'attività del muscolo scheletrico sia in termini di resistenza, sia in termini di performance.

La ricerca bibliografica effettuata ha permesso di trovare un unico lavoro nel quale è stato valutato il miglioramento del gesto atletico di golfisti e body-builder dopo somministrazione di onde d'urto (4).

È stato ampiamente dimostrato che le onde d'urto, entro i range di energia

usualmente utilizzati in ambito terapeutico, non causano lesioni ai tessuti normali

Abbiamo dunque realizzato uno studio volto alla verifica dei possibili effetti positivi delle onde d'urto a carico del muscolo scheletrico di soggetti sani.

L'obiettivo del presente lavoro consiste nel proporre uno specifico protocollo di somministrazione di onde d'urto defocalizzate e di verificarne, in via preliminare, gli effetti sulla performance, sulla resistenza e la tollerabilità in pazienti sani.

Materiali e metodi

Lo studio si è svolto presso l'ambulatorio dell'U.O. di Riabilitazione Speciali-

stica dell'ASST Santi Paolo e Carlo - Presidio Ospedaliero San Paolo di Milano, afferente al Dipartimento di Scienze della Salute dell'Università degli Studi di Milano, nel periodo tra Marzo e Settembre 2018.

Sono stati arruolati soggetti volontari sani rispondenti ai seguenti criteri di inclusione ed esclusione:

Tabella 1. Criteri di inclusione

Criteri di inclusione:
Età compresa tra 19 e 35 anni
Attività fisica classificata come SUFFICIENTEMENTE ATTIVA secondo il questionario IPAQ short version (64,65)

Tabella 2. Criteri di esclusione

Criteri di esclusione:
Coagulopatie
Impianto di pacemaker
Tumori maligni
Persona classificata come INATTIVA secondo il questionario IPAQ short version
Persona classificata come ATTIVO O MOLTO ATTIVO secondo il questionario IPAQ short version
Fratture ossee negli ultimi sei mesi
Ricoveri per traumatismi negli ultimi sei mesi
Lesioni muscolari negli ultimi sei mesi
Ricoveri per patologie muscolo scheletriche negli ultimi sei mesi
Patologie dell'apparato respiratorio

Partendo da alcuni dati in letteratura per i campioni di soggetti sani abbiamo stimato che, considerando una deviazione standard nella misurazione ottenuta dal test di Sargent (1921, cfr. dopo) di 7 cm, il reclutamento di 36 soggetti ci avrebbe permesso di individuare un incremento nel valore del test di 3 cm con errore di tipo alfa del 5% e una potenza dell'80%. Sono stati quindi reclutati nel gruppo di intervento 40 soggetti, ipotizzando una percentuale di drop-out del 10%.

Sono stati arruolati 30 soggetti di sesso maschile e 30 soggetti di sesso femminile.

È stato eseguito un campionamento non probabilistico (di convenienza). Tuttavia, non è stata eseguita alcuna selezione dei soggetti, in quanto sono stati arruolati tutti i soggetti che rispondevano ai criteri sopra indicati,

occorsi alla nostra osservazione. È stata così garantita comunque una certa casualità nel campionamento.

I 60 soggetti sono stati suddivisi in due gruppi con una numerosità di 40 soggetti sottoposti a trattamento (G1: gruppo di casi) e 20 soggetti non sottoposti a trattamento (G2: gruppo di controllo).

La selezione dei soggetti da assegnare al gruppo di controllo è avvenuta attraverso randomizzazione semplice basata sull'estrazione di 10 numeri casuali tra i soggetti di sesso femminile e quelli di sesso maschile:

Per i maschi i numeri: 4, 5, 9, 10, 11, 13, 15, 20, 22, 28;

Per le femmine i numeri: 3, 6, 7, 9, 12, 13, 14, 22, 23, 26.

Poiché non è stato eseguito un campionamento probabilistico nell'arruolamento, ancorché sia stata eseguita la manipolazione della variabile indipendente, lo studio non può essere definito sperimentale, ma è inquadrabile in un *quasi-experimental-study*.

Il razionale dello studio deriva dall'analisi del meccanismo d'azione delle onde d'urto e della contrazione muscolare. Numerosi lavori presenti in letteratura indicano i fenomeni biologici coinvolti nell'azione delle onde d'urto (5,6), la nostra idea è che questi possano influire positivamente sia sulla performance che sulla resistenza muscolare.

Per verificare questa ipotesi le variabili prese in considerazione sono state: per la performance muscolare: variazione dell'altezza massima del salto calcolata a seguito dell'esecuzione del test di Sargent; per la resistenza muscolare: endurance time (ET), scala di BORG e frequenza cardiaca durante l'esecuzione di un test da sforzo a carico costante su cicloergometro.

Ipotesi nulla

La metodica utilizzata nel campione sottoposto a trattamento non determina variazioni statisticamente significative delle variabili prese in considerazione.

Ipotesi alternativa

Il risultato dei test, dopo la somministrazione di onde d'urto defocalizzate,

è esclusivamente migliorativo, semmai nullo, ma certamente non peggiorativo della condizione *quo ante*.

Ogni soggetto è stato sottoposto a quattro sedute con onde d'urto defocalizzate (apparecchiatura elettromagnetica DUOLITH® SDI T-TOP-STORZ con sonda planare P-SW).

Tutti i soggetti sono stati esaustivamente informati circa la modalità di esecuzione dei test e il meccanismo d'azione del trattamento con onde d'urto. I soggetti sono stati anche informati circa le controindicazioni e i possibili effetti collaterali della somministrazione di onde d'urto defocalizzate secondo le più moderne conoscenze in materia, precisando che in qualsiasi momento ciascun soggetto avrebbero potuto decidere di interrompere il trattamento.

La densità di energia scelta per ogni colpo è stata pari a 0,25 mJ/mm². I muscoli sottoposti al trattamento sono stati quelli maggiormente coinvolti nel salto che è stato analizzato, il *countermovement jump*, e quelli interessati nella pedalata in un test da sforzo a carico costante su cicloergometro.

Sono stati somministrati 1000 colpi sul muscolo vasto laterale (7,8), 1000 sul muscolo vasto mediale, e altri 1000 sul muscolo gastrocnemio (9) di entrambi gli arti inferiori per un totale di energia erogata pari a 8,17 J/1000 colpi su ogni soggetto. Le sedute sono state distanziate una dall'altra da un intervallo di tempo di sette giorni.

Tabella 3. Percentuale di fibre muscolari rosse, bianche e intermedie nei muscoli analizzati nello studio

Muscolo	Fibre rosse (tipo I) %	Fibre bianche (tipo IIb) %	Fibre intermedie (tipo IIa) %
Vasto mediale, quadricipite Femorale	50	35	15
Vasto laterale, Quadricipite Femorale	45	35	20
Gemelli	50	30	20

I soggetti sottoposti a trattamento alla valutazione iniziale (T0) sono stati sottoposti al test di Sargent e dopo venti minuti al test da sforzo a carico costante su cicloergometro.

Successivamente sono stati sottoposti a quattro sedute di onde d'urto a distanza di sette giorni l'una dall'altra. In seguito all'ultima seduta i soggetti sono stati sottoposti nuovamente al test di Sargent e dopo venti minuti al test da sforzo a carico costante su cicloergometro (T1).

A dodici settimane dall'ultimo trattamento i soggetti sono stati valutati per un'ultima volta tramite il test di Sargent e dopo venti minuti hanno eseguito il test da sforzo a carico costante su cicloergometro (T2).

I soggetti appartenenti al gruppo di controllo sono stati valutati con le stesse metodiche e gli stessi intervalli temporali, senza esser stati sottoposti a trattamento con onde d'urto.

Test utilizzati

Nello studio sono stati utilizzati il test di Sargent per valutare la performance muscolare in termini di forza esplosiva e il test da sforzo a carico costante su cicloergometro per valutare la resistenza muscolare.

Test di Sargent

Il soggetto si posiziona in stazione eretta col fianco rasente al muro. Con il braccio con il braccio disteso è individuato il punto più alto del muro che il paziente riesce a toccare con le dita della mano adiacente alla parete (M1). È richiesto al paziente di effettuare un salto verticale segnando sul muro l'altezza raggiunta con le dita (M2). Il test è eseguito tre volte con un intervallo minimo di 45 secondi tra una prova e l'altra. È registrata la prova nella quale il soggetto raggiunge l'altezza maggiore, considerando come outcome la variazione tra M1 e M2.

Test da sforzo a carico costante su cicloergometro

Il soggetto è stato sottoposto a un test da sforzo con cicloergometro a carico costante pari all'80% del lavoro massimale stabilito con un algoritmo basato sull'età, il sesso, l'altezza e il peso del paziente, sino all'interruzione determinata dall'incapacità di mantenere la frequenza di pedalata richiesta (60 rpm). Sono stati rilevati il tempo totale di esercizio, la fatica (tramite scala di BORG), la frequenza cardiaca e i valori ossipulsimetrici di saturazione ogni 60 sec e al picco. Sono stati inoltre re-

gistrati i valori di frequenza cardiaca a 1, 2 e 3 minuti dopo il termine.

Organizzazione delle sedute

I soggetti, alla valutazione iniziale, sono stati sottoposti al test di Sargent e dopo 20 minuti al test da sforzo a carico costante su cicloergometro.

Analisi statistica

L'ipotesi nulla sopra riportata comporta che i valori registrati ai tempi T_0 , T_1 e T_2 dovrebbero essere relativi a soggetti appartenenti alla stessa "popolazione". L'obiettivo dello studio, in pratica, consiste nel negare tale ipotesi.

Le variabili di outcome quantitative (altezza del salto al test di Sargent, frequenza cardiaca e durata dell'esercizio al cicloergometro) sono distribuite su una scala di rapporti ed espresse come mediana e range interquartile; la variabile di outcome qualitativa (scala di BORG) ha dato esito a valori distribuiti su una scala di ranghi e sintetizzata mediante proporzione delle singole modalità.

L'ipotesi della distribuzione di normalità delle singole variabili quantitative nei due gruppi è stata valutata con il test di Wilk-Shapiro. Il test è risultato significativo per una alcune delle variabili prese in considerazione ($p < 0,05$ idoneo per rifiutare l'ipotesi nulla di normalità), quindi. Pertanto, non essendo confermata per tutte le variabili quantitative la distribuzione normale, si è prefe-

rito eseguire per tutte le variabili un'analisi con test non parametrici.

Per il confronto delle misure ripetute intra-gruppo è stato utilizzato il test di Friedman per misure ripetute per dati non parametrici; è stata eseguita un'analisi post-hoc per i confronti a coppie con metodo di Bonferroni. I confronti tra variabili tra i due gruppi sono stati effettuati con il test U di Mann-Whitney per dati con distribuzione non parametrica, mentre i confronti tra variabili qualitative sono stati fatti tramite il test del Chi-quadro.

I dati sono stati analizzati utilizzando il pacchetto statistico Statistical Package for Social Science (SPSS Inc., Chicago IL, USA), versione 23.0.

Risultati

Il campione è composto da 30 maschi e 30 femmine. I soggetti sottoposti al protocollo di trattamento sono stati 40, mentre 20 hanno partecipato al gruppo di controllo, senza ricevere il trattamento con onde d'urto.

Nella Tabella 3 sono stati riportati le caratteristiche dei soggetti reclutati nel G1, il gruppo d'intervento e dei soggetti del G2, il gruppo di controllo.

La tabella 4 mostra che non ci sono differenze significative in termini di sesso, età, statura, peso, circonferenza di coscia e circonferenza di polpaccio tra i due gruppi.

Nella Tabella 5 sono riassunte le misurazioni basali del test da sforzo a carico

Tabella 4. Caratteristiche di G1 e G2 e la loro significatività statistica

	G1	G2	p
Sesso F/M	20/20 (50%)	10/10 (50%)	1,000
Età	21,5 (21-24)	22 (21-24)	0,955
Statura	174,5 (169,25-180)	173 (164,25-178)	0,375
Peso	62 (57-70,75)	66,5 (54-70,75)	0,975
Circonferenza coscia	49 (47,5-51)	50 (47,125-51,875)	0,700
Circonferenza polpaccio	36 (33,625-37,375)	35,5 (32,625-36,5)	0,318

Tabella 5. Misurazioni ET e FC MAX a T0

T0	G1	G2	P
ET	310 (220-505)	305 (240-378,75)	0,577
FC MAX	172 (167-178,75)	169,5 (166,25-177,5)	0,414
Carico	157 (124,5-210)	159,5 (121,5-204)	0,272

Tabella 6. G1: variabili del test su cicloergometro a carico costante nelle valutazioni T0, T1, T2, loro significatività, e significatività di T1-0, T2-1, T2-0. * p < 0,05

G1	T0	T1	T2	p	p corretta		
					T ₁₋₀	T ₂₋₁	T ₂₋₀
ET	310 (220-505)	337,5 (240-600)	300 (210-595)	0,000*	0,000*	0,002*	1,000
FC MAX	172 (167-178,75)	170 (163-176,5)	172,5 (168,25-183)	0,000*	0,002*	0,001*	1,000
BORG	7 (6-9)	8 (6-9,75)	8 (6-9)	0,045*	1,000	0,281	0,281

costante su cicloergometro alla valutazione iniziale nel gruppo 1 e nel gruppo 2. Si può vedere come non emergano differenze statisticamente significative. Dalla somministrazione del test da sforzo a carico costante su cicloergometro al campione considerato sono stati ottenuti i seguenti risultati.

La Tabella 6 mostra che all'interno del gruppo sottoposto a trattamento (G1) c'è una differenza statisticamente significativa tra i valori misurati alla valutazione iniziale (T0) e quelli evidenziati dopo le 4 sedute di trattamento (T1), con un miglioramento dell'Endurance Time (ET). A questo si accompagna una diminuzione della Frequenza Cardiaca Massimale (FC MAX).

Entrambi questi effetti non sono stati riscontrati alla rivalutazione del soggetto dopo 12 settimane dall'ultimo trattamento (T2).

In termini di percezione della fatica misurata con scala Borg non vi è una differenza statisticamente significativa.

La Tabella 7 evidenzia che non c'è una differenza statisticamente significativa tra i valori misurati alla valutazione iniziale e quelli della valutazione dopo le 4 sedute di trattamento.

La Tabella 8 riassume i delta tra le valutazioni a T0 e T1, a T2 e T1, e a T2 e T0, i quali confermano un miglioramento dell'Endurance Time e della Frequenza Cardiaca Massimale statisticamente significativo rispetto al gruppo 2.

Dalla somministrazione del test di Sargent al campione considerato sono stati ottenuti i seguenti risultati.

La Tabella 9 mostra che all'interno del gruppo sottoposto a trattamento (G1) c'è una differenza statisticamente significativa tra i valori misurati nella valutazione iniziale (T0) e quelli evidenziati dopo le 4 sedute di trattamento (T1), con un miglioramento della performance del gesto atletico. Questo

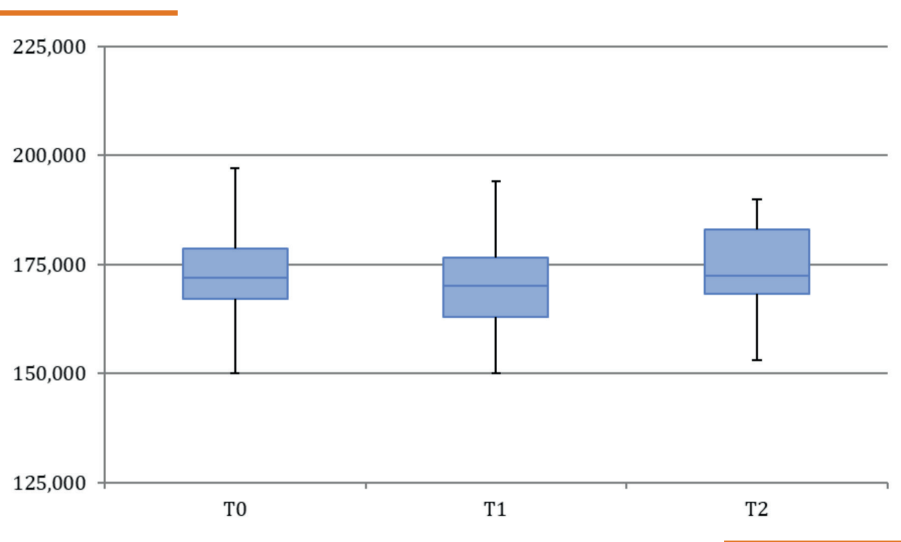


Grafico 1. Variazioni di FC MAX a T0, T1, T2

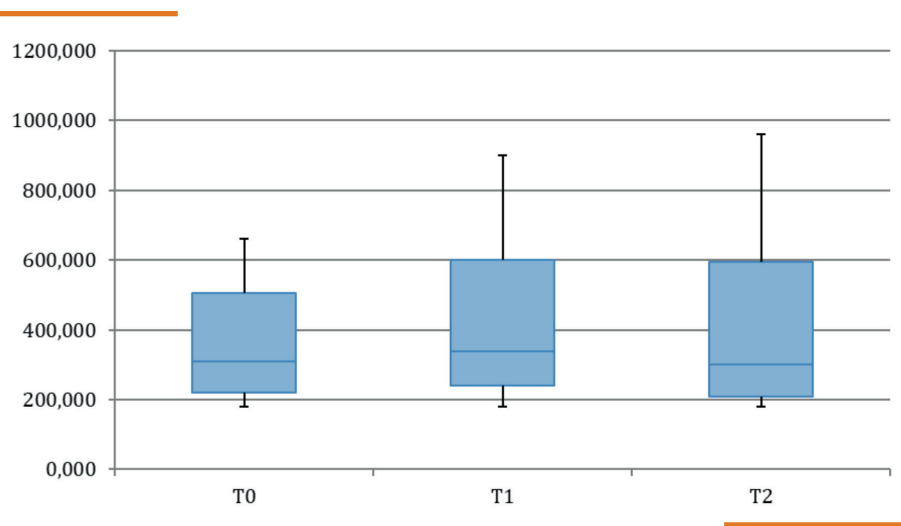


Grafico 2. Variazione di Endurance Time a T0, T1 e T2

Tabella 7. G2: variabili del test su cicloergometro a carico costante nelle valutazioni T0, T1, T2, loro significatività, e significatività di T1-0, T2-1 e T2-0

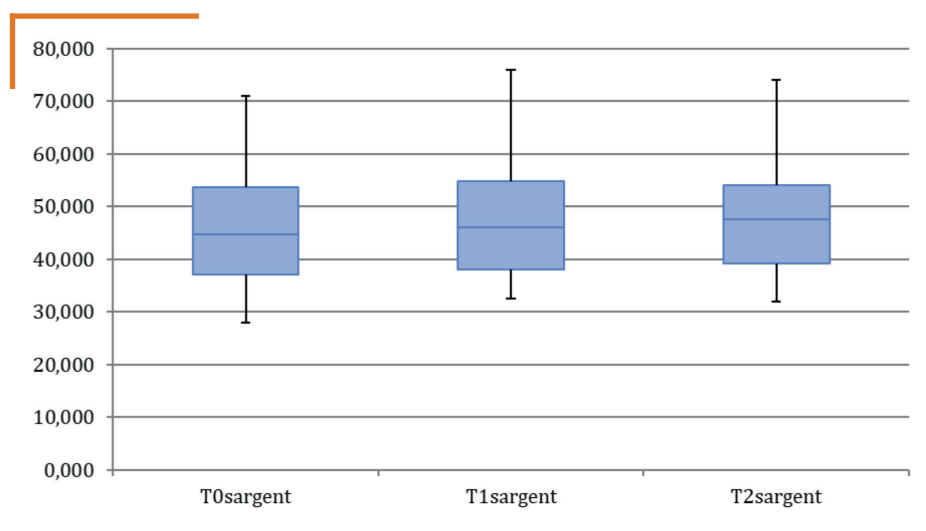
G2	T0	T1	T2	p	p corretta		
					T ₁₋₀	T ₂₋₁	T ₂₋₀
ET	305 (240-378,75)	210 (240-360)	315 (225-360)	0,285	/	/	/
FC MAX	170,5 (165,25-176,25)	169,5 (166,25-177,5)	171,5 (165-178,75)	0,358	/	/	/
BORG	8 (7-9,75)	8,5 (7,25-10)	8 (7-9,75)	0,122	/	/	/

Tabella 8. Delta tra le valutazioni a T1-0, T2-1 e T2-0. * $p < 0,05$

	T ₁₋₀		
	G1	G2	p
ET	55 (5-117,5)	-10 (-30-18,75)	0,000*
FCMAX	-2,5 (-6- -0,25)	1 (-1,75-2,75)	0,011*
	T ₂₋₁		
	G1	G2	p
ET	-22,5 (-60-0)	0 (-20-10)	0,022*
FCMAX	3 (0,25-6,75)	0 (-1,75-1,75)	0,006*
	T ₂₋₀		
	G1	G2	p
ET	0 (-23,75-60)	-12,5 (-27,5-7,5)	0,109
FCMAX	0 (-3-3)	1 (-1,75-2,75)	0,643

Tabella 9. G1: variabile del test di Sargent nelle valutazioni T0, T1, T2, sua significatività, e significatività di T1-0, T2-1, T2-0. * $p < 0,05$

G1	T0	T1	T2	p	p corretta		
					T ₁₋₀	T ₂₋₁	T ₂₋₀
ΔSargent	44,75 (37-53,75)	46 (38,12-54,75)	47,5 (39,25-54)	0,000*	0,013*	0,088	0,000*

**Grafico 3.** Variazioni di ΔSargent a T0, T1 e T2**Tabella 10.** G2: variabile del test di Sargent nelle valutazioni T0, T1 e T2, loro significatività, e significatività di T1-0, T2-1 e T2-0

G2	T0	T1	T2	p	p corretta		
					T ₁₋₀	T ₂₋₁	T ₂₋₀
ΔSargent	43,5 (37,125-51,75)	43,5 (37,25-50,75)	44 (36,5-50)	0,195	/	/	/

Tabella 11. Delta tra le valutazioni a T1-0, T2-1 e T2-0. * $p < 0,05$

	T ₁₋₀			T ₂₋₁			T ₂₋₀		
	G1	G2	p	G1	G2	p	G1	G2	p
Δ Sargent	1 (0,000-3)	0,25 (-1-1)	0,009*	1 (-0,375-2)	-0,750 (-1-0,000)	0,014*	2 (1-4)	-0,250 (-1-0,875)	0,000*

effetto si riscontra anche nella valutazione a T2. Non c'è differenza statisticamente significativa tra T1 e T2.

La Tabella 10 evidenzia che all'interno del gruppo di controllo (G2) non c'è una differenza statisticamente significativa tra i valori misurati nella valutazione iniziale, quelli nella valutazione dopo le 4 sedute e quelli nella valutazione dopo 12 settimane dall'ultimo trattamento.

Nella Tabella 11 sono riassunti i delta tra le valutazioni a T₀ e T₁, a T₂ e T₁, e a T₂ e T₀, i quali confermano un miglioramento della performance statisticamente significativo del gruppo di trattamento rispetto al gruppo di controllo.

Discussione

La ricerca bibliografica ha evidenziato un ridotto numero di studi scientifici riguardanti l'azione delle onde d'urto sul tessuto muscolare. Molti di questi non sono stati svolti su un campione umano, ma bensì su tessuto muscolare murinico.

I principali obiettivi del presente studio sono verificare la fattibilità e la non pericolosità del trattamento del tessuto muscolare sano con le onde d'urto. Entrambi questi propositi sono stati raggiunti: infatti non si sono verificati effetti collaterali in nessuno dei soggetti sottoposti al trattamento, né tanto meno drop-out dallo studio, dovuti per esempio a dolore durante la seduta di onde d'urto.

I risultati ottenuti sia in termini di performance, sia di resistenza muscolare ci portano a ipotizzare l'utilità del trattamento con onde d'urto nei soggetti che presentano amiotrofia *ex non usu*. Questo tipo di terapia potrebbe risultare molto utile, per esempio, nei soggetti sottoposti a interventi di protesizzazione di anca o di ginocchio, potendo rendere più rapido il recupero in termini di funzionalità muscolare.

Più in generale, questo trattamento potrebbe dare ottimi risultati in tutti quei soggetti che necessitano di riposo

funzionale, con conseguente ipotrofia, e nei quali si sta iniziando un trattamento riabilitativo.

Dai risultati del test da sforzo a carico costante su cicloergometro, si evince un aumento dell'endurance time tra la valutazione iniziale (T0) e la prima valutazione dopo il trattamento con onde d'urto (T1). Mentre a 12 settimane dalla fine del trattamento con onde d'urto (T2) i valori di ET diminuiscono rispetto a quelli misurati al termine delle 4 sedute di trattamento, tornando praticamente ai valori registrati a (T0).

Possiamo ipotizzare, coerentemente a quanto emerge in letteratura, che vi sia stato un aumento della densità di capillari nel tessuto muscolare.

Questa ipotesi è supportata da alcuni studi eseguiti in vitro, nei quali è stato dimostrato che un trattamento ripetitivo con onde d'urto aumenta la microcircolazione nel tessuto muscolare e il flusso sanguigno dopo un minuto dall'applicazione delle stesse (10).

Sappiamo inoltre come esista una correlazione tra il cosiddetto Critical Power, definito come massima potenza sostenibile in assenza di fatica e l'indice di capillarità, cioè la superficie di contatto tra capillari e le fibre muscolari, principalmente quelle di tipo I (11).

Sono quest'ultime, com'è noto, le fibre maggiormente coinvolte nell'esecuzione di prestazioni durature, potendo garantire un basso consumo energetico. Le fibre di tipo I, chiamate anche rosse, sono lente e con una bassa attività di miosina-ATPasi. Inoltre, queste fibre contengono una grossa quantità di mitocondri che lavorano efficacemente nella produzione energetica ossidativa (aerobica), sostenuta dalla grande irrorazione sanguigna del fitto letto capillare.

Dall'analisi dei risultati, si evidenzia una diminuzione della FC MAX immediatamente successiva all'ultimo trattamento con onde d'urto (T1), rispetto alla FC MAX misurata alla valutazione iniziale (T0).

Possiamo ipotizzare che le onde d'urto abbiano un effetto di neoangiogenesi nel tessuto muscolare, come già descritto in alcuni studi in letteratura (12,13,14,15,16,17,18), e quindi determinare un aumento del numero di capillari posti principalmente in paral-

È dimostrata una correlazione significativa tra la riduzione della densità capillare e il consumo di ossigeno al picco dello sforzo, suggerendo che la densità capillare possa influenzare la capacità ossidativa del muscolo stesso (19).

L'aumento della densità dei capillari può spiegare sia l'aumento dell'ET, grazie alla correlazione positiva tra capillari e capacità ossidativa, sia la diminuzione della FC MAX, grazie alla correlazione positiva tra resistenza vascolare e densità capillare.

I valori di FC MAX rilevati dopo 12 settimane dalla fine del trattamento con onde d'urto (T2) mostrano un incremento rispetto a quelli misurati al termine delle 4 sedute di trattamento.

La differenza tra questi ultimi e i dati raccolti durante la valutazione iniziale (T0) non risultano essere statisticamente significativi. Possiamo quindi sostenere che a 12 settimane dall'ultimo trattamento gli effetti benefici, prodotti da un'aumentata densità capillare, abbiano perso la loro efficacia. Dai risultati del test di Sargent, si evidenzia un miglioramento significativo della performance alla valutazione di (T1), subito dopo la terapia con onde d'urto, e alla valutazione di (T2), 12 settimane dopo l'ultima seduta di onde d'urto, rispetto alla valutazione iniziale a (T0). Mentre non si evidenzia una differenza statisticamente significativa tra i valori rilevati a (T1) e quelli a (T2).

Come già detto, la meccanotrasduzione induce risposte biologiche quali l'espressione di fattori di crescita, la sintesi di ossido nitrico e la neovascolarizzazione (20–23). Questi meccanismi sono strettamente legati all'uso terapeutico delle onde d'urto nelle patologie osteomuscolari, effetti che richiedono circa quattro settimane per aver luogo. Nei nostri risultati, in seguito all'esecuzione del test di Sargent troviamo un miglioramento sia a T1, appena dopo l'ultima seduta di onde d'urto, sia a T2, cioè a 3 mesi dall'ultima seduta.

Preso atto che i reali meccanismi delle onde d'urto sul tessuto muscolare non sono ancora del tutto noti, considerato che la differenza temporale di insorgenza degli effetti descritti e la loro persistenza per lungo tempo, possiamo ipotizzare che vi sia un diverso meccanismo d'azione delle onde d'ur-

to sui muscoli dei soggetti sani rispetto a quelli che si verificano nella rigenerazione delle lesioni dei tessuti molli (es. tendinopatia).

A supporto di ciò in letteratura si evidenzia come, nei muscoli spastici dei pazienti affetti da lesione cerebrale, le onde d'urto riducano il tono muscolare nel breve-medio periodo (24,25), mentre nella sindrome miofasciale le onde d'urto riducono significativamente il dolore muscolare anche subito dopo i trattamenti (26).

Questa differenza di risultati depone per la presenza di un effetto diretto delle onde d'urto sul tessuto muscolare.

Uno dei meccanismi possibili per spiegare i risultati delle onde d'urto sul tessuto muscolare potrebbe essere la riduzione dell'eccitabilità spinale. Tuttavia studi scientifici hanno dimostrato che non vi sono cambiamenti significativi nella latenza dell'onda F, nella latenza del riflesso H o rapporto H-M dopo la somministrazione delle onde d'urto (27).

Altri autori hanno proposto che la riduzione del tono muscolare indotta dalle onde d'urto possa essere spiegata da un meccanismo simile a quello alla base degli effetti degli ultrasuoni, cioè inducendo vibrazioni che agiscono sulla componente fibrosa e sulle altri componenti intrinseche dei muscoli (28). Le vibrazioni e l'aumento del flusso sanguigno indotte dalle onde d'urto potrebbero favorire il rilassamento e l'elasticità muscolare, entrambe componenti fondamentali nella capacità del tessuto muscolare di adattarsi facilmente allo stress, di dissipare l'impatto degli shock, di migliorare l'efficienza del movimento e nel ridurre al minimo la possibilità di subire danni (29).

È stato dimostrato come le onde d'urto aumentino la proliferazione cellulare e la sintesi di collagene. Si è visto che i tenociti sottoposti a trattamento con onde d'urto mostrano un aumento dei marcatori specifici per la proliferazione tendinea (SCX, COL1 A1, COL3 A1) a livello dei tenociti tramite l'espressione dell'antigene di proliferazione nucleare (PCNA) e come i condrociti aumentino la loro attività proliferativa (30). Inoltre, sono stati descritti effetti sistemici come l'aumento del numero di cellule progenitrici endoteliali (31), l'aumento della

presenza del fattore di crescita vascolare endoteliale e l'aumento del rilascio di ossido nitrico.

In sintesi, l'effetto neoangiogenetico unito alla capacità di azione sulla componente reologica muscolare potrebbero spiegare il miglioramento significativo della performance muscolare al test di Sargent.

Conclusioni

I risultati di questo studio, sebbene preliminari e da confermare su una casistica più ampia di soggetti, indicano che il trattamento con onde d'urto defocalizzate può portare a un miglioramento dell'attività del muscolo scheletrico in termini di performance e resistenza muscolare senza provocare alcun tipo di danno ai tessuti.

I dati ottenuti aprono possibilità di applicazione di questa metodica sia in ambito clinico, sia in ambito sportivo. Sviluppi futuri dello studio potrebbero indagare il timing di miglioramento dei valori di Endurance Time e Frequenza Cardiaca Massimale, e il suo ritorno a valori basali, così come la durata del miglioramento della performance.

Infine, è in progetto un ampliamento di questo studio su un campione di atleti, per verificare eventuali differenze rispetto alla popolazione sana, o su una popolazione di pazienti affetti da patologie ortopediche che hanno necessitato di immobilizzazione, per verificare l'eventuale miglioramento del recupero nella funzione muscolare.

Bibliografia

1. ISMST. Consensus statement on indications and contraindications. In Naples; Oct 2016.
2. Chao YH, Tsuang YH, Sun JS, Chen L, Chiang YF, Wang CC, et al. Effects of shock waves on tenocyte proliferation and extracellular matrix metabolism. *Ultrasound Med Biol.* 2008 May 1;34(5):841–52.
3. Wang CJ, Wang FS, Yang KD, Weng LH, Hsu CC, Huang CS, et al. Shock wave therapy induces neovascularization at the tendon-bone junction. A study in rabbits. *J Orthop Res.* 2003;21(6):984–9.
4. Kenneth Craig, Dominic Sainbury, Bradley Takai, Richard Patterson, Stephen Buckley, Jacqueline Craig, Sarah Pelham, Danielle MacDonald RW. The influence of medical shockwaves on muscle activation patterns and performance in healthy athletes: a preliminary report. In: 18th ISMST Congress, Mendoza. 2015.
5. Shrivastava SK, Kailash. Shock wave treatment in medicine. *J Biosci.* 2005;30(2):269–75.
6. Thiel M, Nieswand M DM. The use of shock waves in medicine a tool of the modern OR: an over-view of basic physiological principles, history and research. *Minim Invasive Ther Allied Technol.* 2000;9(3-4): 247–53.
7. Olfert IM, Baum O, Hellsten Y ES. Advances and challenges in skeletal muscle angiogenesis. *Am J Physiol Hear Circ Physiol.* 2016;310:H326–36.
8. Dalui R, Roy AS, Kalinski M B. Relationship of vertical jump test with anthropometric parameters and body composition in university students a gender variation. *Cent Eur J Sport Sci Med.* 2014;5(1):83–90.
9. Robbins D. A Comparison Of Muscular Activation During The Back Squat And Deadlift to the Countermovement Jump. Thesis and Dissertations. 2011;51.
10. Kisch T, Wuerfel W, Forstmeier V, Liodaki E, Stang FH, Knobloch K, et al. Repetitive shock wave therapy improves muscular microcirculation. *JSurgRes.* 2016;201(2): 440–5.
11. Mitchell EA, Martin NRW, Bailey SJ FR. Critical power is positively related to skeletal muscle capillarity and type I muscle fibers in endurance trained individuals. *Vol Press J Appl Physiol.* 2018;125:737–45.
12. Wang C.J. Extracorporeal shockwave therapy in musculoskeletal disorders. *J Orthop Surg Res.* 2012;7(1):11.
13. Romeo P, Lavanga V, Pagani D, Sansone V. Extracorporeal Shock Wave Therapy in Musculoskeletal Disorders: A Review. 2014;7–13.
14. Garcí O, Sancho J, Acosta A, Barret JP, Herna I, Arno A. Extracorporeal shock waves , a new non-surgical method to treat severe burns. 2010;36:844–9.
15. Ito K, Fukumoto Y, Shimokawa H. Extracorporeal Shock Wave Therapy for Ischemic Cardiovascular Disorders. 2011; 11(5):295–302.
16. A. Stojadinovic, E.A. Elster, K. Anam, D. Tadaki, M. Amare, S. Zins TAD. Angiogenic response to extracorporeal shock wave treatment in murine Isografts. *Angiogenesis.* 2008;11 (4):369 e 380.
17. V. Sansone, M.C. D'Agostino, C. Bonora, F. Sizzano, L. De Girolamo PR. Early angiogenic response to shock waves in a three-dimensional model human of microvascular endothelial cell culture (HMEC-1). *J Biol Regul Homeost.* 26 (1):29 e 37.
18. Blunder S, Lobenwein D, Kirchmair E, Holfeld J, Tepeko C, Dieltl M, et al. Low Energy Shock Wave Therapy Induces Angiogenesis in Acute Hind-Limb Ischemia via VEGF Receptor 2 Phosphorylation. 2014;9(8):1–7.
19. E. P. Fisiopatologia dell'esercizio. Adattamenti vascolari. *Ital Hear J.* 2000;1(3): 343–6.
20. Berger W, Horstmann G D V. Tension development and muscle activation in the leg during gait in spastic hemiparesis: independence of muscle hypertonia and exaggerated stretch reflexes. *J Neurol Neurosurg Psychiatry.* 1984;47:1029–33.
21. Ciampa AR, de Prati AC, Amelio E, Cavalieri E, Persichini T C, M et al. Nitric oxide mediates anti-inflammatory action of extracorporeal. Shock waves. 2005;(579): 6839–45.
22. Czaprowski D, Leszczewska J, Kolwicz A, Pawłowska P KA, Janusz P et al. The comparison of the effects of three physiotherapy techniques on hamstring flexibility in children: a prospective randomized single-blind study. *PLoS One.* 2013;8:720–26.
23. Dietz V S. Spastic movement disorder: impaired reflex function and altered muscle mechanics. *Lancet Neurol.* 2007;6: 725–33.
24. Kim YW, Shin JC, Yoon JG, Kim YK LS. Usefulness of radial extracorporeal shock wave therapy for the spasticity of the Subscapularis, in patients with stroke: a pilot study. *Chin Med J.* 2013;126:4638–43.
25. Lee JY, Kim SN, Lee IS, Jung H, Lee KS KS. Effects of extracorporeal shock wave therapy on spasticity in patients after brain Injury: a meta-analysis. *J Phys Ther Sci.* 2014;26:1641–7.
26. Jeon JH, Jung YJ, Lee JY, Choi JS, Mun JH, Park WY et al. The effect of extracorporeal shock wave therapy on myofascial pain syndrome. *Ann Rehabil Med.* 2012;36:665–74.
27. Sohn MK, Cho KH, Kim YJ HS. Spasticity and electrophysiologic changes after extracorporeal shock wave therapy: on gastrocnemius. *Ann Rehabil Med.* 2012; 35:599–604.
28. Ansari NN, Adelmanesh F, Naghdi S TA. The effect of physiotherapeutic ultrasound on muscle spasticity in patients with hemiplegia: a pilot study. *Neurophysiol Electromyogr Clin.* 2006;46:247–52.
29. McHugh MP, Connolly DA, Eston RG, Kremenic IJ NS, GW G. The role of passive muscle stiffness in symptoms of exercise-induced muscle damage. *Am J Sport Med.* 1999;27:594–9.
30. Han SH, Lee JW, Guyton GP, Parks BG, Courneya J-P SL. Effect of extracorporeal shock wave therapy on cultured tenocytes. *Foot Ankle Int.* 2009;30(02):93–8.
31. Tinazzi E, Amelio E, Marangoni E et al. Effects of shock wave Systemic, therapy in the skin of patients with progressive sclerosis: a pilot study. *Rheumatol Int.* 2011;31:651.