



**Monografie OTODI**

**PACINI  
EDITORE  
MEDICINA**

# **FRATTURE ESPOSTE**

## **Management e consigli pratici**

*a cura di*  
**Mario Manca**



Monografie OTODI

PACINI  
EDITORE  
MEDICINA

# FRATTURE ESPOSTE

## Management e consigli pratici

*a cura di*  
**Mario Manca**

© Copyright 2022 by Ortopedici Traumatologi Ospedalieri d'Italia (O.T.O.D.I.)

*Realizzazione editoriale e progetto grafico*  
Pacini Editore, Via A. Gherardesca 1, 56121 Pisa  
www.pacinimedica.it – info@pacinieditore.it

L'editore resta a disposizione degli aventi diritto con i quali non è stato possibile comunicare e per le eventuali omissioni.

Le fotocopie per uso personale del lettore (per propri scopi di lettura, studio, consultazione) possono essere effettuate nei limiti del 15% di ciascun volume/fascicolo di periodico, escluse le pagine pubblicitarie, dietro pagamento alla SIAE del compenso previsto dalla Legge n. 633 del 1941 e a seguito di specifica autorizzazione rilasciata da CLEARedi: <https://www.clearedi.org/topmenu/HOME.aspx>.



Finito di stampare nel mese di settembre 2022  
presso le Industrie Grafiche della Pacini Editore Srl  
Via A. Gherardesca • 56121 Ospedaletto • Pisa  
Telefono 050 313011 • Telefax 050 3130300  
[www.pacinimedica.it](http://www.pacinimedica.it)

# INDICE

<b>Prefazione</b> <i>Vincenzo Caiaffa</i>	1
<b>Le fratture esposte: dimensioni del problema</b> <i>Sebastiano Cudoni</i>	2
<b>Antibiotici? Quando? Quali? Per quanto tempo?</b> <i>Chiara Martinelli</i>	5
<b>Dall'accoglienza in pronto soccorso al debridement: la gestione delle fratture esposte</b> <i>Michele Ceccarelli, Emmanuele Santolini, Giulia Pachera, Stefania Briano, Federico Santolini</i>	9
<b>Stabilizziamo queste fratture? Come? Quando?</b> <i>Mario Manca, Mauro Argiolas, Gianluca Nulvesu, Andrea Bertucelli, Salvatore Annunziata</i>	16
<b>Le fratture esposte del piede</b> <i>Michael James Ceglia, Stefano Bianco, Alessandro Perrone, Pietro De Biase</i>	21
<b>Le fratture esposte della mano e dell'avambraccio</b> <i>Sandra Pfanner, Anna Rosa Rizzo, Andrea Poggetti, Prospero Bigazzi, Marco Biondi, Giulio Lauri</i>	29
<b>Gestione ortoplastica delle fratture esposte</b> <i>Luca Salmaso, Francesca Alice Pedrini, Francesco Mori, Marco Innocenti</i>	35
<b>L'inchiodamento: Quando? Come?</b> <i>Carlotta Pari, Alberto Belluati</i>	53
<b>Il Fracting score</b> <i>Alessandro Isola, Mario Manca</i>	57
<b>Terapie adiuvanti: quali, quando, come e per quanto tempo</b> <i>Francesco Rifino, Lorenzo Moretti, Teresa Ladogana, Federica Albano, Davide Bizzoca, Biagio Moretti</i>	62
<b>Sintesi definitiva, quando e come</b> <i>Giovanni Vicenti, Guglielmo Ottaviani, Filippo Simone, Biagio Moretti</i>	69



# PREFAZIONE

Vincenzo Caiaffa

Presidente Ortopedici Traumatologi Ospedalieri d'Italia (OTODI), Direttore Struttura Complessa Ortopedia e Traumatologia "Di Venere", Bari

In ortopedia e traumatologia le fratture esposte sono forse la patologia che desta più paura nel giovane chirurgo, in considerazione dell'alto rischio di infezione e amputazione. Raramente si manifestano come isolate, molto più frequentemente nel contesto di un politrauma o polifratturato.

Il trattamento in acuto, la scelta del corretto antibiotico, il *second look*, il ruolo dei tessuti molli e la sintesi definitiva, sono solo alcune delle considerazioni sull'argomento. La moderna traumatologia si è evoluta negli ultimi anni. Le conoscenze di biologia e microbiologia hanno permesso di spiegare con dettaglio le fasi della guarigione dell'osso e delle ferite con l'ausilio, per il medico, di presidi di medicazione avanzata; la conoscenza del *second hit* ha dato grande dignità ai tessuti molli, fino a quel momento considerati solo come "copertura" ossea, e lo sviluppo dei dispositivi ortopedici d'urgenza ha permesso al medico di poter trattare questa patologia in breve tempo e con efficacia. Un passo avanti notevole nel trattamento della patologia si è avuto con l'introduzione del *early appropriate care*, dopo i concetti di *damage control* ed *early total care*.

Non bisogna tuttavia dimenticare che il trattamento ortopedico, per quanto importante, dipende dal salvataggio della vita del paziente. Il team leader ha un ruolo chia-

ve in tal senso nel coordinare le diverse specialità implicate nel trattamento della frattura esposta, ricordando che in team si lavora come un'orchestra dove ognuno ha una propria dignità, non solo il primo violino. Questa moderna visione della medicina ha portato, nel tempo, alla nascita di unità di "Ortoplastica", dove specialisti diversi lavorano per uno stesso obiettivo.

Ho condiviso buona parte della mia carriera di medico e ortopedico con i diversi autori, ai quali sono legato non solo da un vincolo di natura professionale, ma anche da sentimenti di stima e amicizia. Insieme abbiamo perseverato nell'aggiornamento scientifico e nell'avanzamento della ricerca, convinti che l'ambiente societario sia una sede idonea all'attività formativa. Un ringraziamento particolare a Mario Manca, che mi ha preceduto nella Presidenza OTODI e ha ideato e realizzato questi FOCUS ON e questa monografia.

Un grazie a IGEA per aver contribuito allo sviluppo di questo progetto formativo.

Per questi motivi sono orgoglioso di presentare questo volume, che testimonia non solo la nostra attività clinica, ma anche quella di educatori verso i giovani desiderosi di intraprendere un mestiere tanto bello quanto difficile: il chirurgo ortopedico traumatologo.

# LE FRATTURE ESPOSTE: DIMENSIONI DEL PROBLEMA

Sebastiano Cudoni

UOC Ortopedia e Traumatologia, Ospedale Giovanni Paolo II, Olbia

## Introduzione

Si definiscono esposte le fratture nelle quali esiste una soluzione di continuità con l'ambiente esterno. Si tratta di lesioni che, a seconda dell'entità dell'esposizione, possono presentare notevoli difficoltà nel trattamento, a causa del danno presente a carico dei tessuti molli e alle possibili concomitanti infezioni da germi presenti nell'ambiente esterno. Sono spesso i monconi di frattura che causano una perforazione dall'interno verso l'esterno dei tessuti e della cute sovrastante, in particolare nei traumi a bassa energia, con minima mortificazione dei tessuti stessi, ma è di più frequente riscontro l'esposizione del focolaio di frattura dall'esterno, a causa di un trauma ad alta energia che *in primis* compromette l'integrità cutanea, con un conseguente danno e spesso perdita di sostanza dei tessuti che circondano l'osso, che nella sequenza degli eventi subisce una deformazione che porta a frattura. Sarebbe pertanto spesso più corretto parlare di lesioni dei tessuti molli con frattura concomitante, ponendo quindi l'accento sulla severità dell'interessamento delle parti molli, che richiede lunghi tempi di trattamento e guarigione, e che compromette spesso in maniera importante il consolidamento osseo.

## Epidemiologia

Rappresentano il 4% del totale delle frat-

ture. In una delle numerose casistiche della letteratura è riportata una incidenza di 30,7 casi/100.000 abitanti per anno, (3,4/100.000/anno a carico della tibia e 2,4/100.000/anno a carico del radio distale). Il 18% delle fratture esposte risultano articolari, in particolare caviglia e ginocchio. Gli incidenti automobilistici sono responsabili nel 34,1% dei casi. Spesso si tratta di lesioni da schiacciamento (39,5%), in particolare sono spesso conseguenza di infortuni sul lavoro <sup>1,2</sup>.

I segmenti interessati sono rappresentati per il 36,2% dalla tibia, 21% dall'avambraccio, 11,4% dal femore, 11,4% dall'omero, 10,5% dal polso, 4,8% dalla rotula, 2,9% dall'olecrano, 1,9% dal perone.

Riconosciamo un primo picco nella terza decade d'età, un secondo picco più basso nella quarta decade, infine un terzo picco nell'anziano, quest'ultimo per traumi a bassa energia per fratture da torsione con meccanismo indiretto.

## Classificazione

Si possono riconoscere in tali lesioni 4 componenti principali: la frattura, il danno dei tessuti molli, la compromissione neuro-vascolare, la contaminazione, tutte con diversa gradazione di intensità, che variamente combinate sono state alla base dei differenti schemi classificativi proposti. Come tutti

i tentativi di sistematizzazione delle patologie, la descrizione e il raggruppamento di lesioni simili ha lo scopo di fornire una base per un trattamento adeguato e uniforme, valutare la prognosi e permettere la comunicazione con altri Centri ospedalieri, a cui spesso tali lesioni vengono inviate per competenza. È necessaria infatti esperienza, spesso una gestione multidisciplinare in collaborazione con chirurghi plastici e vascolari e disponibilità di attrezzature specialistiche. Le classificazioni devono dare informazioni sulla gravità del danno dei tessuti molli, sul tipo di frattura e sul grado di contaminazione.

Una prima classificazione fu elaborata da Tschernè nel 1982<sup>3</sup>, nella quale furono indicati 3 gradi di gravità delle lesioni dei tessuti molli nelle fratture chiuse (C0, C1 e C2), e 4 gradi di gravità delle lesioni dei tessuti molli nelle fratture esposte (O1, O2, O3 e O4). In questa classificazione quindi veniva già posta particolare attenzione non tanto alla lesione ossea, quanto alla severità del coinvolgimento dei tessuti circostanti.

È però la classificazione di Gustilo-Anderson quella ancora più utilizzata, descritta per la prima volta già nel 1976<sup>4</sup>, con successive rielaborazioni (1984, 1990)<sup>5,6</sup>, che ha il vantaggio della semplicità, della validità confermata per tempi di consolidazione, incidenza di pseudoartrosi e necessità di innesti ossei. Riconosce tre tipi principali (I, II e III), sulla base essenzialmente delle dimensioni dell'esposizione, con il III tipo ulteriormente suddiviso in tre sottotipi (A, B e C), con la presenza nel tipo IIIC di danno vascolare arterioso che richieda riparazione chirurgica. Nelle successive elaborazioni sono state aggiunte considerazioni relative all'eventuale copertura cutanea e ai tempi di consolidazione (Tab. I).

La classificazione di Gustilo-Anderson ha però dei limiti, costituiti dalla descrizione di natura soggettiva, con una variabilità tra osservatori<sup>7</sup>.

Con l'intento di individuare un sistema classificativo più oggettivo, individuando in maniera più dettagliata la lesione ossea, la lesione cutanea, il danno muscolo-tendineo e il danno-neuro-vascolare, nasce la classificazione AO<sup>8</sup>, sicuramente più completa, ma di più difficile applicazione pratica.

Nel 2010 viene elaborata dalla *Orthopaedic Trauma Association* (OTA) una classificazione che tiene conto di cinque aspetti: condizioni della cute, lesioni muscolari, lesioni arteriose, contaminazione, perdita di sostanza ossea, riconoscendo per ognuna di esse tre gradi di gravità<sup>9</sup>.

Nel 2018, con l'intento di superare i limiti delle classificazioni esistenti associando le classificazioni più usate (Gustilo e classificazione OTA), viene proposta una classificazione unificata, che dispone le categorie della classificazione OTA in ordine logico in base alla progressione della lesione dai piani superficiali a quelli profondi e al rischio di difetti di consolidazione e sviluppo di pseudoartrosi<sup>10</sup>.

## Conclusioni

Le fratture esposte presentano spesso difficoltà di trattamento, per il quale è necessario un coinvolgimento multidisciplinare. Sono oggi disponibili diversi sistemi classificativi, più o meno completi, la cui funzione è quella di indirizzare verso il migliore protocollo terapeutico. La valutazione della sofferenza tissutale, in particolare dei tessuti molli, è stata rimarcata in tutti gli studi e proposte di classificazione. L'attenta valutazione del danno è fondamentale per il primo approccio terapeutico alla lesione, per la corretta e tempestiva profilassi antibiotica, il lavaggio, il débridement dei tessuti mortificati. È necessario che tutte le componenti della lesione vengano valutate e correttamente inquadrare per una valutazione prognostica che orienterà tutto il proseguo del trattamento, indicando già dall'i-

**Tabella I.** Classificazione delle fratture esposte di Gustilo-Anderson.

<b>Tipo I</b>
Piccola esposizione (< 1 cm), pulita, frattura con minima comminuzione
<b>Tipo II</b>
Esposizione > 1 cm senza perdita di tessuto, moderata comminuzione e contaminazione
<b>Tipo III</b>
Danno cutaneo esteso con coinvolgimento muscolare, nervoso e vascolare, trauma ad alta energia, frattura comminuta, instabilità
IIIA. Frattura esposta conseguente a trauma ad alta energia, ma con adeguata copertura tessuti molli
IIIB. Frattura complicata da esposizione ossea, danno periostale e sofferenza tessuti molli, richiede la copertura dell'osso esposto
IIIC. Frattura esposta associata a danno arterioso che richiede riparazione chirurgica

nizio quali possano essere i rischi legati a ritardi nella guarigione dei tessuti molli e a ritardi di consolidazione ossea.

## Bibliografia

- 1 Sop JL, Sop A. Open fracture management. Stat Pearls Publishing 2022.
- 2 Elniel AR, Giannoudis PV. Open fractures of the lower extremity: current management and clinical outcomes. *EFORT Open Rev* 2018;3:316-325. <https://doi.org/10.1302/2058-5241.3.170072>
- 3 Tscherne H, Oestern HJ. A new classification of soft-tissue damage in open and closed fractures. *Unfallheilkunde* 1982;85:111-115.
- 4 Gustilo RB, Anderson JT. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J Bone Jt Surg Am* 1976;58:453-458.
- 5 Gustilo RB, Mendoza RM, Williams DN. Problems in the management of type III (severe) open fractures: a new classification of type III open fractures. *J Trauma* 1984;24:742-746. <https://doi.org/10.1097/00005373-198408000-00009>
- 6 Gustilo R, Merckow R, Templeman D. Current concepts review: the management of open fractures. *J Bone Jt Surg Am* 1990;72:299-304.
- 7 O'Brien CL, Menon M, Jomha NM. Controversies in the management of open fractures. *Open Orthop J* 2014;8:178-184. <https://doi.org/10.2174/1874325001408010178>
- 8 Muller ME, Allgower M, Schneider R, et al. Manual of internal fixation: techniques recommended by the AO-ASIF Group. 3<sup>rd</sup> ed. Berlin: Spinger-Verlag 1991.
- 9 Orthopaedic Trauma Association, Open Fracture Study Group. A new classification scheme for open fractures. *J Orthop Trauma* 2010;24:457-464. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e3181c7cb6b>
- 10 Agrawal A. Unified classification of open fractures: based on Gustilo and OTA classification schemes. *Injury* 2018;49:1526-1531. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2018.06.007>

# ANTIBIOTICI? QUANDO? QUALI? PER QUANTO TEMPO?

Chiara Martinelli

*UOC Ortopedia e Traumatologia, Ospedale Versilia, Lido di Camaiore, Lucca*

Le infezioni sono una delle principali complicazioni delle fratture esposte, perché le lesioni della cute e dei tessuti molli rappresentano una porta d'ingresso ai microrganismi. L'incidenza delle infezioni post-traumatiche risente ampiamente della presenza o meno di lesioni cutanee e anche dell'estensione e delle caratteristiche di quest'ultime. L'incidenza di infezioni per fratture chiuse trattate con osteosintesi è 1-2%, mentre le fratture esposte trattate con osteosintesi presentano un incremento di infezione superiore al 30%: tale rischio aumenta con la gravità della lesione.

Classificando le infezioni in funzione del tempo di insorgenza rispetto al trauma, si osserva una diversa eziologia microbica. Possiamo individuare tre tipi di infezioni: le infezioni precoci, che insorgono entro le prime due settimane, vengono acquisite durante il trauma o l'intervento chirurgico e i microrganismi prevalentemente coinvolti sono microrganismi ad alta virulenza (ex *Staphylococcus aureus*); le infezioni ritardate, che insorgono tra le due e le dieci settimane dal trauma, anch'esse vengono acquisite durante il trauma o l'intervento chirurgico e sono causate prevalentemente da microrganismi a bassa virulenza, come ad esempio Stafilococchi coagulasi-negativi. Infine abbiamo le infezioni tardive, che insorgono dopo le 10 settimane, possono essere acquisite durante il trauma o l'intervento chirurgico; in tal caso sono causate

da microrganismi a bassa virulenza, oppure avvengono per via ematogena. In questo caso possono riconoscere microrganismi a elevata virulenza.

Le ferite da fratture esposte sono state classificate da Gustilo e Anderson <sup>1</sup> in funzione della gravità del coinvolgimento dei tessuti molli in tre gradi. Il primo tipo comprende le soluzioni cutanee inferiori a 1 cm, abbastanza pulite, dall'interno verso l'esterno, con contusione muscolare minima e frattura trasversale semplice o obliqua a spira corta. Il secondo tipo comprende lesioni maggiori di 1 cm con esteso danno dei tessuti molli, lembi o avulsione, con componente di schiacciamento minima o moderata, frattura trasversale semplice o obliqua a spira corta con frammentazione minima. Il terzo tipo comprende lesioni con esteso danno dei tessuti molli, interessamento muscolare, cutaneo e delle strutture neuro-vascolari. Quest'ultimo gruppo è generalmente una lesione ad alta velocità, con una componente di schiacciamento grave, e a sua volta è suddiviso in tre sottoclassi: IIIA (lacerazione dei tessuti molli estesa con adeguata copertura ossea, fratture segmentarie e lesioni da arma da fuoco); IIIB (lesioni dei tessuti molli estese con strappamento del periostio ed esposizione della superficie ossea, generalmente associata a contaminazione massiva); e IIIC, dove è presente lesione vascolare che necessita di riparazione.

La Letteratura è concorde a ritenere il ruolo della terapia antibiotica secondario a un adeguato debridement chirurgico, ma ampi studi dimostrano che soprattutto nelle fratture esposte, tipo IIIC, iniziare la terapia antibiotica dopo l'intervento espone a un'incidenza di infezione del 44% rispetto a un 9% se iniziata prima dell'intervento stesso, a causa di elevati livelli di contaminazione della ferita da frattura esposta <sup>2,3</sup>. Ritroviamo infatti in queste ferite il 70,3% di tamponi positivi <sup>4</sup>.

Sono stati effettuati studi di valutazione della qualità della flora microbica contaminante e ferite di fratture esposte di ossa lunghe per valutare una correlazione con la tipologia di infezione che insorge successivamente. Nello studio di Shiraz Bhatti e colleghi <sup>5</sup> sono state valutate 107 fratture esposte effettuando tamponi prima, durante e dopo la chirurgia di stabilizzazione. È stato rilevato un tasso di positività delle colture del 43,9% di cui nel 64% si tratta di batteri Gram negativi (*Pseudomonas aeruginosa* 36%, *Acinetobacter baumannii* 20,7%) e 26,7% di batteri Gram positivi (*Staphylococcus aureus* 93%, di cui il 58,6% MRSA), 8,6% di campioni polimicrobici e 2,4% di batteri anaerobi (*Propionibacterium acnes* 53%). I tamponi rilevati in corso di infezione a 2 settimane dal trauma presentano una netta prevalenza di *St. aureus* su tutti i batteri Gram negativi, con pressoché assenza di isolamento di *A. baumannii*. Gli autori hanno quindi costruito un modello eziologico sulla base dei rilevamenti, confrontando le contaminazioni con le cause reali di infezione, modello che è stato confermato anche dallo studio fiorentino di Vaggelli e colleghi <sup>6</sup>. Veniva inoltre riscontrata una diversa distribuzione microbiologica in funzione della sede della frattura: per quanto riguarda i batteri Gram negativi, prevaleva *Ps. aeruginosa* agli arti superiori e *A. baumannii* agli arti inferiori. È stato osservato, inoltre, come la flora microbica della ferita subiva una

modificazione nel tempo passando da una prevalenza di batteri Gram negativi a Gram positivi. Non tutte le contaminazioni iniziali evolvevano in infezione. Le cause possono risiedere in diversi fattori: l'uso di antibiotici per la profilassi; il debridement chirurgico modifica la flora stessa della ferita; possono subentrarvi infezioni nosocomiali. Infatti il 16% delle ferite a coltura iniziale negativa sviluppano successivamente infezione; vi possono essere inoltre errori di campionamento. Pertanto si può concludere che le colture iniziali non hanno valore predittivo di microrganismi infettanti.

Per quanto riguarda le infezioni associate a osteosintesi, l'incidenza delle infezioni per le fratture chiuse, come è stato precedentemente riportato, è circa dell'1-2% contro il 30% delle fratture esposte. L'adesione dei microrganismi alle superfici dei mezzi di osteosintesi e la produzione di una matrice polisaccaridica extracellulare, il biofilm, crea un microambiente di facile comunicazione intracellulare inibendo così la capacità macrofagica leucocitaria, rende l'ambiente impermeabile agli antibiotici e difficoltoso l'isolamento *in vitro*. Si possono così selezionare popolazioni microbiche con fenotipo diverso, ad esempio sottopopolazioni con colonie piccole a lenta crescita come le varianti nutrizionali di *Staphylococcus spp.*, che presentano un'elevata resistenza agli antibiotici per i bassi livelli replicativi e sono frequentemente responsabili delle infezioni ritardate.

La tipologia della profilassi antibiotica viene stabilita sulla base del grado di frattura secondo la classificazione di Gustilo-Anderson <sup>7,8</sup>. La maggioranza dei dati di Letteratura consigliano per il Grado I-II cefazolina 1-2 g ogni 8 ore o amoxicillina/clavulanato 1-2,2 g ogni 8 ore e/o clindamicina 600-900 mg ogni 8 ore; per il grado III gentamicina 3-5 mg/kg/die ogni 24 <sup>6</sup> e clindamicina 600-900 mg ogni 8 ore. Alcuni gruppi <sup>9</sup> hanno proposto protocolli che ampliano lo

spettro antibiotico per le fratture di III grado a causa della diffusione del fenomeno di antibiotico-resistenza, ma non ci sono in Letteratura dati che concludono per un incrementato rischio di infezione negli ultimi anni se la procedura di profilassi viene eseguita correttamente. Variabile ancora più importante del tipo di antibiotico è il timing della profilassi. Numerosi sono gli studi che hanno confrontato i diversi timing di inizio delle profilassi con il rischio di sviluppare infezione. Patzakis et al.<sup>10</sup> hanno riscontrato che il tasso di infezione per profilassi somministrata entro 3 ore dal trauma era di 4,7% contro il 7,4% se somministrata dopo le 3 ore. Obremesky et al.<sup>11</sup> hanno stabilito che il rischio di infezione si riduceva significativamente se la profilassi veniva somministrata entro 60 minuti. Collinge et al.<sup>12</sup> hanno pubblicato un protocollo di gestione del trauma con ottimizzazione del timing di profilassi antibiotica il prima possibile e comunque entro le 3 ore dal trauma.

La durata della profilassi antibiotica nel politrauma è alquanto controverso. Numerosi studi comparativi e osservazionali<sup>13</sup> hanno concluso che il prolungamento della terapia antibiotica oltre le 72 ore non rappresenta un vantaggio in termini di riduzione del rischio di sviluppare infezione, anche valutando sottoanalisi per i diversi stadi di GA.

Un'ultima considerazione sulla profilassi con terapia antibiotica somministrata per via topica: studi di confronto<sup>14,15</sup> fra terapia sistemica isolata e associata a debridement con utilizzo di antibiotico *in loco* sono risultati sovrapponibili, mentre il debridement con antibiotico *in loco*, confrontato con la terapia antibiotica sistemica, si è mostrato significativamente inferiore nel prevenire l'infezione.

Concludendo si può affermare che le fratture esposte hanno un elevato rischio di complicanza infettiva con decorso sfavorevole che si estende dal danno funzionale permanente, all'amputazione, alla sepsi siste-

mica, fino al decesso. La somministrazione precoce della profilassi antibiotica è un importante fattore protettivo e deve essere effettuata il prima possibile. La profilassi dovrebbe seguire protocolli condivisi sulla base dell'epidemiologia locale e sul grado di frattura. La frattura esposta necessita infine di un approccio multidisciplinare per una corretta gestione.

## Bibliografia

- 1 Gustilo RB, Anderson JT. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J Bone Joint Surg [Am]* 1976;58:453-458.
- 2 Chang Y, Bhandari M. Antibiotic prophylaxis in the management of open fractures. *JBJS Rev* 2019;7:e1. <http://dx.doi.org/10.2106/JBJS.R-VW.17.00197>
- 3 Collinge CA, McWilliam-Ross K, Kelly KC, et al. Substantial improvement in prophylactic antibiotic administration for open fracture patients: results of a performance improvement program. *J Orthop Trauma* 2014;11. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000090>
- 4 Gustilo RB. Use of antimicrobials in the management of open fractures. *Arch Surg* 1979;114:805-808. <https://doi.org/10.1001/archsurg.1979.01370310047010>
- 5 Bhatti S, Paul R, Kaur H. Study of microbiological flora and role of primary bacterial cultures in management of open fractures of long bones. *International Journal of Orthopaedics Sciences* 2018;4:91-94. <https://doi.org/10.22271/ortho.2018.v4.i2b.14>
- 6 Vaggelli G, Riccobono R, Jance B. et al. Epidemiologia delle fratture esposte presso AOU Careggi, Firenze; criticità nel percorso diagnostico. *Lo Scalpello Journal* 2019;33:8-11.
- 7 Hauser CJ, Adams CA, Eachempati SR, et al. Surgical Infection Society guideline: prophylactic antibiotic use in open fractures: an evidence-based guideline. *Surg Infect* 2006;7:379-405. <https://doi.org/10.1089/sur.2006.7.379>
- 8 Metsemakers WJ, Reul M, Nijs S. The use of gentamicin-coated nails in complex open tibia fracture and revision cases: a retrospective analysis of a single centre case series and review of the literature. *Injury* 2015;46:2433-2437. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2015.09.028>

- <sup>9</sup> Zamparini E, Castiello E, Marchionni E, et al. La profilassi antibiotica nelle fratture esposte: la proposta per un nuovo PDTA. *Lo Scalpello Journal* 2019;33:12-15.
- <sup>10</sup> Patzakis MJ, Wilkins J. Factors influencing infection rate in open fracture wounds. *Clin Orthop* 1989;243:36-40.
- <sup>11</sup> Obremskey W, Molina C, Collinge C, et al. Current practice in the management of open fractures among orthopaedic trauma surgeons. Part A: initial management. A survey of orthopaedic trauma surgeons. *J Orthop Trauma* 2014;28:e198-202. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000033>
- <sup>12</sup> Collinge CA, McWilliam-Ross K, Kelly KC, et al. Substantial improvement in prophylactic antibiotic administration for open fracture patients: results of a performance improvement program. *J Orthop Trauma*. 2014 Nov;28(11):620-5. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000000090>
- <sup>13</sup> Messner J, Papakostidis C, Giannoudis PV, et al. Duration of administration of antibiotic agents for open fractures: meta-analysis of the existing evidence. *Surg Infect* 2017;18:854-867. <https://doi.org/10.1089/sur.2017.108>
- <sup>14</sup> Puetzler J, Zalavras C, Moriarty TF, et al. Clinical practice in prevention of fracture-related infection: an international survey among 1197 orthopaedic trauma surgeons. *Injury* 2019;50:1208-1215. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.04.013>
- <sup>15</sup> Ostermann PA, Seligson D, Henry SL. Local antibiotic therapy for severe open fractures: a review of 1085 consecutive cases. *J Bone Joint Surg [Br]* 1995;77:93-97.

# DALL'ACCOGLIENZA IN PRONTO SOCCORSO AL DEBIDEMENT: LA GESTIONE DELLE FRATTURE ESPOSTE

Michele Ceccarelli<sup>1</sup>, Emmanuele Santolini<sup>2</sup>, Giulia Pachera<sup>3</sup>, Stefania Briano<sup>4</sup>, Federico Santolini<sup>5</sup>

<sup>1</sup> UOC Ortopedia e Traumatologia d'Urgenza, Ospedale Policlinico San Martino, Genova; <sup>2</sup> Dipartimento di Ortopedia e Traumatologia, Leeds General Infirmary, Leeds, West Yorkshire, UK; <sup>3</sup> UOC Ortopedia e Traumatologia d'Urgenza, Ospedale Policlinico San Martino, Genova; <sup>4</sup> UOS Chirurgia della Mano e dell'Arto Superiore, Ospedale Policlinico San Martino, Genova; <sup>5</sup> UOC Ortopedia e Traumatologia d'Urgenza, Ospedale Policlinico San Martino, Genova

## Introduzione

Una frattura esposta è definita come una lesione dei tessuti molli complicata da una frattura sottostante. Il corretto trattamento in urgenza è associato a una riduzione della disabilità, con un miglioramento della qualità di vita del paziente e notevoli vantaggi economici e sociali <sup>1</sup>.

## Fase di pre-ospedalizzazione

Il corretto trattamento delle fratture esposte ha inizio sul luogo del trauma.

Il paziente deve essere valutato secondo i principi dell'ATLS, senza dimenticare che la priorità di trattamento è rappresentata dalla stabilizzazione delle condizioni cliniche generali, alla quale segue il salvataggio dell'arto e la sua funzione.

È importante conoscere la dinamica e le modalità dell'evento traumatico, in quanto ci forniscono preziose informazioni sulle condizioni generali del paziente, sull'entità del danno ai tessuti molli e sul grado di contaminazione.

Circa un terzo dei pazienti con fratture esposte ha lesioni associate in altri distretti come addome, torace, colonna vertebrale o cranio. Le lesioni potenzialmente letali devono essere identificate, valutate e immediatamente trattate con assoluta priorità.

## Valutazione dell'arto

*Ispezione:* devono essere esaminate attentamente tutte e quattro le estremità. Per ogni arto bisogna eseguire una prima valutazione completa dei tessuti molli per ricercare eventuale presenza di ferite. La presenza di una deformità o di una deviazione assiale ci deve far sospettare l'esistenza di una frattura o lussazione sottostante.

*Palpazione:* si devono cercare aree di evocazione del dolore e deve essere eseguito un rapido esame neurovascolare. Se il paziente è cosciente e in grado di rispondere agli stimoli, la valutazione neurologica prevede la verifica dei movimenti attivi e la presenza della sensibilità in risposta al tatto.

In caso di dubbio tra una ferita lacero-contusa e una frattura esposta è più sicuro pro-

cedere considerandola come una frattura esposta fino a prova contraria<sup>2</sup>.

In una situazione di emergenza l'esame vascolare consiste nella valutazione dei polsi periferici, la temperatura e il colore degli arti: segni evidenti e affidabili. Al contrario, il tempo di riempimento capillare può rappresentare un parametro fuorviante, poiché grazie a circoli collaterali di compenso i tessuti superficiali possono conservare un flusso sufficiente anche in caso di ischemia critica dei tessuti sottostanti<sup>3</sup>.

È necessario eseguire un monitoraggio costante dell'arto per valutare l'eventuale presenza di sanguinamento dalle ferite o ematomi in espansione.

In caso di sanguinamento attivo di una ferita occorre intervenire con un approccio graduale. Il controllo del sanguinamento arterioso inizia con una pressione manuale sulla ferita, ottenuta grazie all'applicazione di una medicazione compressiva. Se questo non è sufficiente, il passaggio successivo consiste nella compressione dell'arteria prossimale alla lesione e, solo se il sanguinamento continua, va presa in considerazione l'applicazione di un laccio emostatico manuale o pneumatico alla radice dell'arto interessato.

## Gestione dell'arto

Nel momento in cui le funzioni vitali del paziente sono stabilizzate, da un punto di vista puramente ortopedico vanno eseguite poche e semplici azioni che garantiscano una diminuzione del dolore e una riduzione dei rischi emorragico, infettivo e trombo-embolico<sup>2,4</sup>:

1) riallineare e immobilizzare l'arto con un presidio adeguato. Questo favorisce la riduzione del dolore e del sanguinamento. Quando viene eseguita una manovra di riallineamento e immobilizzazione di un arto, bisogna ripetere l'esame vascolare e neurologico con particolare attenzione alla valutazione dei polsi periferici;

- 2) limitarsi a rimuovere solo i contaminanti grossolani: l'irrigazione delle fratture esposte o l'utilizzo di antisettici nella fase pre-ospedaliera non è raccomandata (neanche in caso di contaminazione da materiale agricolo, marino o fognario);
- 3) coprire la ferita con garze sterili imbevute di soluzione salina;
- 4) somministrare la profilassi antibiotica endovenosa il prima possibile e preferibilmente entro un'ora dall'incidento;
- 5) registrare la dinamica ed entità del trauma e trasmettere l'informazione al momento del triage ospedaliero, in quanto potrebbero avere implicazioni dirette sull'urgenza del debridement chirurgico della ferita.

## Fase di accesso in pronto soccorso

Il team di ammissione in pronto soccorso deve ripercorrere i passaggi messi in atto durante la fase di pre-ospedalizzazione per valutare che siano stati eseguiti correttamente<sup>3,4</sup>:

- 1) accertarsi che la terapia antibiotica sia stata eseguita: in caso negativo procedere alla sua immediata somministrazione;
- 2) effettuare la vaccinazione antitetanica;
- 3) rivalutare accuratamente gli arti: devono essere esaminati nella loro integrità e, se non è stato eseguito il riallineamento sul luogo del trauma, è necessario eseguirlo in pronto soccorso (Fig. 1);
- 4) valutare nuovamente lo stato neurovascolare (prima e dopo eventuale riallineamento) con possibile ausilio di esame Doppler;
- 5) rimuovere esclusivamente i contaminanti grossolani, evitando il lavaggio della frattura esposta e l'esplorazione digitale della ferita;



**Figura 1.** Frattura esposta arto superiore non riallineata. Le fratture vanno sempre riallineate e immobilizzate. Eseguire una nuova valutazione dei polsi periferici in seguito alla manovra di riallineamento.

- 6) raccogliere documentazione fotografica delle lesioni, da inserire nella cartella clinica del paziente;
- 7) proteggere la ferita con garze imbevute di soluzione salina e successiva copertura con materiale sterile.

### Diagnostica per immagini

Le immagini radiografiche devono essere ottenute il prima possibile per consentire l'inizio della pianificazione pre-operatoria.

In caso di sospetta frattura esposta vanno eseguite radiografie in proiezione antero-posteriore (AP) e latero-laterale del seg-

mento interessato, includendo le articolazioni a monte e a valle dello stesso.

In caso di fratture con coinvolgimento articolare o ambiguità all'esame radiografico standard, si può ricorrere all'esame TC, che permette una migliore comprensione morfologica della frattura.

Non bisogna dimenticare che quando il trattamento della frattura prevede un intervento chirurgico di stabilizzazione temporanea, l'esame TC andrebbe eseguito solo dopo il suddetto intervento. Questo per garantire l'ottenimento del maggior numero di informazioni e favorire la pianificazione pre-operatoria del trattamento definitivo della frattura.

L'angiografia è indicata in quei casi in cui c'è un sospetto clinico di danno vascolare.

### Fase di trattamento

Una volta terminato l'inquadramento diagnostico è necessario procedere con il trattamento.

### Timing

Il trattamento chirurgico delle fratture esposte era storicamente considerato da eseguirsi entro le 6-8 ore dal momento della lesione, in funzione della cosiddetta "regola delle 6 ore"<sup>5</sup>.

Essa si basa su evidenze scientifiche che suggeriscono come le ferite contaminate non trattate entro questo lasso di tempo possano andare incontro a una moltiplicazione batterica sufficiente a provocare un'infezione precoce.

Tuttavia, l'evidenza scientifica che supporta la "regola delle 6 ore" è debole e studi recenti hanno dimostrato che un debridement differito è accettabile, a condizione che ciò favorisca l'intervento di un team dedicato ed esperto di chirurghi ortopedici e plastici<sup>6</sup>.

Nelle linee guida NICE più recenti è raccomandato che le fratture ad alto tasso di



**Figura 2.** Frattura esposta femore distale sinistro in trauma agricolo, con frammento di motozappa e pantalone rinvenuti in sede di esposizione. I traumi agricoli richiedono debridement nel più breve tempo possibile in ragione dell'alto grado di contaminazione.

contaminazione (materiale agricolo, fognario, marino) devono essere sottoposte a debridement nel più breve tempo possibile (Fig. 2). Nelle fratture esposte ad alto grado è raccomandato un debridement entro le 12 ore, mentre in tutti gli altri casi entro 24 ore dal trauma <sup>2</sup>.

## Trattamento

L'obiettivo del trattamento è quello di ottenere un ambiente di frattura il più possibile simile a quello presente in caso di frattura chiusa.

La fase di trattamento di una frattura esposta si compone di tre tempi distinti:

- 1) lavaggio;
- 2) debridement;
- 3) stabilizzazione.

Ogni fase richiede un campo chirurgico dedicato, poiché l'obiettivo è quello di diminuire progressivamente il grado di contaminazione.

Pertanto, per evitare il trasferimento dei contaminanti da una fase all'altra e favorire il progressivo aumento della sterilità, è consigliabile rinnovare in toto il campo chirurgico a ogni passaggio, secondo la cosiddetta 'teoria dei 3 campi'.

### 1° tempo: lavaggio

Il lavaggio costituisce la prima fase del trattamento. L'obiettivo è quello di ridurre la carica batterica per diluizione, al fine di ottenere un ambiente di frattura il più possibile asettico.

Studi recenti hanno dimostrato che la soluzione salina sterile isotonica rappresenta il gold standard rispetto al tipo di soluzione da utilizzare nel lavaggio delle ferite. Infatti, alternative come soluzioni con additivi o soluzioni antisettiche non hanno dimostrato un beneficio significativo dal punto di vista della prevenzione dell'infezione e risultano aggressive sui tessuti del paziente, già sofferenti <sup>2</sup>.

Diversi studi sono stati effettuati per valutare la quantità di pressione da applicare al lavaggio, affinché ne venga massimizzato l'effetto. Il lavaggio a basse pressioni rappresenta la metodica più conveniente ed efficace, in quanto è stato dimostrato come l'utilizzo di flussi pulsati ad alta pressione favorisca la penetrazione in profondità di eventuali contaminanti e risulti più traumatico sui tessuti molli danneggiati <sup>7</sup>.

La quantità di soluzione fisiologica da applicare è correlata al grado di esposizione. Può essere utile memorizzare la cosiddetta "regola del 3": per ogni grado di esposizione, secondo la classificazione di Gustilo-Anderson, vengono utilizzati almeno 3 litri di soluzione fisiologica.

### 2° tempo: debridement

Finita la fase di lavaggio si passa al debridement della ferita.

È consigliabile allestire una mensola chirurgica dedicata esclusivamente a questa fase, contenente solo gli strumenti necessari a eseguire il debridement. Infatti, per evitare la contaminazione dello strumentario e dei mezzi di sintesi che dovranno essere impiantati successivamente, una volta terminata la fase di debridement è importante sostituire gli strumenti chirurgici e la teleria sterile del campo e del bancone operatorio. Il debridement risulta il passo più critico nella prevenzione delle infezioni e nell'ottenimento della guarigione della frattura. L'errore più comune nella gestione delle fratture esposte è rappresentato dall'esecuzione di un debridement non sufficientemente approfondito.

L'obiettivo di questa fase di trattamento è la rimozione dei tessuti che risultano non vitali o non sanguinanti. L'infezione non si verifica infatti su tessuti vitali ma su tessuti scarsamente o per nulla vascolarizzati che, risultando difficilmente raggiungibili dalla terapia antibiotica, costituiscono dei veri e propri terreni di coltura per i microrganismi. In quest'ottica è utile ricordare il concetto espresso da Claude Bernard e poi ripreso da Louis Pasteur nel 1895, per cui: "Il germe non è nulla: il terreno sul quale esso cresce è tutto"<sup>8</sup>.

In questa fase, l'esame colturale o istologico di campioni di tessuto non risultano indicati. Valenziano et al. hanno dimostrato come studi colturali eseguiti durante il debridement non evidenziano crescita batterica nel 76% dei casi, mentre nel 24% sono stati isolati germi appartenenti alla flora cutanea e in nessuno di questi casi il germe è risultato implicato con episodi di infezione<sup>9</sup>. Da un altro studio che ha valutato retrospettivamente una casistica di 245 fratture esposte trattate presso lo stesso centro emerge che, prendendo in analisi i pazienti che hanno sviluppato infezione, il germe patogeno era presente al momento del debridement solo nel 42% dei casi<sup>10</sup>.

Per eseguire un debridement adeguato è importante considerare la reale estensione del danno ai tessuti molli, secondo il concetto di "zona di lesione". Con esso si intende l'intero segmento di tessuti molli interessato dal danno, indipendentemente dalle dimensioni della ferita cutanea. Infatti, essa rappresenta soltanto la finestra attraverso la quale la zona di lesione comunica con l'esterno, che in molti casi è associata ad ampie lesioni sottostanti. Queste vanno attentamente valutate e incluse nel debridement. Pertanto, è indicato estendere la ferita cutanea da esposizione in modo da poter aver accesso ai tessuti lesionati sottostanti. L'estensione della ferita va eseguita secondo il piano longitudinale dell'arto, seguendo le linee di fasciotomia limitrofe. Inoltre, è indicato asportare il tessuto cutaneo sofferente, in modo da evitare lo sviluppo di aree di necrosi superficiale.

L'escissione della cute andrebbe pertanto estesa fino al raggiungimento di margini di ferita sanguinanti.

Da un punto di vista pratico il debridement deve essere meticoloso: si inizia dalla cute e si procede per strati dalla periferia fino in profondità, passando al sottocute e allo strato muscolare fino ad arrivare all'osso. Per essere sicuri di aver rimosso ogni piccolo contaminante o porzione di tessuto non vascolarizzato, è consigliabile procedere in maniera sistematica esplorando ogni strato a 360° in senso orario o antiorario.

Per quanto riguarda il tessuto muscolare può risultare difficile capire ciò che deve essere salvato e ciò che deve essere rimosso. Per valutarne la vitalità ci viene in aiuto la regola delle 'Quattro C' di Artz et al.<sup>11</sup>, dove le lettere C corrispondono a: Capacità di sanguinare, Contrattilità, Colore e Consistenza. Se il tessuto muscolare non presenta queste caratteristiche tipiche di un tessuto sano, deve essere asportato.

Per quanto riguarda l'osso bisogna ispezionare le estremità, deve essere pulito il cana-

le endomidollare e devono essere rimossi i frammenti ossei devitalizzati a eccezione di quelli articolari, che vanno sempre salvati. Un frammento osseo può essere considerato come non vascularizzato quando non presenta connessioni adeguate con i tessuti molli. Per capire la validità di queste connessioni può essere eseguito il cosiddetto *tug test* (test del rimorchio). Applicando una leggera trazione sul frammento osseo che vogliamo analizzare, si valuta la resistenza esercitata dai tessuti molli che lo circondano nel mantenerlo in sede. Una scarsa o totale assenza di resistenza è indice di una non adeguata connessione con i tessuti molli circostanti e, di conseguenza, di una scarsa vascularizzazione del frammento osseo, che va pertanto considerato non vitale e rimosso.

Non bisogna infatti valutare il frammento osseo devascularizzato come un innesto. Lasciarlo in sede non contribuisce alla guarigione della frattura, ma al contrario risulta essere un terreno privilegiato per il proliferare dell'infezione.

Edwards et al.<sup>12</sup>, in uno studio prospettico che ha preso in analisi 202 fratture esposte di gamba, hanno dimostrato come la rimozione di osso necrotico è in grado di ridurre significativamente il tasso di infezione.

Il debridement termina con un nuovo abbondante lavaggio eseguito con soluzione salina isotonica. Anche in questo caso il lavaggio deve essere delicato, da eseguire con una siringa o con garze bagnate, non con lavaggio pulsato ad alta pressione.

Una valutazione esaustiva della lesione e una sua corretta classificazione possono essere eseguite solo al termine di questa fase. Inoltre, nelle ferite più complesse il trattamento ottimale dovrebbe prevedere un lavoro di equipe tra ortopedico e chirurgo plastico, in modo tale che quest'ultimo possa pianificare la successiva copertura cutanea in funzione di come verrà eseguito il debridement. Questa cooperazione è

raccomandata in letteratura a livello internazionale<sup>4</sup>.

Nel momento in cui, al termine di questa fase, risultasse ancora discutibile la vitalità dei tessuti molli e l'adeguatezza del debridement, è possibile eseguire entro 24-48 ore dal trauma iniziale, il cosiddetto *Second look*. Spesso durante l'intervento in urgenza non è facile valutare in toto la vitalità dei tessuti. Il passare del tempo, a seguito del primo debridement, può aiutare a identificare quelle aree scarsamente vascularizzate che devono essere rimosse e che inizialmente potevano sembrare vitali. Alla fine di questa procedura dovremmo trovarci di fronte a un ambiente il più simile possibile a quello di una frattura chiusa. A questo punto deve essere allestito il terzo campo chirurgico per poter eseguire il trattamento di stabilizzazione della frattura esposta in un'ambiente sterile.

## Bibliografia

- 1 MacKenzie EJ, Jones AS, Bosse MJ, et al. Health-care costs associated with amputation or reconstruction of a limb-threatening injury. *J Bone Joint Surg Am* 2007;89:1685-1692. <https://doi.org/10.2106/JBJS.F.01350>
- 2 Eccles S, Handley B, Kahn U, et al. Standards for the management of open fractures. Oxford, UK: Oxford University Press 2020.
- 3 Buckley RE, Moran CG, Apivatthakakul T. AO principles of fracture management. Third ed. New York, NY: Thieme medical publishing 2017.
- 4 British Orthopaedic Association Trauma Committee. British Orthopaedic Association Standard for Trauma (BOAST): open fracture management. *Injury* 2020;51:174-177. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2019.12.034>
- 5 Gustilo RB, Anderson JT. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J Bone Joint Surg Am* 1976;58:453-458.
- 6 Weber D, Dulai SK, Bergman J, et al. Time to initial operative treatment following open fracture does not impact development of deep infection: a prospective cohort study of 736 subjects. *J Orthop*

- Trauma 2014;28:613-619. <https://doi.org/10.1097/BOT.000000000000197>
- <sup>7</sup> FLOW Investigators, Bhandari M, Jeray KJ, et al. A trial of wound irrigation in the initial management of open fracture wounds. *N Engl J Med* 2015;373:2629-2641. <https://doi.org/10.1056/NEJMoa1508502>
- <sup>8</sup> Ethel D. Hume. Bechamp or pasteur? A lost chapter in the history of biology. Createspace Independent 2017.
- <sup>9</sup> Valenziano CP, Chattar-Cora D, O'Neill A, et al. Efficacy of primary wound cultures in long bone open extremity fractures: are they of any value? *Arch Orthop Trauma Surg* 2002;122:259-261. <https://doi.org/10.1007/s00402-001-0363-6>
- <sup>10</sup> Lee J. Efficacy of cultures in the management of open fractures. *Clin Orthop Relat Res* 1997;339:71-75. <https://doi.org/10.1097/00003086-199706000-00010>
- <sup>11</sup> Artz CP, Sako Y, Scully RE. An evaluation of the surgeon's criteria for determining the viability of muscle during débridement. *AMA Arch Surg* 1956;73:1031-1035. <https://doi.org/10.1001/arch-surg.1956.01280060131029>
- <sup>12</sup> Edwards CC, Simmons SC, Browner BD, et al. Severe open tibial fractures. Results treating 202 injuries with external fixation. *Clin Orthop Relat Res* 1988;230:98-115. PMID: 3365903.

# STABILIZZIAMO QUESTE FRATTURE? COME? QUANDO?

Mario Manca<sup>1</sup>, Mauro Argiolas<sup>2</sup>, Gianluca Nulvesu<sup>3</sup>, Andrea Bertucelli<sup>3</sup>, Salvatore Annunziata<sup>4</sup>

<sup>1</sup> UOC Ortopedia e Traumatologia, Ospedale Versilia, Lido di Camaiore, Lucca; <sup>2</sup> UO Ortopedia e Traumatologia, Università di Sassari, Sassari; <sup>3</sup> UO Ortopedia e Traumatologia, Università di Pisa, Pisa; <sup>4</sup> Clinica di Ortopedia e Traumatologia, Fondazione IRCCS Policlinico San Matteo, Università degli Studi di Pavia, Pavia

## Introduzione

Una frattura esposta è una lesione in cui l'osso fratturato e/o l'ematoma di frattura sono esposti all'ambiente esterno attraverso una violazione traumatica dei tessuti molli e della pelle. La ferita cutanea può trovarsi in un sito distante dalla frattura e non direttamente su di essa. Pertanto, qualsiasi frattura che abbia una ferita associata deve essere considerata aperta fino a prova contraria<sup>1</sup>. Questa comunicazione con l'ambiente esterno può portare a tassi più elevati d'infezione, viziosa consolidazione e pseudoartrosi se non precocemente riconosciuta e adeguatamente trattata<sup>2</sup>.

Le caratteristiche peculiari di queste lesioni impongono più che mai un timing ragiona-

to, associato a un'osteosintesi che tenga conto contemporaneamente delle condizioni sistemiche e locali del paziente.

## Obiettivi del trattamento

Il trattamento delle lesioni ad alta energia mira a preservare la vita del paziente, gli arti e la loro funzione, in ordine di priorità. Gli obiettivi intermedi sono:

- prevenzione delle infezioni;
- stabilizzazione della frattura;
- copertura dei tessuti molli.

I principi base della gestione delle lesioni sono stabiliti dalla seconda metà del XX secolo e rimangono, ad oggi, sostanzialmente invariati (Tab. I). Tali principi possono essere così schematizzati:

**Tabella I.** Fasi del trattamento delle fratture esposte.

<b>Valutazione iniziale</b>	ABC (secondo ATLS)
	Trattamento in pronto soccorso
	Medicazione della ferita e immobilizzazione in tutore
<b>Interventi primari</b>	Debridement seriatati della ferita
	Stabilizzazione della frattura
<b>Interventi secondari</b>	Ricostruzione della cute e dei tessuti molli
	Ricostruzione dell'osso
<b>Riabilitazione</b>	

- trattamento d'urgenza iniziale: steccaggio temporaneo della frattura, medicazione della ferita, terapia antibiotica e profilassi contro il tetano;
- trattamento chirurgico primario: debridement, irrigazione e stabilizzazione della frattura;
- trattamento chirurgico ritardato: chiusura/copertura della ferita nel periodo temporale adeguato;
- riabilitazione e follow-up.

## Cronoprogramma chirurgico

L'attenta pianificazione chirurgica rappresenta il primo passo nella gestione del paziente.

Attualmente non esiste accordo su quale sia il periodo massimo di attesa consentito prima della chirurgia.

Va sottolineato che, sebbene la profilassi antibiotica rappresenti un importante coadiuvante al trattamento chirurgico, essa non permette di procrastinare indebitamente l'intervento stesso<sup>3</sup>.

Storicamente le fratture esposte sono state trattate entro le 6 ore dal trauma, sulla base delle indicazioni di Gustilo e Anderson del 1976<sup>4</sup> e confermate dagli studi su modelli animali di Paul Leopold Friedrich<sup>5</sup>.

Tuttavia, alcuni studi recenti non hanno evidenziato un vantaggio particolare della regola delle "6 ore" e invece sottolineano l'importanza di eseguire il debridement e il lavaggio in condizioni ottimali, ovvero l'esecuzione da parte di operatori esperti che lavorano durante l'orario diurno di servizio<sup>2,6</sup>.

La preparazione e la gestione del campo operatorio rivestono grande importanza ed esigono 3 differenti cambi di strumentario e vestiario rispettivamente per la fasi di lavaggio, debridement e stabilizzazione. Nei casi che richiedono la fissazione temporanea, la tempistica relativa all'ostesintesi definitiva dipenderà dalla vitalità e il tro-

fismo dei tessuti molli. Ove siano presenti problematiche sistemiche (politrauma) la pianificazione della sintesi definitiva dovrà avvenire in accordo con i colleghi rianimatori (finestra d'opportunità).

## Stabilizzazione della frattura

La stabilizzazione precoce della frattura riduce il dolore, facilita la successiva mobilizzazione, previene ulteriori lesioni ai tessuti molli e dunque favorisce la guarigione, facilitando la risposta dell'ospite ai germi. Tutto questo è particolarmente importante per le fratture articolari, dove il movimento articolare precoce rappresenta un cardine del processo riabilitativo. Esistono diverse opzioni di trattamento per le fratture esposte a seconda dello stato emodinamico, livello e pattern della frattura, nonché dell'estensione delle lesioni dei tessuti molli, il grado della loro contaminazione e il tempo trascorso prima del debridement.

Le fratture di tipo I sec. Gustilo sono equiparabili a fratture chiuse e quindi possono essere trattate con sintesi interna. Le fratture di tipo II e III non hanno una metodica univoca di trattamento. Nelle fratture diafisarie va rispettato il principio di riduzione funzionale (ripristino di asse, lunghezza e rotazione), al fine di ridurre al minimo lo spazio morto e la creazione di raccolte. Nelle fratture articolari è altresì necessario effettuare una riduzione e sintesi anatomica con stabilità assoluta.

## Fissatore esterno

Il fissatore esterno (FE) è applicabile anche nei casi di maggior esposizione ed è attualmente utilizzato prevalentemente come fissazione temporanea, sebbene possa rappresentare anche una metodica di trattamento definitivo, soprattutto nei pazienti politraumatizzati o nei gravissimi casi di contaminazione e/o perdita di sostanza,



**Figura 1.** A) quadro clinico iniziale di grave frattura esposta bi-ossea di avambraccio sinistro; B) controllo fluoroscopico dopo intervento di lavaggio, debridement e posizionamento di fissatore esterno; C) controllo clinico a 2 settimane con buon trofismo dei tessuti molli; D) controllo clinico a 1 mese dopo rimozione del FE.

ovvero dove sono preventivabili plurimi debridement<sup>8</sup> (Fig. 1).

Nelle fratture di tipo C sec. Classificazione AO è possibile gestire la parte articolare mediante sintesi a compressione interframmentaria e demandare la gestione della componente metafisaria alla fissazione esterna.

In alcuni casi sono stati riportati outcomes clinici paragonabili al trattamento con inchiodamento endomidollare per fratture esposte di tibia IIIB<sup>9</sup>. Un FE può essere utilizzato nel setting del damage control e garantisce una stabilità relativa. Inoltre, l'utilizzo di un FE consente di non arrecare ulteriori danni ai tessuti molli, in quanto

la tecnica di posizionamento risulta essere minimamente invasiva e non richiede contatto con il focolaio di esposizione. Come altro vantaggio ricordiamo la possibilità di essere revisionato senza necessità di manovre cruente e permette di eseguire gesti accessori (es. il posizionamento di perle antibiotiche). Tuttavia, tra i contro di tale metodica troviamo la possibilità di infezione dei tramiti, il mal allineamento dei monconi ossei, i possibili ritardi di consolidazione; inoltre non è consigliato in pazienti scarsamente collaboranti.

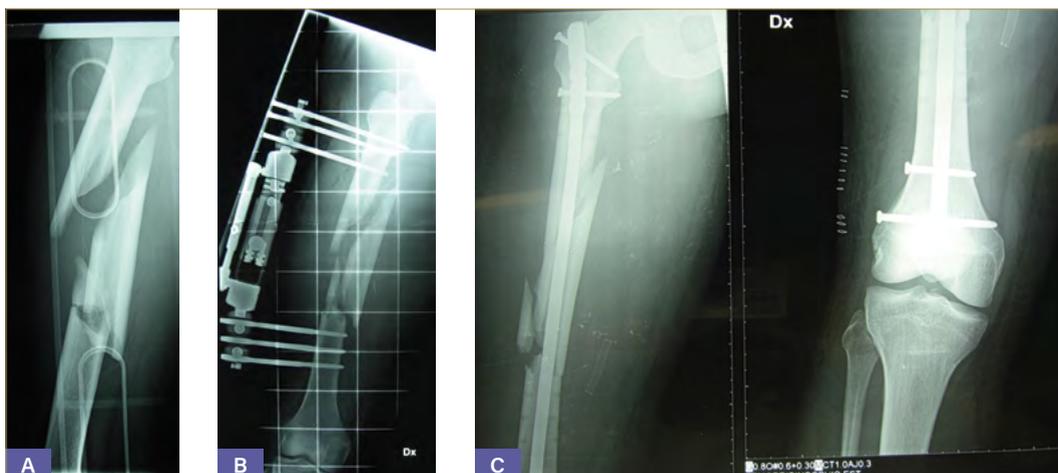
La conversione di un FE in un chiodo endomidollare dovrebbe essere eseguita nel minor tempo possibile. Se tale procedura viene eseguita oltre i 14 giorni è consigliato associare un ulteriore debridement alla rimozione delle viti, facendo precedere una fase di immobilizzazione in gesso/tutore della durata di circa 10 giorni, per garantire il granuleggiare dei tramiti<sup>7</sup>.

### Chiodo endomidollare

I chiodi rappresentano il trattamento di scelta definitivo per la maggior parte delle fratture degli arti inferiori, in quanto permettono una rapida concessione del carico, sono ottimamente tollerati dai pazienti e godono di una minor incidenza di viziosa consolidazione<sup>2</sup> (Fig. 2). L'inchiodamento endomidollare è inoltre accettato anche nelle esposizioni di grado IIIA.

Storicamente, le fratture esposte delle ossa lunghe sono state trattate con chiodi non alesati, al fine di preservare la vascolarizzazione endostale ritenuta assai importante, soprattutto nell'osso esposto, per favorire la guarigione e minimizzare il rischio di pseudoartrosi.

Tuttavia, questo vantaggio teorico non è stato dimostrato dagli studi attualmente presenti in letteratura, che riportano risultati simili in termini di incidenza di pseudoartrosi e di infezioni tra l'utilizzo di chiodi alesati e non alesati<sup>10-12</sup>. È stato inoltre riportato un



**Figura 2.** A) radiografia di frattura pluriframmentaria diafisi femore destro; B) fissazione esterna temporanea con fissatore monoassiale; C) sintesi definitiva con chiodo endomidollare.

maggior tasso di revisione nei pazienti trattati con chiodi alesati <sup>13</sup>.

L'alesaggio del canale assume poi importanza nel trattamento del paziente politraumatizzato, dove la procedura di alesaggio rappresenta un ulteriore impatto sul paziente che può reagire con una sindrome da iper-infiammazione, che a sua volta può amplificare le note complicanze post-politrauma con l'insufficienza respiratoria acuta <sup>7</sup>.

### Placche e viti

La sintesi con placche generalmente non è raccomandata negli arti inferiori (es. diafisi tibiale – tasso infezioni del 20-40%), ma rimane efficace su omero, radio e ulna e rappresenta il trattamento di scelta per molte fratture articolari <sup>7</sup>. Attenzione particolare va posta alle fratture di radio e ulna, anche diafisarie, che sono da considerarsi come fratture “articolari”, in quanto il ripristino “anatomico” della morfologia di radio e ulna è condizione necessaria per il recupero della complessa biomeccanica dell'avambraccio. In questo senso la sintesi con

placca e viti detiene i risultati migliori in termini di ripristino della funzione e dovrebbe rappresentare la prima scelta, anche in tutti quei casi in cui si rende necessario un intervento in due tempi (sintesi temporanea seguita dalla definitiva), preventivando la partecipazione di un chirurgo plastico per effettuare la copertura dei tessuti molli.

Con l'avvento delle metodiche mini-invasive le principali complicanze legate al posizionamento delle placche, ovvero le lesioni dei tessuti molli, si sono sensibilmente ridotte. In letteratura sono riportati risultati simili in termini di infezioni, pseudoartrosi e necessità di re-interventi nel trattamento delle fratture esposte di tibia con inchiodamento o sintesi mediante placche <sup>14</sup>. Tuttavia, tale procedura richiede un'elevata abilità tecnica, per cui non è raccomandabile per tutti gli operatori.

### Conclusioni

La gestione acuta delle fratture esposte rimane una sfida per i chirurghi ortopedici. Il lavaggio, debridement e la stabilizzazione

temporanea/definitiva precoce sono lo standard di cura e andrebbero eseguite durante le ore diurne da parte di un team esperto.

Gli obiettivi della chirurgia sono: il raggiungimento di un completo debridement, la stabilizzazione ossea e un'adeguata copertura dei tessuti molli.

Sono disponibili diverse tecniche di fissazione, ognuno con i suoi vantaggi e svantaggi.

## Bibliografia

- 1 Morris R, Jones NC, Pallister I. The use of personalised patient information leaflets to improve patients' perceived understanding following open fractures. *Eur J Orthop Surg Traumatol Orthop Traumatol* 2019;29:537-543. <https://doi.org/10.1007/s00590-018-2332-6>
- 2 Halawi MJ, Morwood MP. Acute management of open fractures: an evidence-based review. *Orthopedics* 2015;38:e1025-1033. <https://doi.org/10.3928/01477447-20151020-12>
- 3 Diwan A, Eberlin KR, Smith RM. The principles and practice of open fracture care, 2018. *Chin J Traumatol* 2018;21:187-192. <https://doi.org/10.1016/j.cjtee.2018.01.002>
- 4 Gustilo RB, Anderson JT. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *J Bone Joint Surg Am* 1976;58:453-458.
- 5 Werner CML, Pierpont Y, Pollak AN. The urgency of surgical débridement in the management of open fractures. *J Am Acad Orthop Surg* 2008;16:369-375. <https://doi.org/10.5435/00124635-200807000-00002>
- 6 You DZ, Schneider PS. Surgical timing for open fractures. *OTA Int* 2020;3:e067. <https://doi.org/10.1097/OI9.0000000000000067>
- 7 Buckley RE, Moran CG, Apivattthakakul T. AO principles of fracture management, Vol. 1: Principles, Vol. 2: Specific fractures, 3° ed. New York, NY: Thieme 2017.
- 8 Edwards CC, Simmons SC, Browner BD, et al. Severe open tibial fractures. Results treating 202 injuries with external fixation. *Clin Orthop* 1988;230:98-115. PMID: 3365903
- 9 Tornetta P, Bergman M, Watnik N, et al Treatment of grade-IIIb open tibial fractures. A prospective randomised comparison of external fixation and non-reamed locked nailing. *J Bone Joint Surg Br* 1994;76:13-19.
- 10 Study to Prospectively Evaluate Reamed Intramedullary Nails in Patients with Tibial Fractures Investigators (SPRINT), Bhandari M, Guyatt G, Tornetta P, et al. Randomized trial of reamed and unreamed intramedullary nailing of tibial shaft fractures. *J Bone Joint Surg Am* 2008;90:2567-2578. <https://doi.org/10.2106/JBJS.G.01694>
- 11 el Moumni M, Leenhouts PA, ten Duis HJ, et al. The incidence of non-union following unreamed intramedullary nailing of femoral shaft fractures. *Injury* 2009;40:205-208. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2008.06.022>
- 12 Nouri T, Yokoyama K, Ohtsuka H, et al. Intramedullary nailing for open fractures of the femoral shaft: evaluation of contributing factors on deep infection and nonunion using multivariate analysis. *Injury* 2005;36:1085-1093. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2004.09.012>
- 13 Study to Prospectively Evaluate Reamed Intramedullary Nails in Patients with Tibial Fractures Investigators (SPRINT), Bhandari M, Tornetta P, Rampersad S-A, et al. (Sample) size matters! An examination of sample size from the SPRINT trial study to prospectively evaluate reamed intramedullary nails in patients with tibial fractures. *J Orthop Trauma* 2013;27:183-188. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e3182647e0e>
- 14 Vallier HA, Cureton BA, Patterson BM. Randomized, prospective comparison of plate versus intramedullary nail fixation for distal tibia shaft fractures. *J Orthop Trauma* 2011;25:736-741. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e318213f709>

# LE FRATTURE ESPOSTE DEL PIEDE

Michael James Ceglia, Stefano Bianco, Alessandro Perrone, Pietro De Biase

*SOD di Traumatologia e Ortopedia Generale, Azienda Ospedaliera Universitaria Careggi, Firenze*

## Introduzione

Le fratture del piede rappresentano il 12,3% delle fratture in totale <sup>1</sup>, ma quelle esposte sono ben più rare: è infatti stimato che abbiano un'incidenza annua nel mondo occidentale di circa 2,84 individui ogni 100.000 abitanti <sup>2</sup>.

Presentano un'ampia variabilità clinica, andando da esposizioni puntiformi di una falange a esposizioni estese di medio e retpiede.

Le fratture esposte a bassa energia sono più frequenti, riguardano generalmente l'avampiede e hanno una prognosi favorevole a condizione di una corretta diagnosi precoce.

Le fratture esposte ad alta energia sono meno frequenti: essendo causate da traumi ad alta energia, coinvolgono il medio e retpiede e hanno una prognosi e un risultato clinico poco prevedibile. Sono associate a grave danno dei tessuti molli di rivestimento e a traumatismi di altri distretti corporei. Per tale motivo l'amputazione precoce talvolta rappresenta l'opzione più vantaggiosa. A differenza delle fratture esposte delle falangi, è raccomandabile trattarle presso centri specializzati al fine di beneficiare delle cure congiunte di varie equipe.

## Discussione

La scarsa letteratura a riguardo riflette l'esiguità dei casi, ma anche la difficoltà a

elaborare una panoramica d'insieme sulla tematica: è verosimile ipotizzare che negli ospedali periferici vengano trattate principalmente le fratture a bassa energia, mentre nei centri di riferimento quelle ad alta energia.

Risulta pertanto opportuno distinguere tra fratture esposte di avampiede, mediopiede e retpiede, in modo da fornire indicazioni utili a professionisti che lavorano in realtà differenti.

Obiettivi comuni del trattamento sono la prevenzione dell'infezione e il ripristino di un piede plantigrado idoneo all'impiego di calzature convenzionali.

## Fratture esposte di avampiede

Le fratture esposte di una falange o di un solo metatarso sono generalmente conseguenza di traumi da schiacciamento, a bassa energia o lesioni da taglio. A causa del più consistente rivestimento dei tessuti plantari del piede, tali esposizioni sono per lo più dorsali <sup>3</sup>.

Le fratture metatarsali multiple sono invece conseguenza di traumi ad alta energia, siano essi diretti o da schiacciamento.

Secondo Court Brown le fratture esposte delle falangi interessano una singola falange nel 77% dei casi. Nel 10,5% dei casi sono fratture esposte tipo III secondo Gustillo Anderson <sup>4</sup> e nel 12,9% dei casi necessitano di amputazione.

Le fratture esposte di più falangi rappresentano il 23% dei casi. Nel 53% dei casi

sono fratture esposte di tipo III e nel 37,5% necessitano di amputazione.

Nella serie dell'autore citato, nessuna amputazione si estendeva alla regione dei metatarsi.

Le fratture esposte dei metatarsi interessano un singolo metatarso nel 44% dei casi. Nel 21% dei casi sono fratture esposte di tipo III e nel 10,7% necessitano di amputazione.

Le fratture esposte di più metatarsi rappresentano il 54%, di cui il 78% dei casi sono fratture esposte di tipo III e nel 28% necessitano di amputazione.

Tutte le amputazioni erano limitate all'avampiede.

A causa della paucità di letteratura sull'argomento e delle analogie anatomiche esistenti tra dita della mano e dita del piede, in attesa di una letteratura dedicata, appare ragionevole tenere in considerazione quella sulle fratture esposte della mano, sebbene questo distretto presenti generalmente un'evoluzione più favorevole.

Poiché gli attuali sistemi di classificazione delle fratture esposte delle ossa lunghe sono di difficile applicazione alle dita (della mano), al fine di fornire uno strumento nella guida al trattamento, risulta utile applicare un sistema classificativo dedicato <sup>5</sup>.

Tale sistema prende in considerazione, oltre al distretto anatomico interessato, anche la co-presenza di 3 "modificatori" o fattori di aggravamento dell'esposizione: A) impossibilità di chiusura della lesione per prima intenzione; B) franca contaminazione e C) devascularizzazione.

In presenza di frattura esposta, a prescindere da qualsiasi modificatore di esposizione, la somministrazione di adeguata terapia antibiotica deve essere immediata, alla presentazione in pronto soccorso o meglio ancora sul territorio.

In assenza di modificatori di esposizione, risultano adeguate il lavaggio tempestivo della ferita in pronto soccorso, la chiusura

e il successivo trattamento standard della frattura.

In presenza di modificatore A, la copertura del difetto dei tessuti molli deve essere programmata in regime semi-elettivo, seguita dal trattamento standard della frattura.

In presenza di modificatore B, la frattura esposta deve essere sottoposta in regime di urgenza a lavaggio e debridement con trattamento della frattura immediato o stadiato, in base alla possibilità di copertura del difetto dei tessuti molli.

In presenza di modificatore C è necessaria una procedura di rivascolarizzazione in emergenza, associata alla stabilizzazione della frattura.

L'evidenza attuale indica che i principali predittori di infezione sono l'immediato utilizzo di terapia antibiotica e l'entità della contaminazione, e non il timing del debridement <sup>5</sup>.

Fondamentale, inoltre, è il corretto management dei tessuti molli al fine di evitare la formazione di cicatrici dolorose, contratture digitali e neuromi. Da non sottovalutare, inoltre, la possibilità di "esposizione occulta" in presenza di fratture della lamina ungueale e di lesioni del letto ungueale.

In presenza di lesioni del letto ungueale con lamina ungueale integra, anche se avulsa del tutto o parzialmente dalla matrice, è auspicabile riposizionare in sede la lamina ungueale, al fine di evitare la formazione di eventuali cheloidi sulla superficie del letto ungueale che potrebbero interferire con la ricrescita dell'unghia <sup>6</sup>.

La sintesi definitiva della frattura delle falangi in genere è eseguita mediante fili di K o eccezionalmente, nel caso del I dito, mediante fissatori esterni da piccoli frammenti ossei. Durante la sintesi è importante evitare lussazioni plantari o dorsali rispetto alla testa metatarsale corrispondente, al fine di non incorrere in successive deformità dolorose e artrosi degenerative.

La stabilizzazione delle fratture metatarsali avviene solitamente con fili di K con tecnica

in-out out-in nella regione plantare, sfruttando il focolaio di esposizione.

Nel caso di frattura metatarsale isolata e di possibilità di chiusura definitiva dei tessuti molli è possibile eseguire la sintesi con placca e viti (2,4 mm).

Le fratture esposte dell'avampiede, associate a modificatori di esposizione tipo B e C, richiedono il trattamento congiunto di equipe di chirurgia ortopedica, plastica e vascolare. Dopo l'iniziale lavaggio-debridement e stabilizzazione segue l'eventuale procedura di rivascolarizzazione. La tecnica di copertura dei tessuti molli è subordinata alla demarcazione dei tessuti circostanti e alla presenza di adeguato tessuto di granulazione sul fondo di lesione. L'utilizzo di graft artificiali e di dispositivi a pressione negativa rappresentano un prezioso aiuto durante le fasi intermedie del trattamento.

Tendini, osso e cartilagine esposti non sono idonei a ricevere copertura con innesti dermo-epidermici.

L'utilizzo di flap locali (flap rotazionali o V-Y) è limitato alla copertura di piccoli difetti. Difetti più ampi prevedono il ricorso a lembi liberi, la cui probabilità di successo nel lungo periodo è migliore nella regione dorsale del piede. La loro esecuzione per la copertura di difetti plantari è potenzialmente gravata da complicanze, quali formazione di calli dolorosi o processi ulcerativi conseguenti alle pressioni di carico e al conflitto con la calzatura, essendo la cute plantare altamente specializzata e difficilmente sostituibile (Fig. 1).

## Fratture esposte del mediopiede

Le fratture esposte del mediopiede possono interessare l'articolazione di Chopart, quella di Lisfranc e le cuneo-metatarsali.

Sebbene nella serie di Court Brown siano risultate circa il 4% di tutte le fratture esposte del piede, l'autore ne sottolinea la gravità, precisando che nel 20% dei casi sono

associate a un *Injury Severity Score* (ISS) superiore a 16, nell'85% sono esposizioni di III grado e nel 30% necessitano di amputazione.

In presenza di compromissione dei tessuti molli estesa al retro piede questo tipo di lesioni richiedono amputazioni al terzo distale di gamba.

Essendo praticamente sempre associate a un modificatore di tipo B e talvolta C, queste lesioni richiedono trattamento urgente formale in sala operatoria.

La principale difficoltà nel trattamento di queste esposizioni, che in genere sono dorsali, è rappresentata dal limitato numero di opzioni ricostruttive dei tessuti molli qualora il danno sia esteso. Il lembo libero di gracile rappresenta l'opzione più utilizzata<sup>7</sup> e richiede il trattamento congiunto tra ortopedico e chirurgo plastico.

A livello scheletrico è importante preservare la lunghezza della colonna mediale e di quella laterale del piede, al fine di non alterare la dinamica del ciclo del passo.

Fratture comminute dello scafoide determinano accorciamento della colonna mediale e alterano la funzionalità della coxa pedis. La validità del tendine del muscolo tibiale posteriore risulta conseguentemente ridotta, inficiando la forza propulsiva del piede durante la fase di *push-off*<sup>8</sup>.

Le lesioni della Lisfranc, se non trattate, possono esitare da un lato in rigidità eccessiva della colonna laterale e dall'altro in un'instabilità della colonna mediale.

L'eccessiva rigidità della colonna laterale compromette la fase iniziale di midstance, quando il piede dovrebbe essere flessibile per adattarsi alle asperità del terreno, mentre l'instabilità della colonna mediale, per mancato ripristino della *key stone* che alloggia la base del II metatarso, impedisce al piede di trasformarsi in una leva rigida nella fase finale di midstance.

Le lesioni isolate di cuboide devono essere valutate con circospezione sia perché posso-



**Figura 1.** Frattura esposta I metatarso con subamputazione I raggio. A) perdita di sostanza dorsomediale con subamputazione I raggio; B) TAC 3D avampiede evidenza comminuzione ossea; C) regolarizzazione I MT e stabilizzazione con fili di K del II e III raggio; D) controllo RX.

no essere associate ad altre lesioni del medio-piede (*nutcracker injury*), sia perché possono alterare il decorso e la funzionalità del tendine del muscolo peroniero lungo, che è il principale stabilizzatore dinamico della volta longitudinale<sup>9</sup>.

Le lesioni delle articolazioni cuneo-metatarsali in genere hanno prognosi migliore, data la loro esegua motilità.

Se lo stato dei tessuti molli lo permette, è auspicabile una riparazione in urgenza delle fratture di scafoide e di quelle del cu-

boide mediante placche a ponte in caso di comminazione, oppure viti interframmentarie nel caso di frammenti di grosse dimensioni <sup>10</sup>.

Tuttavia, essendo spesso lesioni ad alta energia l'obiettivo del trattamento in urgenza deve essere incentrato sul damage control: le lesioni dei tessuti molli devono essere gestite con dispositivi terapeutici a pressione negativa e impiego di graft artificiali temporanei, in attesa della demarcazione dei tessuti circostanti e della granulazione del fondo di lesione, mentre le lesioni ossee devono essere gestite con la finalità di preservare la lunghezza delle due colonne, mediale e laterale. Di particolare utilità risulta l'impiego di fissatori esterni da piccoli frammenti ossei.

La congruenza articolare a livello dell'articolazione di Lisfranc deve essere ripristinata tempestivamente, in quanto il trattamento dilazionato è reso arduo dalla perdita del diritto di domicilio delle metatarso-cuneiformi e dalla difficoltà di praticare future incisioni chirurgiche su una regione dorsale già compromessa.

Il trattamento definitivo della componente scheletrica della Lisfranc prevede l'utilizzo di viti o placche a ponte nella porzione mediale dell'articolazione e di fili di K della porzione laterale. L'utilizzo di fili di K ne rende agevole la successiva rimozione ambulatoriale, mentre la rimozione dei mezzi di sintesi dalla porzione mediale va attentamente valutata tenendo in considerazione sia le caratteristiche del paziente che gli esiti cicatriziali locali <sup>11</sup>. Tradizionalmente la rimozione dei mezzi di sintesi dalla colonna mediale viene eseguita a 4 mesi dall'intervento e ha come obiettivo il ripristino della motilità dell'articolazione tarso metatarsale corrispondente. Tuttavia, i buoni risultati clinici dei casi trattati con artrodesi primaria sembrano suggerire che la perdita della motilità a livello delle prime tre articolazioni tarso-metarsali non influiscano realmente

sui risultati funzionali dei pazienti <sup>12</sup>. Van Pelt et al. hanno condotto uno studio retrospettivo su 61 pazienti trattati con ORIF per lesioni dell'articolazione di Lisfranc, evidenziando che circa l'80% dei pazienti erano scevri da complicanze imputabili alla permanenza dei mezzi di sintesi e che la perdita di riduzione (11%) e la rottura dei mezzi di sintesi (6%) correlavano rispettivamente con età anagrafica avanzata (osteoporosi) e obesità.

### **Fratture esposte del retro piede**

Nella serie di Court Brown le fratture esposte del retro piede rappresentavano il 21% di tutte le fratture esposte del piede, distinguendo tra fratture esposte di calcagno (16%) e fratture esposte di astragalo (5%). La gravità di queste lesioni è desumibile dal fatto che nel 22% casi erano associate a ISS superiore a 16, che nel 73% dei casi erano esposizioni di grado III e che nel 17% dei casi necessitavano di amputazione, solitamente al terzo distale di gamba.

Sono conseguenza di traumi ad alta energia e necessitano pertanto di damage control in urgenza <sup>13</sup>.

Benché astragalo e calcagno siano anatomicamente attigui, ciascuno presenta le proprie peculiarità.

L'astragalo si comporta da segmento intercalare tra tibia, calcagno e mediopiede, contribuendo sia alla costituzione della sottoastragalica che dell'astragalo scafoidea. Presenta il 60% di superficie cartilaginea, manca di inserzioni tendinee e riceve la propria vascolarizzazione alla giunzione tra testa e corpo attraverso i vasi contenuti nelle inserzioni capsulari e legamentose.

Il calcagno presenta circa il 25% di superficie cartilaginea, ha numerose inserzioni tendinee e, a differenza dell'astragalo, riceve abbondante perfusione vascolare. Si comporta da segmento terminale nella trasmissione del carico: plantarmente è protetto da un cuscinetto adiposo altamente

specializzato, capace di assorbire le forze di taglio e in compressione che si generano durante il ciclo del passo.

Tali differenze sono responsabili di sottotipi distinti di lesione <sup>14</sup>.

Le fratture esposte del collo dell'astragalo sono extraarticolari, ma rischiano di comprometterne la vascolarizzazione. La riduzione della scomposizione riduce il rischio di osteonecrosi. La sintesi definitiva con viti cannulate o placche e viti da piccoli frammenti, ove possibile, è da eseguire precocemente. Qualora sia necessaria una controincisione per confermare la qualità della riduzione è ragionevole la stabilizzazione temporanea con fili di K in attesa del miglioramento dei tessuti molli.

Generalmente per la conformazione anatomica dell'astragalo e per il meccanismo di lesione la porzione laterale dell'astragalo cede in tensione, mentre quella mediale in compressione. Di conseguenza la frattura presenta maggiore complessità di riduzione sul versante mediale in compressione, perché più frequentemente comminuta.

Le fratture esposte del corpo dell'astragalo sono articolari e pertanto complicate da artrosi post-traumatica della sottoastragalica. Poiché la sintesi definitiva deve essere accurata e può richiedere l'esecuzione di una osteotomia del malleolo mediale, in fase acuta è indicato il posizionamento di stecca gessata o di fissatore esterno.

Le lussazioni esposte peritalari coinvolgono sia l'articolazione sottoastragalica che quella astragaloscafoidea e possono essere sia laterali che mediali.

Nelle esposizioni laterali la riduzione è ostacolata dall'interposizione del tendine del tibiale posteriore o del flessore lungo delle dita.

Nelle esposizioni mediali la riduzione è ostacolata dall'interposizione dei tessuti capsulari o del muscolo pedidio.

In entrambi i casi la riduzione concentrica dell'astragalo va eseguita in urgenza e

mantenuta con fili di K o fissatore esterno. Le estrusioni complete dell'astragalo ne comportano la completa devascularizzazione e pongono il dilemma circa il sacrificio o reimpianto.

Quest'ultimo prevede la combinazione di lavaggio pulsato con fisiologica e immersione in soluzione antibiotata dell'astragalo; spesso si può incorrere in deformità e instabilità del retro piede associate a talectomia, ma spesso complicate da osteonecrosi e/o osteomielite. Il reimpianto può essere considerato un trattamento temporaneo in attesa della guarigione dei tessuti.

Le fratture esposte di calcagno (Fig. 2) presentano solitamente esposizione mediale determinata dall'estrusione di una spicola ossea oppure dalla lacerazione della cute secondaria all'eccessiva deformità in valgo. Poiché deformano il retro piede e coinvolgono l'articolazione sottoastragalica, necessitano di accurata riduzione e sintesi. Il danno a carico dei tessuti molli, tuttavia, sconsiglia la sintesi definitiva in urgenza, perché con tassi di fallimento descritti fino al 100% <sup>15</sup>.

Obiettivo del damage control è la gestione dei tessuti molli con presidi terapeutici a pressione negativa e la riduzione della deformità scheletrica mediante fili di K temporanei associati a posizionamento di stecca gessata o fissazione esterna tibio-metatarsale.

Un approccio multidisciplinare e il corretto timing della sintesi definitiva possono ridurre le complicanze a circa il 10% dei casi. I fattori predittivi di risultati sfavorevoli sono l'esposizione maggiore di 5 cm, la necessità di copertura del difetto con lembi liberi, la lesione neurovascolare associata e l'avulsione del cuscinetto adiposo plantare <sup>16</sup>.

Il lembo libero di gracile permette di coprire difetti di moderata dimensione del retro piede con scarsa morbidity del sito donatore e sufficiente dimensione del peduncolo vascolare <sup>16</sup>. Per lesioni massive, tuttavia, è necessario ricorrere a lembi più complessi,



**Figura 2.** Frattura esposta di calcagno. A) esposizione laterale con lembo cutaneo; B) Rx proiezione laterale che evidenzia frattura lussazione complessa del retro piede; C) damage control con applicazione fissatore esterno mediale in conformazione triangolare; D) artrodesi primaria.

come antero-laterale di coscia o gran dorsale.

## Conclusioni

Le fratture esposte del piede sono rare, ma caratterizzate da una ampia variabilità di presentazione che difficilmente viene osservata per intero nella pratica del singolo medico.

Il risultato di questo tipo di lesioni peggiora in maniera direttamente proporzionale all'entità del danno dei tessuti molli, al grado di severità della frattura e al grado di contaminazione iniziale dell'esposizione.

I corretti timing e sequenza del trattamento sono fondamentali nel ridurre il tasso di complicanze, che comunque rimane elevato per le lesioni più gravi.

La gravità della lesione deve essere contestualizzata alle condizioni cliniche generali del paziente. Talvolta complesse procedure di salvataggio devono essere evitate o rigettate precocemente in favore di amputazioni funzionalmente più vantaggiose.

Sebbene l'ausilio di chirurghi plastici e vascolari possa risultare indispensabile, l'ortopedico prefigura al meglio il risultato definitivo del percorso intrapreso e rappresenta per il paziente il riferimento principale.

## Bibliografia

- <sup>1</sup> Buchholz RW, Heckman JD, Court Brown C, et al. Rockwood and Green's fractures in Adults. 7<sup>th</sup> ed. Philadelphia, PA: Lippincott Williams&Wilkins 2010, pp. 53-84.
- <sup>2</sup> Court Brown C, Honeyman C, Bugler K, et al. The spectrum of open fractures of the foot in adults. *Foot Ankle Int* 2013;34:323-328. <https://doi.org/10.1177/1071100712466232>
- <sup>3</sup> Manal M, Ved Prakash R, Krishna D, et al. Post-traumatic wounds over the dorsum of the foot- our experience. *Int J Burns trauma* 2020;10:137-145.
- <sup>4</sup> Gustillo R, Anderson J. Prevention of infection in the treatment of one thousand and twenty-five open fractures of long bones: retrospective and prospective analyses. *JBJS Am* 1976;58:453-458.
- <sup>5</sup> Tulipan E, Asif M. Open fractures of the hand. *Orthop Clin North Am* 2016;47:245-251. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2015.08.021>
- <sup>6</sup> Lawrence K. How to manage traumatic wounds successfully Q&A. *Podiatry today*, 2005.
- <sup>7</sup> Baumeister S, German G. Soft tissue coverage of the extremely traumatized foot and ankle. *Foot Ankle Clin* 2001;6:867-903. [https://doi.org/10.1016/s1083-7515\(02\)00006-2](https://doi.org/10.1016/s1083-7515(02)00006-2)
- <sup>8</sup> DiDomenico LA, Thomas ZM. Midfoot crush injuries. *Clin podiatr med Surg* 2014;31:493-508. <https://doi.org/10.1016/j.cpm.2014.06.005>
- <sup>9</sup> Mihalic RM, Early JS. Management of cuboid crush injuries. *Foot Ankle Clin* 2006;11:121-126. <https://doi.org/10.1016/j.fcl.2005.11.001>
- <sup>10</sup> Surgery reference. *AO Adult Trauma. Consult Online*.
- <sup>11</sup> VanPelt MD, Athey A. Is routine hardware removal following open reduction internal fixation of tarsometatarsal joint fracture/dislocation necessary? *J foot Ankle Surg* 2019;58:226-230. <https://doi.org/10.1053/j.jfas.2018.08.016>
- <sup>12</sup> Ly TV, Coetzee JC. Treatment of primarily ligamentous TMTJ joint injuries: primary arthrodesis compared with open reduction and internal fixation: a prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg Am* 2006;88:514-520. <https://doi.org/10.2106/JBJS.E.00228>
- <sup>13</sup> Gustilo RB, Merkow RL. The management of open fractures. *JBJS Am* 1990;72:299-304.
- <sup>14</sup> Vohra R, Singh A, et al. Management of open injuries of the foot: current concepts. *J Foot Ankle Surg (Asia-Pacific)* 2016;3:28-40.
- <sup>15</sup> Siebert CH, Hansen M. Follow-up evaluation of open intra-articular fractures of calcaneus. *Arch orthop Trauma Surg* 1998;117:442-447. <https://doi.org/10.1007/s004020050289>
- <sup>16</sup> Lawrence SJ, Grau GF et al. Evaluation and treatment of open calcaneal fractures. A retrospective view. *Orthopedics* 2003;26:621-626. <https://doi.org/10.3928/0147-7447-20030601-11>

# LE FRATTURE ESPOSTE DELLA MANO E DELL'AVAMBRACCIO

Sandra Pfanner, Anna Rosa Rizzo, Andrea Poggetti, Prospero Bigazzi, Marco Biondi, Giulio Lauri

*SODC Chirurgia e Microchirurgia Ricostruttiva della Mano, Azienda Ospedaliero-Universitaria Careggi, Firenze*

## Introduzione

Le fratture esposte vengono in generale associate a un più elevato rischio di sviluppare un'infezione, quadro che può contribuire anche a un eventuale ritardo di guarigione delle ferite e a ritardi di consolidazione e non-union<sup>1</sup>. Negli Stati Uniti le fratture esposte della mano rappresentano il 5% della totalità dei traumi dell'arto superiore<sup>2</sup>. La letteratura sulle infezioni e gli algoritmi di trattamento riguarda principalmente le fratture delle ossa lunghe, mentre non è specifica su mano e avambraccio<sup>1</sup>.

Una metanalisi sulle fratture esposte di tutti i segmenti, condotta da Schenker nel 2012, ha mostrato un tasso di infezioni dell'8% nelle fratture esposte di grado I e II secondo Gustilo-Anderson (G-A), e del 12,7% nelle fratture di grado III<sup>3</sup>.

Reviews più recenti su fratture esposte di mano e polso hanno rilevato percentuali inferiori rispetto a queste: Capo riporta un'incidenza di infezioni dell'1,4%<sup>4</sup>; Bannasch ha avuto risultati simili come percentuale di infezioni per fratture di metacarpi e falangi, indipendentemente dal fatto che si tratti di traumi chiusi oppure fratture esposte<sup>5</sup>. Tornetta ha analizzato le fratture esposte nella loro globalità e ha identificato questi fra i fattori di rischio nello sviluppo di infezioni a 12 mesi dal trauma: la localizzazione all'arto inferiore (in particolare il coinvolgimento

della tibia), traumi ad alta energia, una grave contaminazione delle ferite e la necessità di copertura con un lembo<sup>6</sup>.

Le fratture esposte della mano e dell'avambraccio sembrano quindi essere meno suscettibili alle infezioni, verosimilmente per l'elevato apporto ematico, la qualità e la quantità delle parti molli, e questi studi supportano questa teoria.

## Classificazione

Le caratteristiche anatomiche della mano, e in particolare delle dita, rendono la tradizionale classificazione di G-A per le fratture esposte non facilmente applicabile a questo distretto, sia per la scarsa riproducibilità dei limiti dimensionali delle ferite (l'estensione dell'esposizione di un arto inferiore non è sovrapponibile al distretto mano-polso, con i cut-off di 1 e 10 cm tra i gradi I, II e III), sia perché non viene considerato il meccanismo traumatico (schiacciamento, ferite penetranti, ecc.). Infatti, le parti molli del distretto anatomico interessato sono diverse dall'arto inferiore in termini di qualità, quantità e vascolarizzazione.

Tulipan ha proposto, in virtù di queste osservazioni, una nuova classificazione (vedi Tabella I), in cui la dimensione della ferita non è il primo fattore da considerare<sup>7</sup>. Primariamente, va valutata la zona interessata dal trauma: falangi, metacarpi, carpo

**Tabella I.** Proposta di classificazione sec. Tulipan, modificata ManoFi, delle fratture esposte della mano, polso, avambraccio (da Tulipan, Ilyas, 2016, mod.)<sup>7</sup>.

Tipo	Distretto	Fattori di rischio
I	Falangi	a: Non possibile copertura primaria con i tessuti molli b: Franca contaminazione, "mangled (maciullazione)" dei tessuti c: Trauma ischemico che necessita di rivascularizzazione
II	Metacarpi	
III	Carpo	
IV	Avambraccio	
<p><b>Tutte le fratture esposte (I-IV) senza fattori di rischio (a-c) NON richiedono trattamento chirurgico in urgenza (nemmeno il ricovero):</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ab profilassi &lt; 3h</li> <li>- Lavaggio in PS</li> <li>- Sintesi interna differita</li> </ul> <p><b>A) Le fratture I-II-IIIa NON richiedono trattamento chirurgico in urgenza:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ab profilassi &lt; 3h</li> <li>- Lavaggio in PS</li> <li>- Copertura e sintesi interna differita</li> </ul> <p><b>B) Le fratture I-II-IIIb richiedono trattamento chirurgico in urgenza:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ab profilassi &lt; 3h</li> <li>- Debridement in urgenza</li> <li>- Sintesi definitiva in urgenza (o eventualmente differibile)</li> </ul> <p><b>C) Le fratture I-II-IIIc richiedono trattamento chirurgico in urgenza:</b></p> <ul style="list-style-type: none"> <li>- Ab profilassi &lt; 3h</li> <li>- Debridement in urgenza</li> <li>- Rivascularizzazione e sintesi definitiva in urgenza</li> </ul>		
		

(rispettivamente tipo I, II, III). Secondariamente, introduce dei "modifiers" che possono aggiungere elementi prognostici e guidare il trattamento, quali: A) la non possibile copertura primaria dell'esposizione; B) la franca contaminazione dei tessuti; C) un danno che richieda una procedura di rivascularizzazione.

La novità di questa classificazione è quella di includere sia i fattori anatomici che quelli relativi al trauma. Indipendentemente da questo, Tulipan, in maniera concorde al resto della letteratura recente inerente l'argomento<sup>8,9</sup>, consiglia per ogni frattura esposta di mano-polso-avambraccio il trattamento

antibiotico immediato e il lavaggio in pronto soccorso. In quei traumi che non presentano dei fattori aggravanti, il trattamento della frattura può essere eseguito anche in regime differito arrivando, nella nostra esperienza, anche a 7-10 giorni dal trauma.

Se presente il fattore aggravante A, la copertura dei tessuti molli può essere eseguita anche contestualmente all'osteosintesi in un secondo momento (copertura con innesti dermo-epidermici, lembi locali, lembi liberi, ecc.).

Se presente il fattore aggravante B, cioè la contaminazione, è mandatorio un abbondante lavaggio iniziale in pronto soccorso,

potendo procrastinare l'osteosintesi, ma nel caso si tratti di traumi in ambiente agricolo o simili e/o vi sia esteso "maciullamento" dei tessuti è necessario procedere con un accurato debridement in sala operatoria e l'osteosintesi può essere eseguita contestualmente.

Diversamente, nei traumi che richiedono la rivascularizzazione C, queste lesioni vanno trattate sempre in urgenza ed è consigliata l'osteosintesi interna e definitiva contestualmente al tempo vascolare.

## Antibiotico-profilassi e debridement

Tipo e durata di antibiotico-profilassi sono diversi negli studi presenti in letteratura. I farmaci includono penicilline e derivati, cefalosporine di I-II-III generazione e dipendono soprattutto dai dati microbiologici locali (in particolare, la prevalenza di *Staphylococcus Aureus* meticillino-resistente); la durata della terapia peri-operatoria varia dai 3 ai 10 giorni <sup>1</sup>. Alcuni studi comparano la percentuale d'insorgenza di infezioni tra i gruppi sottoposti a profilassi antibiotica e i gruppi che non sono stati trattati: la somministrazione di antibiotici, a prescindere dal tipo e dalla durata o schema della terapia, è associata a una minore incidenza di infezioni <sup>1</sup>.

Nella review di Ketonis <sup>1</sup>, dei 1391 pazienti che sono stati trattati con antibiotici (pre- e post-operatori), il totale delle infezioni riportate è del 4,4% (61 pazienti in totale). Dei 171 pazienti non trattati, il totale delle infezioni verificate ammonta al 9,4% (16 pazienti). In particolare, l'incidenza di infezioni superficiali si è dimostrata essere dell'86% sul totale dei pazienti trattati con antibiotici, mentre le infezioni profonde rappresentano il 14%. Il trattamento delle infezioni superficiali, ove precocemente diagnosticate, si è basato sulla somministrazione di antibiotici

per via orale, mentre le infezioni profonde hanno necessitato di revisione chirurgica e nuovo debridement.

Un altro argomento interessante è il timing per il debridement, molto vario in letteratura: 3 studi considerati nella review precedente hanno riportato dati sul debridement entro le 6 ore dal trauma, con un tasso di infezioni del 3% (10 pazienti su 333); invece il debridement "posticipato" rispetto alle classiche 6 ore, ma eseguito entro le 12 ore ha avuto come risultato, nella casistica considerata, un'incidenza di infezioni pari al 3,6% (93 pazienti). L'evidenza mostra quindi una scarsa correlazione tra il timing del debridement e l'instaurarsi di infezioni.

Più che l'early-debridement, in senso strettamente ortopedico, quindi, è la precoce somministrazione di antibiotici a giocare un ruolo fondamentale nella prevenzione delle infezioni nelle fratture esposte di mano e polso <sup>10</sup>.

Un altro punto da considerare è dove eseguire il debridement: un buon lavaggio con debridement in pronto soccorso, piuttosto che in sala operatoria, ove indicato, non incrementa il rischio di infezioni <sup>1,4</sup>.

La compromissione dei tessuti molli, invece, può essere un fattore determinante: i tassi di infezioni in fratture tipo I e II secondo G-A, se comparati con le tipo III, sono significativamente inferiori, con percentuali dello 0 vs il 2,2% <sup>1,4</sup>. Risultati simili sono stati riscontrati da Rozental <sup>2</sup> per le fratture esposte del radio distale: la gravità del danno tissutale correla con un maggior numero di complicanze e risultati globali peggiori.

Minhas <sup>9</sup>, con uno studio retrospettivo su fratture di metacarpi e falangi, ha valutato comuni fattori di rischio per lo sviluppo di infezioni a 30 giorni dal trauma quali la sede anatomica, l'esposizione, il trattamento in regime semi-elettivo e la riduzione aperta, ed è emerso che questi non sono associati a una maggiore incidenza di infezioni.

## Osteosintesi

In uno studio recente Sim<sup>8</sup> ha dimostrato tassi di infezione dell'1,3% in fratture esposte della mano e di questi, l'85,3% dei casi era stato trattato chirurgicamente entro le 72 ore dal trauma: il trattamento chirurgico posticipato non correla quindi con il rischio infettivo. Anche altri studi supportano questa ipotesi<sup>11-13</sup>.

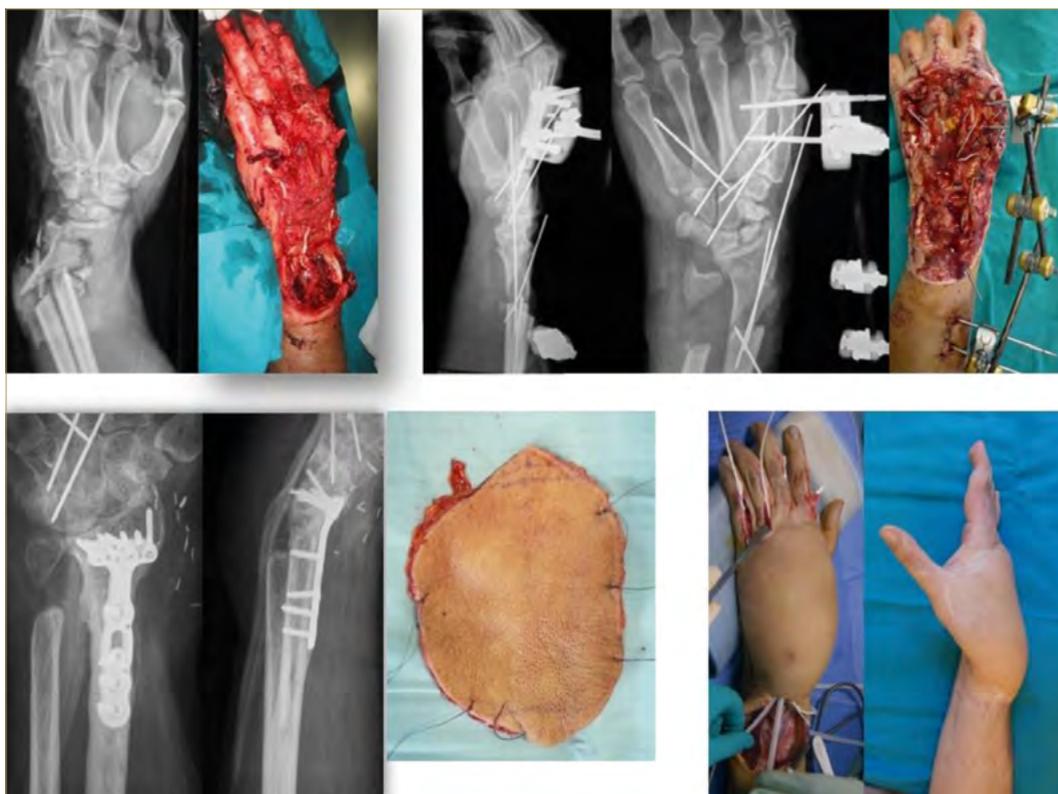
Kurylo<sup>14</sup>, in più, ha evidenziato che il timing del debridement per fratture esposte del radio distale (grado I, II e III secondo G-A) e il tipo iniziale di osteosintesi (fissazione esterna vs placca) non influenzano l'incidenza di infezioni. Infatti, l'infezione è molto poco probabile in fratture di grado I e II secondo G-A, a prescindere dal fatto che siano state sintetizzate con fissazione interna. La letteratura più

recente non ha riscontrato differenze; anzi ha evidenziato come la conversione da fissazione esterna, spesso praticata in urgenza per esposizioni valutate impropriamente secondo la classificazione di G-A, a sintesi interna in un secondo tempo differito, si sia dimostrata essere più facilmente associata a complicanze come rigidità, algodistrofia e adesioni cicatriziali spesso richiedenti trattamenti chirurgici successivi<sup>14</sup> e nella nostra esperienza soprattutto a infezioni. Pertanto, l'osteosintesi con placca nelle fratture esposte di radio distale può essere considerata una scelta sicura in prima battuta.

Nella nostra pratica preferiamo sempre un trattamento di osteosintesi definitivo, anche nelle lesioni ischemiche, ove possibile (Fig. 1). Tuttavia, la fissazione esterna può essere necessaria in traumi complessi che



**Figura 1.** Trauma ad alta energia con lesioni arteriose e del nervo mediano. Trattamento in urgenza: sintesi definitiva con placche e viti, innesto venoso per rivascularizzazione dell'arto.



**Figura 2.** Trauma ad alta energia trattato in urgenza con debridement e sintesi con fissazione esterna per ampia perdita di sostanza ossea e parti molli. Osteosintesi definitiva con placca e viti e copertura con lembo libero antero-laterale di coscia. Successiva ricostruzione in due tempi dei tendini estensori con graft.

richiedono un secondo tempo ricostruttivo (Fig. 2).

## Conclusioni

Alla luce della letteratura più recente e dell'esperienza comune ai reparti specialistici di Chirurgia della Mano, l'arto superiore ha tassi di infezione molto più bassi rispetto all'arto inferiore. Questo ci porta ad affermare che l'inquadramento e il trattamento delle fratture esposte dell'avambraccio e della mano non possono essere i medesimi di quelli applicati all'arto inferiore. Infatti, non è più attuale riferirsi alla classificazio-

ne di G-A nelle fratture esposte della mano, polso e avambraccio, ma è necessario fare riferimento nella pratica clinica a un approccio diverso come da noi integrato e proposto da Tulipan nel 2016. La nuova classificazione, infatti, si basa su zona interessata, presenza di contaminazione e stato dei tessuti molli.

Inoltre, diversamente dall'arto inferiore, non conta tanto il timing del debridement e della chirurgia, quanto la precoce somministrazione di antibiotici, che è mandatoria, e un abbondante lavaggio in pronto soccorso. Per quanto riguarda la sintesi, la maggior parte delle fratture esposte dell'arto supe-

riore può essere trattata in urgenza differita con mezzi di sintesi interni quali placche o viti, senza aumentare il rischio infettivo. Quando è necessario invece il trattamento di fratture esposte mano-polso-avambraccio in urgenza-emergenza (per motivi quali vascolarizzazione, contaminazione, perdite di sostanza) anche in questo caso si può eseguire immediatamente una sintesi definitiva interna, o addirittura impiantare una protesi, senza per questo aumentare il rischio d'infezione.

## Bibliografia

- 1 Ketonis C, Dwyer J, Ilyas AM. Timing of debridement and infection rates in open fractures of the hand: a systematic review. *Hand (NY)*. 2017;12:119-126. <https://doi.org/10.1177/1558944716643294>
- 2 Rozental TD, Beredjikian PK, Steinberg DR, et al. Open fractures of the distal radius. *J Hand Surg Am* 2002;27:77-85. <https://doi.org/10.1053/jhsu.2002.30073>
- 3 Schenker ML, Yannascoli S, Baldwin KD, et al. Does timing to operative debridement affect infectious complications in open long-bone fractures? A systematic review. *J Bone Joint Surg Am* 2012;94:1057-1064. <https://doi.org/10.2106/JBJS.K.00582>
- 4 Capo JT, Hall M, Nourbakhsh A, et al. Initial management of open hand fractures in an emergency department. *Am J Orthop* 2011;40:E243-E248.
- 5 Bannasch H, Heermann AK, Iblher N, et al. Ten years stable internal fixation of metacarpal and phalangeal hand fractures-risk factor and outcome analysis show no increase of complications in the treatment of open compared with closed fractures. *J Trauma* 2010;68:624-628. <https://doi.org/10.1097/TA.0b013e3181bb8ea0>
- 6 Tornetta P 3<sup>rd</sup>, Della Rocca GJ, Morshed S, et al. Risk factors associated with infection in open fractures of the upper and lower extremities. *J Am Acad Orthop Surg Glob Res Rev* 2020;4:e20.00188. <https://doi.org/10.5435/JAAOSGlobal-D-20-00188>
- 7 Tulipan JE, Ilyas AM. Open fractures of the hand: review of pathogenesis and introduction of a new classification system. *Orthop Clin North Am* 2016;47:245-251. <https://doi.org/10.1016/j.ocl.2015.08.021>
- 8 Sim WP, Ng HJH, Liang BZ, et al. Can open hand injuries wait for their surgery in a tertiary hospital? *J Hand Microsurg* 2021;13:157-163. <https://doi.org/10.1055/s-0041-1725220>
- 9 Minhas SV, Catalano LW 3<sup>rd</sup>. Comparison of open and closed hand fractures and the effect of urgent operative intervention. *J Hand Surg Am* 2019;44:65.e1-65.e7. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2018.04.032>
- 10 Warrender WJ, Lucasti CJ, Chapman TR, et al. Antibiotic management and operative debridement in open fractures of the hand and upper extremity: a systematic review. *Hand Clin* 2018;34:9-16. <https://doi.org/10.1016/j.hcl.2017.09.001>
- 11 Angly B, Constantinescu MA, Kreutziger J, et al. Early versus delayed surgical treatment in open hand injuries: a paradigm revisited. *World J Surg* 2012;36:826-829. <https://doi.org/10.1007/s00268-012-1455-x>
- 12 Juon BH, Iseli M, Kreutziger J, et al. Treatment of open hand injuries: does timing of surgery matter? A single-centre prospective analysis. *J Plast Surg Hand Surg* 2014;48:330-333. <https://doi.org/10.3109/2000656X.2014.886581>
- 13 Davies J, Roberts T, Limb R, et al. Time to surgery for open hand injuries and the risk of surgical site infection: a prospective multicentre cohort study. *J Hand Surg Eur Vol* 2020;45:622-628. <https://doi.org/10.1177/1753193420905205>
- 14 Kurylo JC, Axelrad TW, Tornetta P, et al. Open fractures of the distal radius: the effects of delayed debridement and immediate internal fixation on infection rates and the need for secondary procedures. *J Hand Surg Am* 2011;36:1131-1134. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2011.04.014>

# GESTIONE ORTOPLASTICA DELLE FRATTURE ESPOSTE

Luca Salmaso, Francesca Alice Pedrini, Francesco Mori, Marco Innocenti

*Clinica IV Ortoplastica, Istituto Ortopedico Rizzoli, Università degli Studi di Bologna, Bologna*

## Introduzione e storia dell'ortoplastica

La formazione in chirurgia ortopedica è da sempre focalizzata sulla gestione delle lesioni ossee e articolari. Con l'avanzamento della tecnica chirurgica, l'introduzione di strumentazioni mininvasive e l'aumento di incidenza dei traumi ad alta energia, si è arrivati a mutare tale sensibilità, prestando maggiore attenzione alla gestione dei tessuti molli. Infatti, l'ortopedico e il traumatologo, che si occupano dell'impianto protesico e della fissazione ossea, sono comunque chiamati al management dei tessuti molli. Nei traumi, specialmente in quelli ad alta energia, l'attenzione che si presta al trattamento dell'osso deve necessariamente essere la medesima che si presta a quello dei tessuti molli. Tale concetto si incarna nella filosofia ortoplastica che viene affrontata dal chirurgo ortopedico, assieme al plastico in multiequipe oppure da un solo chirurgo. La chirurgia antesignana dell'ortoplastica è la chirurgia della mano. Essa, pur non esistendo in Italia come una specialità chirurgica indipendente, rappresenta nella storia della chirurgia degli arti il primo esempio di gestione ortoplastica. Tale branca chirurgica, infatti, comprende la cogestione dei tessuti molli e dell'osso e trova applicazione nel trattamento dei traumi complessi, dei reimpianti e delle rivascolarizzazioni digitali tramite l'utilizzo di tecniche microchirurgi-

che. Lo sviluppo della microchirurgia ha visto come suo primo fautore Alexis Carrel nel 1902, il quale ha eseguito la prima anastomosi vascolare termino-terminale con la tecnica della triangolazione. L'avanzamento delle conoscenze microchirurgiche ha permesso la creazione di training dedicati che coinvolgono in maniera trasversale diverse specialità chirurgiche: dall'ortopedia all'urologia, dalla ginecologia alla chirurgia plastica, dall'otorinolaringoiatria alla chirurgia vascolare, fino alla chirurgia generale.

## Le fratture esposte e la gestione ortoplastica

Le fratture esposte, spesso secondarie a traumi ad alta energia, sono caratterizzate da un'alta complessità di trattamento. Il trauma coinvolge l'osso e i tessuti molli, pertanto il trattamento vede coinvolte le figure dell'ortopedico e del chirurgo plastico. Numerosi studi hanno recentemente investigato la combinazione di un approccio simultaneo tra le due figure e hanno dimostrato come il trattamento abbia un risultato più efficace rispetto al tradizionale approccio ortopedico<sup>1</sup>. L'approccio ricostruttivo, pertanto, deve essere multidisciplinare e ambire a proporre la miglior soluzione al paziente sia dal punto di vista estetico che, soprattutto, funzionale<sup>2</sup>. Secondo la World Health Organization (WHO), i traumi isolati

degli arti sono frequenti e hanno un'incidenza pari a 11,5/100.000 casi all'anno, determinando un notevole costo nelle cure e un alto tasso di disabilità. La possibilità di sviluppare infezioni profonde o ritardi di consolidazione in seguito a un trauma complesso è elevata, con conseguente aumento dei costi di trattamento per paziente e prolungamento del periodo di ospedalizzazione. Secondo diversi studi una carenza di esperienza nella gestione dei tessuti molli in ortopedia e traumatologia si è dimostrata essere il fattore determinante nel peggioramento clinico dei casi complessi<sup>2</sup>. Le possibilità terapeutiche aperte dalla microchirurgia permettono attualmente la simultanea ricostruzione di più tessuti, inclusi vasi e nervi, riducendo il tasso di amputazioni e i tempi di recupero.

## Angiosomi e perforasomi

La finalità della chirurgia plastica è di selezionare un tessuto o un insieme di tessuti ottimali (cute, fascia, muscolo, osso) per trattare qualunque tipo di perdita di sostanza e garantire una ricostruzione quanto più simile ai tessuti circostanti (*like with like*) con minimo danno estetico-funzionale all'area donatrice. Tale sforzo è stato incoraggiato dallo sviluppo delle attuali conoscenze di anatomia della vascolarizzazione cutanea.

Nel 1987 i risultati di Taylor hanno fatto emergere alcuni importanti concetti anatomici.

L'apporto vascolare principale a livello degli arti e del tronco decorre adiacente allo scheletro ed è inglobato da tessuto connettivo, che ne forma i setti, e risulta tenacemente adeso all'apparato muscolo-scheletrico. Nei tessuti profondi, come per esempio nel muscolo, i vasi perforano la fascia profonda irradiandosi attraverso l'architettura del tessuto. Da tali studi anatomici è stato definito l'angiosoma come l'u-

nità composta, formata da tessuto cutaneo e tessuti profondi, irrorata dalla medesima arteria nominata d'origine (*source artery*). Ogni angiosoma è connesso a quelli adiacenti da connessioni arteriose a imbuto dette *choke arteries*, che sono presenti su tutti i livelli: subdermico, soprafasiale e subfasiale. Nel tronco tali unità mostrano una correlazione con i dermatomeri neurologici; al contrario negli arti tale approssimazione non risulta rispettata<sup>3</sup>.

Da ogni *source artery* originano i vasi perforanti, che irrorano la cute e i tessuti molli. Taylor ne distingue due tipi, che differiscono per origine e tipo di percorso: le dirette e le indirette. Le dirette irrorano principalmente la cute, anche se possono avere rami secondari per il muscolo o altri tessuti profondi, vi arrivano attraverso setti intermuscolari e perforano la fascia vicino al sito, dove sono ancorate ai setti fibrosi/intermuscolari. La dimensione dei loro peduncoli e la densità di perforanti variano a seconda della regione somatica. Le perforanti indirette irrorano principalmente il muscolo o i tessuti profondi e secondariamente arrivano a lambire la cute; esse coadiuvano nell'irrorazione cutanea.

Più tardi, gli studi di Koshima e Saint-Cyr approfondirono il concetto di irrorazione della cute attraverso i rami perforanti e definirono nuove unità funzionali, definite perforasomi. Il soma viene così suddiviso in circa 350 perforasomi, ognuno nutrito da una propria perforante, il cui diametro, lunghezza del peduncolo e punto di pivot ne definiscono l'utilizzo ricostruttivo.

Dal lavoro di Saint-Cyr si possono trarre alcune conclusioni: ogni perforasoma è connesso agli adiacenti tramite due meccanismi: uno diretto e uno indiretto. Il primo comprende vasi di connessione diretti (*direct linking vessels*) tra una perforante e quella adiacente e consente di reclutare perforasomi adiacenti attraverso un flusso interperforante. Il secondo meccanismo

di connessione tra perforasomi distinti è il plesso vascolare subdermico, una rete diffusa di capillari che connette al di sotto del derma le reti vascolari di due perforasomi. Entrambi i meccanismi fin qui descritti garantiscono un flusso bidirezionale, creando un sistema protettivo nel caso di lesioni vascolari, consentendo secondariamente, nell'allestimento di un lembo, il reclutamento di perforasomi adiacenti e quindi un'estensione della superficie del lembo. La vascolarizzazione cutanea degli arti e del tronco possiede un'assialità propria, dettata dall'orientamento dei *direct linking vessels*. Essi sono orientati:

- parallelamente all'asse degli arti;
- in prossimità delle articolazioni essi tendono ad avere un flusso centrifugo che si allontana dalle stesse;
- a livello diafisario hanno orientamento multidirezionale.

Nel tronco essi risultano frequentemente orientati perpendicolarmente alla linea mediana o comunque paralleli alle fibre muscolari con un flusso centrifugo verso le aree laterali meno dense di perforanti.

Rispettare, con le incisioni del lembo, l'assialità delle comunicanti dirette, significa garantire il massimo flusso sanguigno possibile al lembo e, allo stesso tempo, reclutare quanti più perforasomi possibili. Questa rete vascolare rappresenta grande variabilità anatomica e offre quindi numerose possibilità di allestimento del lembo da scolpire. Il tempo di vascolarizzazione dei perforasomi sarà più rapido attraverso le perforanti irrorate dalla medesima arteria d'origine (*source artery*), seguiranno poi i perforasomi connessi tramite i meccanismi precedentemente elencati.

In conclusione, l'isola cutanea del lembo, quando allestita, deve seguire l'orientamento dei *linking vessel*, al fine di sottendere la vascolarizzazione più florida e quindi di reclutare più perforasomi, riducendo il rischio di necrosi nel post-operatorio, che nel

caso di una copertura su frattura esposta rappresenterebbe un fallimento chirurgico. Durante la dissezione, la legatura dei rami cutanei e muscolari non necessari permette una redistribuzione del flusso sanguigno che viene così dirottato, aprendo la rete vascolare che unisce due perforasomi contigui attraverso i meccanismi diretti e indiretti<sup>4</sup>.

Gli angiosomi e i perforasomi sono modelli morfologici che definiscono il concetto che sta alla base della chirurgia ricostruttiva: il lembo. Esso è definito come un tessuto o un insieme di essi trasferibile in un'altra area del corpo, mantenendo il suo peduncolo vascolare.

## Fratture esposte, scoring e grading system

La classificazione dei traumi complessi degli arti si avvale di due strumenti principali: sistemi a punteggio (*scoring system*), in cui due o più variabili vengono calcolate come sommatoria, o metodi descrittivi/qualitativi, come le classificazioni basate sul grado di severità della lesione (*grading system*). I primi, utilizzando dati quantitativi, mirano a segnare un cut-off oltre il quale è appropriata l'amputazione. Entrambi i metodi tengono conto di: energia del trauma, risposta dell'arto coinvolto (fattori locali) e reazione sistemica (fattori sistemici). Sebbene gli *scoring system* non abbiano valore pratico ai fini della gestione clinico-chirurgica, essi guidano il chirurgo quando deve trattare un arto severamente traumatizzato. Tra i più diffusi *scoring system* si ha il MESS (*Mangled Extremity Severity Score*), che tiene conto della lesione ossea e ai tessuti molli, tempo di ischemia, shock ed età del paziente. È un sistema molto specifico, ma scarsamente sensibile, che non tiene conto di giovane età, politraumatismo e deficit nervosi periferici. Per superare tali limiti è

stato proposto il NISSSA (nerve, ischemia, soft tissue, skeletal, shock, age), che si è dimostrato più sensibile e specifico.

Tra i *grading system* si trova la classificazione di Gustilo-Anderson delle fratture esposte, che rimane ad oggi quella maggiormente utilizzata nella pratica clinica, poiché di facile applicabilità clinica. Indicazioni attuali invitano all'applicazione di tale *grading system* successivamente al primo debridement, onde evitare di sottostimare il danno. Ha un'ampia variabilità inter-osservatore, specialmente tra i chirurghi con meno esperienza e fornisce scarse informazioni sul tipo di lesione ossea, prognosi e trattamento adeguato. Per sopperire a tali inconvenienti, il gruppo AO ha creato un sistema di grading comprensivo e sistematico, classificando separatamente le lesioni dell'osso, della cute, dei muscoli e dei fasci vascolo-nervosi. L'affidabilità del sistema aumenta con l'esperienza del chirurgo. Sebbene risulti più complesso del sistema di Gustilo-Anderson, il metodo AO fornisce maggiori informazioni sulla prognosi<sup>5</sup>.

Poiché nessuno tra i sistemi di scoring e di grading ha mostrato superiorità ed efficacia assoluta nella difficile scelta tra amputazione e ricostruzione, nella pratica clinica l'esperienza personale del chirurgo e l'oculata applicazione dei sistemi di scoring o grading devono indirizzare verso la soluzione migliore per il paziente.

## Timing

Per timing s'intende il periodo finestra in cui il team chirurgico, di fronte a un trauma complesso degli arti, è chiamato a eseguire un debridement o una serie di pulizie chirurgiche, una stabilizzazione ossea/*damage control* e un'associata copertura dei tessuti molli. Su tali problematiche ha lavorato uno dei pionieri della materia, Marko Godina<sup>6</sup>. Dal suo lavoro (1986) è emerso che il periodo finestra migliore in cui andare ad allesti-

re una copertura è entro le 72 ore. Con tale tempistica le complicanze maggiori, quali fallimento del lembo (0,75%) e rischio infettivo (1%), erano le più basse, se confrontate con le procedure eseguite tra le 72 ore e i 3 mesi. Numerosi altri lavori hanno riportato come il tasso infettivo cresca notevolmente tra la 2° e la 6° settimane successive al trauma. Tale congiuntura temporale risulta essere quella in cui il microbiota contaminante della ferita cronicizza, divenendo colonizzante.

Da allora i chirurghi hanno visto aumentare le tecniche e i dispositivi medici nel loro armamentario, tra cui l'introduzione della terapia a pressione negativa, l'utilizzo di appropriati protocolli di terapia antibiotica, il *damage control* e infine il lavoro in team multidisciplinare tra chirurgo plastico e ortopedico. Tali avanzamenti hanno permesso di estendere il periodo finestra in cui procedere a copertura dei tessuti molli dalle iniziali 72 ore fino a un massimo di 7 giorni. Si è infatti osservato che oltre tale periodo la risposta infiammatoria locale, ma anche sistemica, ostacolano la procedura di copertura con lembi liberi, aumentandone il tasso di fallimento. In molti centri traumatologici effettuare un primo debridement e una copertura con tessuti molli entro le prime 72 ore è realisticamente difficile, poiché molto spesso si tratta di pazienti la cui vita è a rischio e che pertanto richiedono procedure e cure urgenti nei reparti di terapia intensiva. Partendo da tali osservazioni e dalla pratica clinica, si è osservato che tali procedure possono essere eseguite nei primi 7 giorni, con un aumentato rischio di fallimento se si procede successivamente. Alternativamente una procedura differita può essere eseguita a 3 mesi di distanza, timing nel quale si osserva un incremento dei tassi di successo. In tale momento si procede solitamente alla ricostruzione ossea con innesti vascolarizzati o altre metodiche ricostruttive<sup>7</sup>.

## Gestione infettiva

Le infezioni sono la complicanza più comune nelle fratture esposte e il sospetto diagnostico è l'arma più efficace per arrivare a una diagnosi precoce. La gestione e il controllo delle infezioni dell'osso e dei tessuti molli vengono svolti da un team multidisciplinare, di cui è parte anche l'infettivologo. Vi è una classificazione che distingue le infezioni in base al tempo di insorgenza. Esse vengono suddivise in:

- precoci/acute (entro le 2 settimane): hanno una clinica chiara con presenza di eritema, tumefazione e dolore. Vi si possono aggiungere ritardi nella guarigione della ferita, secrezioni, raccolte liquide e iperpiressia. Gli organismi coinvolti sono ad alta virulenza, come lo *Staphylococcus Aureus*, con biofilm immaturo, assenza di osteomielite e osteolisi, assenza di instabilità della frattura;
- a insorgenza ritardata (tra le 2 e le 10 settimane): è caratterizzata da una clinica che può sovrapporsi sia a quadri acuti che cronici. Gli organismi colonizzanti sono meno virulenti rispetto alle infezioni precoci. L'osteomielite e l'osteolisi sono presenti con iniziale compromissione della stabilità della frattura;
- tardive/croniche (dopo le 10 settimane): la clinica è subdola in assenza di manifestazioni sistemiche ed è secondaria a microorganismi a bassa virulenza. Il processo infiammatorio e l'osteolisi si sono instaurati con marcato rimaneggiamento osseo e compromissione della sintesi e/o della stabilità della frattura. In risposta alla cronica infiammazione di moderata intensità, vi si osserva un rimaneggiamento osseo del periosteo che crea un involucro, al fine di contenere la minaccia infettiva. La rimozione dei mezzi di sintesi è in questo caso obbligatoria e son richiesti spesso multipli

debridement, con asportazioni di osso e tessuti molli.

La diagnosi non è sempre agevole e richiede una valutazione clinica, esami di laboratorio, esami microbiologici colturali e imaging. Una diagnosi certa che guidi nella scelta dell'antibiotico più adatto richiede degli esami colturali positivi, per identificare il patogeno e l'esecuzione di un antibiogramma per la terapia mirata. Le raccomandazioni sono di eseguire almeno 3 biopsie ossee.

Affinché le biopsie siano dirimenti, occorre che la terapia antibiotica sia interrotta almeno 2 settimane prima dell'esecuzione delle biopsie.

Un terreno di coltura non adatto, l'interruzione tardiva dell'antibiotico, insufficienti prelievi intraoperatori o un patogeno a bassa virulenza con tempi di crescita prolungati possono inficiare il risultato di tale esame, portando a dei falsi negativi.

Nel caso di un'infezione precoce con clinica tipica e colturali negativi, la gestione infettivologica impone di considerarla infetta. Un ritardo nella guarigione dei tessuti molli, la presenza di una fistola e secrezioni sono segni di infezione, allo stesso modo una PCR persistentemente elevata o un suo picco indicano un processo infettivo in atto. Tale esame laboratoristico si rivela utile anche nel monitoraggio successivo alla chirurgia e alla terapia medica.

Tra le indagini di imaging:

- le radiografie possono mostrare sovvertimento del tessuto osseo, segni di mobilizzazione dei mezzi di sintesi e valutazione della consolidazione della frattura, risultano significative soprattutto nei quadri cronici;
- la TC è maggiormente sensibile per valutare la stabilità dell'impianto, la presenza di sequestri, le alterazioni corticali e l'architettura ossea;
- la RMN risulta utile per lo studio del coinvolgimento dei tessuti molli e del canale

midollare, sebbene gli artefatti prodotti dai mezzi di sintesi in sede possano inficiarne il bilancio lesionale.

Le metodiche di medicina nucleare quali la leuco-scintigrafia hanno grande sensibilità a fronte di una specificità ridotta. In caso di alterazioni dell'osso non è sempre possibile distinguere un processo infettivo dalla formazione ossea post-traumatica e inoltre è difficile localizzare con precisione il processo infettivo.

Il target del team multidisciplinare nella gestione delle infezioni è la rimozione dei batteri sessili ancorati ai tessuti e protetti dal loro biofilm attraverso il debridement e lavaggi a bassa pressione con fisiologica. La successiva eliminazione dei patogeni residui è affidata a un'antibioticoterapia mirata. Durante la fase chirurgica, in presenza di mezzi di sintesi su focolaio infettivo, è raccomandato di procedere alla rimozione di tutti i corpi estranei, in quanto siti di colonizzazione, soprattutto nei casi di infezione cronica. Nelle infezioni precoci, tuttavia è possibile lasciare in sede i mezzi di sintesi, procedendo solamente a bonifica e proseguendo la terapia antibiotica fino a consolidazione. La rimozione degli impianti è comunque consigliata una volta avvenuta la consolidazione della frattura <sup>8</sup>.

## Stabilizzazione scheletrica

Una stabilizzazione ossea precoce permette di controllare i movimenti dei monconi ossei, riducendo il sanguinamento, la tumefazione, i danni secondari ai tessuti molli e il dolore. Nello scenario ortoplastico i fissatori esterni trovano vasto impiego. Per la pianificazione di una stabilizzazione temporanea o definitiva occorre considerare la scelta delle componenti, il posizionamento dei pin, la geometria del costruito e lo scopo ultimo di esso (stabilizzazione temporanea o definitiva, trasporto osseo, emicallotassi). I fissato-

ri esterni tipo Ilizarov o esapodalico sono adatti alla ricostruzione ossea con trasporto osseo o possono essere impiegati per stabilizzare un lembo libero di perone vascolarizzato intercalare. Tali modelli, però, si rilevano di grande ostacolo nella gestione delle lesioni dei tessuti molli, nel monitoraggio del lembo e nel rinnovo delle medicazioni. I fissatori esterni monoassiali, sempre garantendo un'adeguata stabilità del costruito, si rivelano nettamente meno ingombranti, permettendo una rapida visualizzazione di un eventuale lembo libero fasciocutaneo da monitorare nella fase post-operatoria <sup>6</sup>.

Nella stabilizzazione con fissatore esterno monoassiale di gamba, la dimensione ottimale dei pin è di 5 mm nell'adulto, 4 mm nel paziente pediatrico, mentre le barre richiedono un diametro di 10 mm nell'adulto e 8-9 mm nel pediatrico. Aumentare il diametro dei pin e delle barre significa garantire una maggiore stabilità del costruito, riducendo l'ingombro dello stesso e agevolando le successive procedure ricostruttive. Il posizionamento dei pin avviene perpendicolarmente alla superficie ossea, ponendo attenzione a non lesionare o creare impingement su strutture nobili. Nella gestione delle fratture esposte di gamba, i pin, contrariamente a quanto svolto nella pratica chirurgica abituale, vanno inseriti inizialmente perpendicolari alla corticale superficiale antero-laterale della tibia per poi essere reindirizzati paralleli al piano sagittale, onde evitare di creare un impingement sul nervo peroneo profondo o sull'arteria tibiale anteriore. La scelta del fissatore, il posizionamento dei pin e la sua geometria sono basate sulla tipologia di frattura, sul danno dei tessuti molli e sulla pianificazione ricostruttiva. La scelta di un fissatore a ponte risulta utile se il moncone osseo distale è di lunghezza insufficiente per il posizionamento dei pin <sup>6</sup>.

## Sintesi definitiva

L'obiettivo primario nel trattamento delle fratture esposte è raggiungere una completa copertura dei tessuti molli entro i 7 giorni, e la consolidazione della frattura libera da infezione e con il minor numero di interventi attraverso una fissazione definitiva.

Sia la fissazione esterna che l'ORIF trovano indicazione nel contesto delle fratture esposte. L'indicazione alla sintesi primaria interna è dettata dalle caratteristiche della frattura, dal tipo e grado di contaminazione, dal timing della copertura dei tessuti molli e dalla presenza di spazi morti secondari al trauma e al debridement. Pochi studi sono presenti in letteratura sull'argomento della sintesi primaria interna in caso di esposizione ossea. Le raccomandazioni della NICE (*National Institute for Health and Care Excellence*) britannica sono quelle di evitare la sintesi interna su terreno marcatamente contaminato e obbligatoriamente di coprire i tessuti molli in caso di sintesi interna. Si può ricorrere in sicurezza alla ORIF nei casi di esposizione tipo I e II secondo Gustilo-Anderson, dopo adeguato debridement e sutura diretta. Nei casi in cui la ferita sia da coprire con un lembo locale o libero, il tasso di infezione riportato, associato all'ORIF, è basso purché nella medesima procedura venga eseguita anche la copertura con i tessuti ben vascolarizzati di un lembo. Al contrario se si decide di posizionare un fissatore esterno, la conversione a ORIF deve essere ben ponderata. Generalmente le raccomandazioni danno come arco temporale favorevole quello tra i 4 e i 28 giorni per eseguire la conversione, sebbene i batteri che colonizzano i tramiti dei pin possano migrare all'interno del canale midollare e trovare un sito favorevole sui mezzi di sintesi interni. Se la conversione viene programmata, è bene che venga eseguita entro le 72 ore dalla bonifica primaria<sup>9</sup>.

## Procedure ricostruttive

### Ricostruzione ossea

La ricostruzione ossea fu rivoluzionata da Taylor nel 1975, quando descrisse la tecnica di prelievo del perone vascolarizzato e il suo utilizzo nelle ricostruzioni segmentarie ossee.

Attualmente le procedure indicate per la ricostruzione dell'osso sono l'osteogenesi distrazionale, o metodo Ilizarov con fissatore circolare, gli innesti ossei non vascolarizzati, che possono essere realizzati anche a seguito del posizionamento di spaziatori antibiotati (tecnica sec. Masquelet o della "camera biologica"), gli innesti ossei vascolarizzati, gli allograft o innesti omologhi e la ricostruzione protesica. Le protesi vengono utilizzate soprattutto per le ricostruzioni articolari. Gli innesti massivi omologhi, ovvero segmenti ossei reperibili nelle banche dei tessuti muscolo-scheletrici, sono per lo più utilizzati in oncologia ortopedica per ricostruire grandi segmenti ossei. Essi, sebbene offrano una buona resistenza meccanica nel breve/medio termine, sono gravati da un alto tasso di complicanze a lungo termine, tra cui fratture e infezioni. In particolare, gli innesti omologhi sono particolarmente suscettibili alle infezioni e per questo motivo vengono raramente utilizzati nella ricostruzione delle perdite di sostanza ossea in seguito a traumi.

### Ricostruzione ossea autologa

Tale tecnica prevede l'utilizzo di innesti ossei provenienti dal paziente stesso. Tali innesti possono essere non vascolarizzati o vascolarizzati (lembi). Tra i primi si trovano gli innesti corticospongiosi o spongiosi di piccole dimensioni, prelevati abitualmente da cresta iliaca sia posteriormente che anteriormente. Essi sono indicati nei gap ossei fino a un massimo di 5 cm e richiedono osteosintesi stabili.

Nel secondo caso, invece, il segmento osseo donatore è prelevato mantenendo integro l'asse vascolare che lo nutre, il "peduncolo". Quest'ultimo di solito è composto da una arteria e due vene concomitanti che devono essere anastomizzate al microscopio con vasi riceventi, in modo da realizzare un trapianto osseo vascolarizzato. I vantaggi dell'utilizzo di osso vascolarizzato rispetto a qualunque altra tecnica ricostruttiva possono essere così riassunti:

- resistenza alle infezioni;
- capacità di ipertrofia;
- capacità di riparare le fratture.

Minore tempo di guarigione per apporto vascolare rispetto ad altre tecniche ricostruttive.

Le prime applicazioni cliniche dei trapianti ossei vascolarizzati risalgono agli anni '70<sup>2</sup>. Da allora, con il progresso delle conoscenze dell'anatomia vascolare sono state proposti differenti distretti di donatori.

### **Lembo di perone**

Il lembo libero osseo vascolarizzato più frequentemente utilizzato a livello globale è il perone, descritto da Taylor nel 1975. A partire dagli studi anatomici di Wei et al. nel '89, i chirurghi hanno iniziato ad allestire con sempre maggior sicurezza questo lembo come osteo-cutaneo basato sulle perforanti dell'arteria peroniera. Questo lembo può essere prelevato come lembo osseo semplice, ma anche nelle sue varianti composite osteo-muscolare, osteo-cutaneo e osteo-miocutaneo.

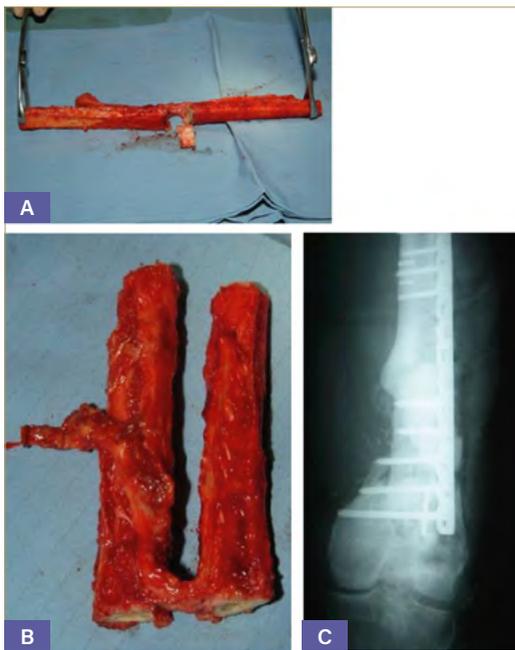
Esso consiste nel prelievo del perone con annesso peduncolo vascolare peroneale con eventuale tessuto muscolare e/o di isola cutanea. Frequentemente viene utilizzato come lembo libero, con esecuzione di un'anastomosi al microscopio a livello del sito ricevente. Meno frequentemente può essere utilizzato come lembo pedunculato per la ricostruzione di gap ossei della tibia omolaterale.

I principali vantaggi della ricostruzione con perone vascolarizzato sono: la possibilità di prelevare un lungo segmento osseo di forma tubulare, una bassa morbidità nell'area donatrice, la possibilità di prelevare un lembo composito con o senza cute e/o muscolo, un'anatomia vascolare costante, versatilità ricostruttiva, la possibilità di sviluppo di ipertrofia ossea, l'applicabilità come tutti i lembi ossei in regioni sfavorevoli, irradiate o su letti con scarso apporto vascolare.

È la soluzione di prima scelta nella ricostruzione delle ossa lunghe, potendo colmare gap fino a 25 cm e contando su una valida ipertrofia sotto gli stimoli meccanici della nuova sede.

Ha dimostrato pertanto la sua superiorità sugli innesti ossei non vascolarizzati ed è indicato per: perdite ossee superiori a 5 cm di qualunque eziologia (oncologica, traumatica, congenita e infettiva) e di qualunque distretto (arto superiore e inferiore, splancocranio e colonna). Indicazioni meno frequenti sono: la ricostruzione vertebrale post-corpectomia, necrosi avascolare della testa del femore, ricostruzione dell'anello pelvico con costruito *double barrel* o doppio (Fig. 1). Nei pazienti pediatriche il trapianto dell'epifisi prossimale del perone è il gold standard nella ricostruzione del radio distale post-resezione oncologica.

Il lembo è basato sull'arteria e vene peroniere, il cui peduncolo varia in lunghezza tra i 2 e i 6 cm e il cui diametro si attesta tra i 1,5 e 2,5 mm. L'arteria nutritizia si stacca dalla peroneale a circa 15 cm al di sotto del processo stiloideo sulla superficie postero-mediale del terzo medio di fibula, posteriormente alla membrana interossea. Esistono dai 4 agli 8 rami cutanei dalla peroneale, che originano dai 4 a 27 cm al di sotto della testa peroneale. Essi sono primariamente rami periosteali o muscolari che, percorrendo il setto crurale posteriore, raggiungono la cute.



**Figura 1.** Le immagini intra-operatorie A e B mostrano un lembo di perone, su cui è stata eseguita un'osteotomia con asportazione di un cilindro d'osso di pochi centimetri. Il perone può essere ripiegato su sé stesso, permettendo di avere due diafisi di perone affiancate a formare una struttura ossea con maggiori proprietà meccaniche. La tecnica viene definita *double barrel*. Nell'immagine C un lembo di perone con costruito *double barrel* è stato utilizzato per ricostruire una perdita di osso nella metafisi distale del femore.

Nella ricostruzione post-oncologica dell'arto inferiore, specialmente nella tibia e nel femore, ma anche nella colonna, il perone vascolarizzato può essere associato ad allograft da banca. Si è dimostrata infatti una superiore tenuta meccanica rispetto al solo perone, che consente l'iniziale esclusione del perone dagli stress meccanici, favorendo una sua progressiva integrazione. L'innesto vascolarizzato viene incorporato all'allograft, creando uno scasso, che può essere sagomato a seconda delle necessità e del distretto in cui si voglia confezio-

nare un'anastomosi. In tale modo l'innesto viene alloggiato in sicurezza, riducendo gli stress meccanici che possono danneggiare il segmento osseo e il peduncolo (Fig. 2). Un concetto fondamentale nella ricostruzione con lembo libero di fibula è la sintesi interna. Essa va pianificata con cura e viene eseguita obbligatoriamente prima rispetto all'anastomosi, onde evitare di danneggiarla successivamente. La sintesi viene spesso sottostimata specialmente da chirurghi ortopedici, che prediligono spesso una sintesi di minima, condotta con viti convergenti o parallele su entrambe le osteotomie. Tale tecnica è da evitare. Il ri-



**Figura 2.** Nell'immagine A il perone e il suo peduncolo vengono alloggiati all'interno dello scasso creato *ad hoc* nell'allograft di tibia prossimale. Si noti come il peduncolo sia localizzato in un'area protetta dagli stress meccanici. Nella radiografia a destra la sintesi dell'allograft e della fibula è stata eseguita con doppia placca, prossimale e distale. Tale costruito crea un'ottima stabilità, dimostrata dalla presenza di callo osseo visibile in prossimità della placca diafisaria distale.

schio, successivo a una procedura così complessa, è quello di generare una frattura da affaticamento, con la successiva necessità di eseguire una revisione della sintesi o un trattamento conservativo in apparecchio gessato. La fibula va stabilizzata con mezzi di sintesi che siano in grado di evitarne il sovraccarico meccanico prima che essa abbia sviluppato un'ipertrofia tale da renderla il più possibile meccanicamente equivalente all'osso nativo circostante. Pertanto, si predilige una sintesi stabile con placca a ponte e viti e, nel caso di eccessiva lunghezza del segmento intercalare, l'utilizzo di una doppia placca. Il perone può essere alternativamente infibulato a livello dell'osso ricevente e in tal caso si può ricorrere a stabilizzazione con fissatore esterno circolare tipo Ilizarov o esapodalico, specialmente nella gamba.

I reliquati causati dal prelievo su sito donatore possono essere: una residua instabilità di caviglia, che si evita mantenendo l'osteotomia distale a circa 10 cm prossimale dall'apice del malleolo laterale, e un deficit funzionale del flessore lungo dell'alluce, in caso di prelievo di isola cutanea o lembo osteo-muscolare <sup>10</sup>.

### **Lembo da cresta iliaca**

La cresta iliaca è universalmente riconosciuta tra i primi siti donatori per graft ossei non vascolarizzati, sia spongiosi che corticospongiosi.

La cresta è nutrita dall'arteria circonflessa iliaca profonda (DCIA) e, dopo la fibula, è la seconda sede di prelievo più utilizzata soprattutto per perdite di sostanza meno estese e localizzate in sedi metafisarie o tarsali. La sua fisiologica curvatura può renderne il suo utilizzo più appropriato in determinati distretti, come nelle ricostruzioni del testa-collo e nella tibia distale.

Alcuni autori preferiscono includere nel lembo, oltre al peduncolo della DCIA, anche il suo ramo ascendente al muscolo

obliquo interno, per garantire una migliore irrorazione specialmente nei casi di lembo composito vascolarizzato o nei casi di graft osseo massivo (> 10 cm). Possiede un peduncolo di 2,8 mm di diametro e circa 6 cm di lunghezza, che può essere aumentata, creando l'osteotomia anteriore il più posteriormente possibile. Il lembo, nonostante la limitata quantità di osso prelevabile, si dimostra estremamente versatile, consentendo al chirurgo un allestimento osteo-miocutaneo, osteo-cutaneo o solamente osseo. Storicamente il lembo ha visto aumentare le sue indicazioni in concomitanza con la rivoluzione nella sua tecnica di allestimento. Inizialmente, in caso di preparazione della variante osteo-miocutanea, si allestiva il lembo prelevando la cute con annessi muscoli obliquo esterno, interno e trasverso. Tale tecnica creava un lembo spesso e voluminoso, inadatto a ricostruzioni più estetiche, come quelle dello splancnocranio. Con il lavoro di Kimata e Bergeron si è iniziato a scolpire la losanga cutanea del lembo basata sulla perforante cutanea della DCIA, rendendo il lembo più versatile.

I vantaggi di questo lembo comprendono una grande versatilità nel suo allestimento (osseo, osteo-miocutaneo, chimerico con lembo cutaneo perforante) e nelle applicazioni ricostruttive del distretto testa-collo, una posizione favorevole per la cicatrice poco visibile e dotata di moderata morbilità a livello del sito donatore. Tra gli svantaggi del lembo osseo vascolarizzato di cresta iliaca si ha un tasso maggiore di fallimento per spasmo dei vasi rispetto agli altri lembi, rischio di sanguinamento e danno al peritoneo e ai visceri. Esso trova ampie indicazioni nelle ricostruzioni mandibolari e mascellari. È utilizzato in ortopedia per le ricostruzioni del piede, della caviglia e, più raramente, del gomito. Il lembo peduncolato è stato descritto in letteratura per la ricostruzione dell'acetabolo e nella necrosi avascolare della testa del femore <sup>10</sup>.

## Lembo da condilo femorale mediale

Dalla prima descrizione di Doi e Sakai nel 1994, l'uso del lembo corticospongioso da condilo femorale mediale è cresciuto costantemente. Inizialmente prelevato come lembo cortico-periostale per pseudoartrosi di scafoide e dei metacarpi, ha visto ora ampliare le sue indicazioni ed è considerato uno dei lembi ideali per la ricostruzione di piccole perdite di sostanza ossea in siti riceventi difficili (infetti, irradiati o scarsamente vascolarizzati). Il condilo femorale mediale e la troclea godono di un ricco plesso vascolare fornito dall'arteria genicolata discendente e l'arteria genicolata supero-mediale, che forniscono numerosi rami periostali e perforanti ossee. È un lembo molto versatile e può essere allestito come lembo solo periostale, strutturato cortico-spongioso, sottile cortico-periostale e infine osteocondrale o osteo-cutaneo.

Questo permette il suo impiego nel trattamento di un'ampia varietà di problematiche ortopediche di difficile gestione: da piccole perdite di sostanza per resezioni oncologiche o traumatiche, a necrosi ossea avascolare, a pseudoartrosi sia settica che atrofica. In particolare, il lembo di condilo femorale mediale fornisce un tessuto vascolarizzato, che garantisce un più alto tasso di unione, dove i lembi ossei tradizionali non possono essere utilizzati. Un'altra caratteristica particolare è la possibilità di allestire un lembo osteo-condrale per la ricostruzione della superficie articolare, come nel caso del polo prossimale dello scafoide. Il lembo di condilo femorale mediale è indicato nelle ricostruzioni di piccoli segmenti ossei dopo fallimento di innesti non vascolarizzati, quando il sito ricevente è poco vascolarizzato, infetto o presenta un'abbondante tessuto cicatriziale come dopo terapia radiante.

Tra i vantaggi di questa procedura esiste una relativa mancanza di morbilità del sito donatore, un aumento del tasso di unione

rispetto all'innesto osseo non vascolarizzato, vitalità dell'innesto conservata rispetto a quelli non vascolarizzati e un alto tasso di soddisfazione del paziente. Tra le complicanze può esistere dolore transitorio al sito di prelievo, diminuzione dell'arco di movimento del ginocchio, intorpidimento, dolore al sito del donatore o, molto raramente, frattura del femore (0,8%)<sup>10</sup>.

## Ricostruzione dei tessuti molli

Pochi sono i concetti base che guidano nella ricostruzione delle parti molli, numerose sono le possibilità ricostruttive. Le perdite di sostanza degli arti possono essere trattate con cute, muscolo o entrambi. Di conseguenza i lembi muscolari, fasciocutanei o miocutanei hanno l'obiettivo di: ricostruire il difetto, proteggere le "strutture nobili" quali vasi, nervi e tendini, nutrire il sottostante tessuto osseo o articolare, coprire mezzi di sintesi, ripristinare eventualmente la sensibilità e ottenere un aspetto quanto più estetico possibile. Il dogma centrale nella ricostruzione delle parti molli è che esse possono essere ripristinate soltanto con tessuti autologhi. I presidi e le medicazioni avanzate di cui disponiamo in ambito eterologo, infatti, promuovono una spontanea rigenerazione tissutale nella perdita di sostanza, ma non possono sostituirsi al tessuto originale.

La "scala ricostruttiva"<sup>11</sup>, paradigma ripreso nel 1993 da Lawrence Scott Levin, è una metafora che appartiene all'immaginario del chirurgo plastico. Si tratta di un insieme di procedure ricostruttive ordinate a "pioli" in base a un grado crescente di complessità. Essa vede in ordine: la chiusura per seconda intenzione, la chiusura diretta, i graft dermo-epidermici, i lembi locali, i lembi distanti o regionali e infine i lembi liberi. L'idea della scala guida il chirurgo, in base alla complessità del caso, verso la procedura più semplice e affidabile in grado di garantire adeguata copertura. L'invito è quello di

percorrere i successivi “pioli” solamente in caso di fallimento. Negli anni successivi la metafora della “scala” è stata revisionata e reinterpretata. Gottlieb e Krieger introdussero successivamente il concetto di “ascensore ricostruttivo”. Tali autori sostengono che è lecito “salire ai piani più elevati della scala” e quindi eseguire procedure più complesse, al fine di garantire migliori risultati estetici e funzionali, bypassando le possibilità meno impegnative e complesse. Tale concezione invita l'operatore a selezionare il livello appropriato di ricostruzione, aumentando la complessità della procedura in caso di necessità.

I lembi possono essere classificati secondo vari criteri, ma quello fondamentale distingue tra i “peduncolati” e i “liberi”. I primi rimangono in continuità (almeno) attraverso il proprio peduncolo vascolare e possono essere avanzati secondo necessità nelle regioni limitrofe, ma possiedono un intrinseco limite di mobilitazione. I secondi sono lembi a cui il peduncolo è stato sezionato e pertanto possono essere trasferiti in qualunque area somatica dove vi sia presente un peduncolo ricevente. Necessitano pertanto di confezionamento di anastomosi microvascolare da eseguire al microscopio operatorio. Nella pratica clinica vi sono alcune nozioni che guidano nella scelta tra i lembi liberi e peduncolati: è difficile ricorrere ai secondi, e quindi locali, quando si debba trattare un arto gravemente traumatizzato e/o gravato da patologie vascolari locali. Inoltre, a causa della scarsa qualità del potenziale peduncolo ricevente nella regione coinvolta dal trauma, durante dissezione è utile reperire i vasi riceventi al di fuori della area traumatizzata. L'invito, supportato sin dagli inizi da Godina, è quello di confezionare, soprattutto nella gamba, ma anche nell'avambraccio, le anastomosi termino-laterali per mantenere quanto più integro possibile l'apporto vascolare terminale. Nei lembi liberi la causa più frequente

di fallimento e di revisione è l'insufficienza venosa. Essa ha una frequenza di circa 7,2%, che cala drasticamente all'aumentare del numero di anastomosi venose. Non vi è, tuttavia, chiara indicazione sul numero di anastomosi venose da eseguire in sede di posizionamento del lembo libero. L'evidenza clinica mostra che la doppia anastomosi venosa garantisce una diminuzione del rischio di congestione venosa di circa 4 volte. Infine, una differenza di calibro maggiore di 1 mm tra il vaso ricevente e il donatore è un fattore indipendente predittivo di fallimento del lembo. Un'attenta selezione del paziente e un'ottimizzazione della tecnica di allestimento del lembo libero consentono di raggiungere dei tassi di successo del 90%, paragonabili a quelli eseguiti come attività chirurgica elettiva. Quando si tratta una perdita di sostanza complessa di grandi dimensioni, frequentemente si ricorre ai lembi liberi. Altri fattori da tenere a mente durante la pianificazione, oltre alla superficie della perdita di sostanza, vi sono: la posizione, la disponibilità di vasi riceventi, la loro qualità e la lunghezza del peduncolo. I lembi peduncolati trovano perfetta indicazione per perdite di sostanza isolate e di dimensioni medio-piccole di qualunque eziologia. Si tratta di procedure di moderata complessità, eseguibili in anestesia periferica e con tempi di ospedalizzazione limitati, che risolvono efficientemente problematiche di differente complessità<sup>12</sup>. Un'ulteriore classificazione suddivide i lembi in base alle componenti strutturali che li compongono: fasciocutanei, muscolari e miocutanei. I lembi fasciocutanei sono sottili, non sacrificano le strutture muscolari dell'area donatrice, hanno miglior risultato estetico, offrendo un tessuto simile a quello circostante. I lembi muscolari sono più voluminosi, sebbene il muscolo col progredire del tempo vada in atrofia, riempiono gli spazi morti, ma necessitano del sacrificio di un muscolo a livello dell'area donatrice.

Sono indicati nella gestione delle osteomieliti e delle fratture esposte contaminate dell'arto inferiore e sono considerati, per via del loro marcato afflusso sanguigno, un utile strumento per controllare l'infezione e la contaminazione.

Ad oggi non vi sono evidenze a sostegno della superiorità dei lembi fasciocutanei su quelli muscolari e viceversa; i tassi di complicanze sono relativi al tipo di trauma e non alla tipologia di lembo. I lembi muscolari hanno dimostrato superiorità nei difetti complessi, mentre i fasciocutanei hanno una tolleranza maggiore ai reinterventi <sup>11</sup>.

### **Lembi peduncolati**

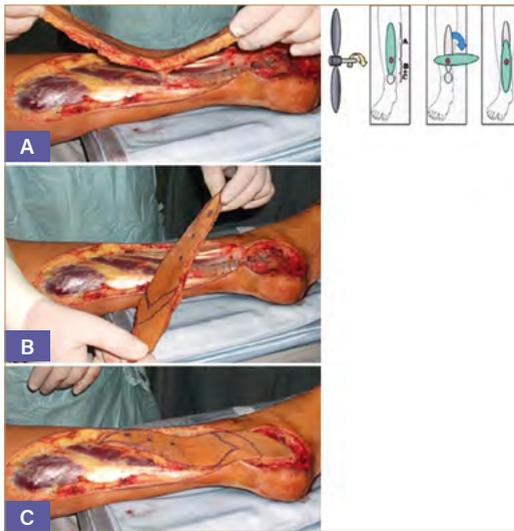
**Lembo di gemello mediale:** più frequentemente viene allestito come lembo muscolare puro, ma esiste anche nella variante miocutanea con allestimento dell'isola cutanea basata sulla perforante (*gastro-propeller*). È irrorato dall'arteria surale mediale e rappresenta la prima scelta per semplicità e affidabilità nelle perdite di sostanza sia traumatiche che oncologiche a livello del ginocchio e terzo prossimale di tibia. La sua dissezione intuitiva, la scarsità di reliquati estetico-funzionali sull'area donatrice e la possibilità di allestire il lembo prelevando una banda di tendine permette ricostruzioni composite di ginocchio. Nel caso di allestimento della variante muscolare, la copertura cutanea viene eseguita nella medesima procedura con graft cutaneo prelevato con dermatomeri o alternativamente con procedura ritardata dopo 5-7 giorni circa, con raccomandata applicazione di terapia a pressione negativa.

**Lembo emisoleo mediale:** è un lembo muscolare puro di limitate dimensioni, ma abbastanza lungo da raggiungere il terzo medio-inferiore di tibia. Possiede tre peduncoli dominanti differenziati per posizione in: prossimali, intermedi e distali, che originano sia dall'arteria peroneale che dal peduncolo tibiale posteriore. È indicato in

caso di piccole perdite di sostanza longitudinali, deiscenze di ferite e osteomieliti del terzo medio di tibia. A fronte di una dissezione di moderata difficoltà, l'emisoleo ha tra i vantaggi quello di lasciare scarsi deficit morfo-funzionali.

**Lembo surale:** è un lembo fasciocutaneo a flusso invertito, basato sul fascio neurovascolare surale e sul flusso retrogrado proveniente dalla perforante peroneale, presente 5-7 cm prossimalmente dall'apice del malleolo laterale. Offre una cute sottile e di buona qualità localizzata tra il terzo inferiore di gamba e caviglia. Risulta utile per perdite di sostanza al terzo inferiore di gamba, ma è di piccole dimensioni ed è gravato da una notevole percentuale di stasi venose dovute a un insufficiente drenaggio venoso. Per scongiurare tale inconveniente è utile mantenere almeno 3 cm di tessuto su ogni lato del peduncolo e un ponte cutaneo a copertura di esso, eseguire una procedura in due tempi con copertura ritardata dopo 7-10 giorni o infine confezionare un'anastomosi venosa sulla piccola safena.

**Lembi propeller:** i lembi propeller sono tra le soluzioni chirurgiche più recenti e raffinate nell'ambito dei lembi peduncolati di ultima generazione. Si tratta di una losanga cutanea nutrita da una piccola arteria perforante, localizzata in un punto corrispondente al pivot o centro di rotazione del lembo. Il lembo è composto da due bracci (dell'elica ovvero "propeller") che originano dal pivot: uno prossimale più lungo e uno distale più corto (Fig. 3). Scolpendo un lembo di idonee dimensioni in prossimità della perdita di sostanza, è possibile coprire quest'ultima ruotando fino a 180° il lembo facendo fulcro sulla perforante (pivot), portando la porzione più lunga nella sede ricevente e chiudendo l'area donatrice con il braccio più corto e con una plastica V-Y. I lembi perforanti sono stati concepiti da Koshima, partendo dallo studio del plesso subdermico nella vascolarizzazione della cute. Sono



**Figura 3.** Il disegno in alto a destra raffigura lo schema di un lembo propeller o elica. Esso si basa sulla rotazione di un lembo fascio-cutaneo su un punto fisso o pivot, che corrisponde al punto di reperi dell'arteria perforante. L'arteria divide l'elica in due bracci: uno più lungo scolpito per coprire la perdita di sostanza, mentre quello più corto va a coprire l'area donatrice.

Le foto intraoperatorie A, B, e C mostrano il sollevamento del lembo, la sua rotazione sul punto di pivot e l'inset del lembo. Nell'immagine B sul punto di pivot è visibile il peduncolo vascolare che irroro il lembo. Si può notare come nelle immagini B e C siano presenti tre punti di reperi sulla cute del lembo. Essi rappresentano ulteriori vasi perforanti identificati all'esame doppler. Durante l'allestimento del lembo il chirurgo seleziona tra tutti i vasi perforanti il peduncolo che appare meglio rappresentato.

estremamente versatili, essendo prelevabili ovunque sia disponibile un'arteria perforante di idonee dimensioni e permettendo di coprire alcune regioni dell'arto inferiore che non sarebbero altrimenti raggiungibili da altri lembi pedunculati convenzionali. Per quanto teoricamente un lembo propeller possa essere allestito ovunque sia disponibile un vaso perforante, quelli più utilizzati si basano su perforanti dell'arteria safena, della femorale profonda, della tibiale poste-

riore, della tibiale anteriore e della peronea. I primi due sono particolarmente utili per la ricostruzione delle parti molli del ginocchio, mentre i secondi sono utilizzati per sedi anche distali della gamba a seconda della sede della perforante. Tra gli svantaggi si citano: complicanze relative al peduncolo, che nella torsione può essere compresso causando ischemia o insufficienza venosa del lembo, scarso risultato estetico nell'area donatrice se viene prelevata un'ampia isola cutanea, perdita di sensibilità del lembo e scarsa lunghezza del peduncolo. I lembi propeller rappresentano una rivoluzione nella ricostruzione dell'arto inferiore dove, a causa di un apporto vascolare di tipo terminale, spesso inficiato da traumi o patologie, vi era obbligatoriamente in precedenza la necessità di ricorrere a lembi liberi <sup>13</sup>.

### Lembi liberi

**Lembo anterolaterale di coscia (antero-lateral thigh o ALT):** descritto nel 1984 da Song e colleghi, è attualmente il lembo perforante più utilizzato. Si preleva sulla faccia anterolaterale della coscia ed è irrorato da una perforante del ramo discendente dell'arteria circonflessa laterale del femore. Può essere scolpito di grandi dimensioni e può essere allestito come lembo fasciocutaneo, cutaneo ultrasottile, fascioadiposo o miocutaneo. Tra i vantaggi si ha: un peduncolo affidabile e di notevole lunghezza, cute plicabile, che può essere assottigliata nella medesima procedura o successivamente con debulking, assenza di deficit funzionali a livello dell'area donatrice, versatilità nel planning, possibilità di allestimento di un lembo *flow-through*, ossia con anastomosi vascolari sia prossimalmente che distalmente al peduncolo prelevato, ricostruzione composita di tendini prelevando la fascia lata, allestimento di un lembo sensibile includendo nel prelievo del nervo femoro-cutaneo laterale della coscia e la possibilità di lavorare simultaneamente

in due team, abbattendo i tempi operatori. Gli svantaggi vedono la necessità di innestare il sito donatore se il difetto è più largo di 8 cm e un possibile mismatch con la cute circostante al sito ricevente per differenze di colore e per presenza di annessi cutanei. Indicato per la copertura di zone particolarmente esigenti dal punto di vista biomeccanico come il ginocchio, la regione achillea e il piede, o per estese perdite di sostanza.

**Lembo SCIP (*superficial circumflex iliac artery perforator*):** si tratta della versione perforante del lembo inguinale, di cui ne supera molti limiti. È basato su una piccola perforante dell'arteria circonflessa iliaca superficiale. Ha il vantaggio di essere estremamente sottile, di permettere una chiusura per prima intenzione della zona donatrice nella maggioranza dei casi, riducendo al minimo la morbilità nella zona donatrice e di essere allestito come lembo composito con più isole cutanee o con prelievo osseo. Si applica bene nella copertura di articolazioni, dell'arto superiore, specialmente sulla mano, ma anche nell'arto inferiore. Tra gli svantaggi che il lembo offre vi sono: un'anatomia vascolare variabile, un peduncolo vascolare corto e potenziali danni iatrogeni al sistema linfatico inguinale durante il prelievo.

**Lembo di Gran Dorsale:** rappresenta uno dei lembi più diffusi e meglio descritti in letteratura. Molto utilizzato per le ricostruzioni estese del torace, dell'ascella, della spalla e soprattutto della mammella. Nell'era della microchirurgia questo lembo è riuscito a sopravvivere ritagliandosi delle specifiche indicazioni come lembo libero. Esiste nella variante muscolare pura, miocutanea e oste-miocutanea, con prelievo di segmenti della IX e X costa. Il lembo è basato sull'arteria toracodorsale, che per dimensioni (peduncolo di 8 cm e diametro di 3 mm) risulta un vaso affidabile. È prelevabile un'ampia superficie muscolare, che si rivela adatta nella copertura di fratture grave-

mente esposte, contaminate, con perdita di sostanza ossea e di osteomieliti. Nonostante il vasto prelievo di tessuto muscolare, si stima che la perdita funzionale di spalla e braccio sia solamente del 7%. Alcuni autori prediligono il lembo di gran dorsale ai lembi fasciocutanei per la ricostruzione della pianta del piede, nonostante la voluminosa massa che genera il muscolo.

**Lembo di Gracile:** come il gran dorsale, esiste nelle varianti miocutanea, muscolare pura e fasciocutanea da perforante. Il lembo di gracile si dimostra versatile, possiede un peduncolo affidabile e lascia scarsi reliquati sul sito donatore. Può essere impiegato come lembo peduncolato, libero o perforante. Si basa su un ramo dell'arteria circonflessa femorale mediale ed è innervato dal ramo anteriore del nervo otturatorio, che può essere incluso durante la dissezione e anastomizzato sul sito ricevente, qualora si desideri procedere a una ricostruzione funzionale. Nonostante il tessuto muscolare prelevabile sia di ridotte dimensioni e l'isola cutanea non sempre affidabile, il lembo di gracile possiede una scarsa variabilità anatomica, una relativa semplicità di allestimento e la possibilità di lavorare in simultanea con due team in caso di ricostruzioni del distretto testa-collo o dell'arto superiore. Inoltre, il sito donatore si può occultare e il muscolo sacrificato non lascia deficit funzionali.

## Terapia a pressione negativa

La terapia a pressione topica negativa è una terapia avanzata di recente introduzione che può essere facilmente integrata nella gestione di ferite difficili con lo scopo di ottimizzare l'assistenza al paziente. Si tratta di un sistema terapeutico motorizzato a pressione negativa, provvisto di una medicazione in schiuma in poliuretano o in alcol polivinilico che viene tagliata e adattata alla ferita, quindi coperta con una pellicola

adesiva, semioclusiva e trasparente, che aderisce alla cute sana sigillando il microambiente della ferita. Le celle aperte della schiuma consentono una distribuzione omogenea della pressione negativa lungo la superficie della ferita, mentre un tubo connette la spugna allo strumento V.A.C.® e, tramite un sistema di aspirazione, permette il drenaggio dei fluidi dalla ferita all'interno di un contenitore esterno (*canister*). Ciò consente di creare un ambiente umido asettico favorevole alla guarigione, implementando la teoria *Moist Wound Healing* elaborata nel 1962 da George Winter. La terapia a pressione topica negativa può essere utilizzata sia su ferite aperte che chiuse. Se utilizzata su ferite aperte, è concepita per creare un ambiente che favorisca la guarigione per intenzione secondaria o terziaria. Essa, infatti, rimuovendo l'essudato e il materiale infetto, riduce l'edema interstiziale, favorisce la formazione di tessuto di granulazione, stimola la neoangiogenesi e dunque la perfusione, aumentando l'ossigenazione tissutale locale e l'apporto di nutrienti <sup>14</sup>. In ultima analisi, essa permette la retrazione della ferita tramite un'attiva proliferazione dei margini epiteliali, agendo dunque su tutti gli step del *Wound Bed Preparation* (vedi acronimo TIME). Va sottolineato però che, pur rappresentando uno strumento prezioso per il *wound care*, nella pratica clinico-chirurgica essa si configura spesso come valido alleato della chirurgia, piuttosto che come suo sostituto. Allo scopo di preparare la ferita all'applicazione del dispositivo e promuoverne dunque un'adeguata guarigione, occorre innanzitutto effettuare un efficace trattamento del sito coinvolto dal trauma. Meno spesso autolitica o enzimatica, più frequentemente la detersione (*debridement*) della ferita è chirurgica, finalizzata a una rapida eliminazione di estese aree necrotiche. In aggiunta, a seguito dell'utilizzo continuativo del dispositivo (range 10-21 gg), è frequentemente

necessaria una chiusura chirurgica diretta della ferita ove possibile, o l'impiego di altre procedure ricostruttive. La terapia a pressione topica negativa può inoltre essere utilizzata su incisioni chirurgiche chiuse in pazienti a elevato rischio di complicazioni presso il sito chirurgico (sieromi, elevato rischio infettivo e/o di deiscenza) <sup>14</sup>. A questo livello è concepita per la gestione dell'ambiente di incisione chirurgica, garantendo le condizioni di sterile umidità, che permettono una corretta guarigione della ferita. La TPN è controindicata su tessuto osseo deperiostizzato, in caso di sanguinamento attivo, su sito infetto e su aree in prossimità del peduncolo di un lembo.

## Monitoraggio post-operatorio e complicanze

La microchirurgia applicata alle ricostruzioni degli arti inferiori ha raggiunto in questi ultimi anni un livello di affidabilità pari al 95%. Il controllo post-operatorio, particolarmente mirato alla verifica della vitalità del lembo, sia esso libero o peduncolato, rappresenta uno dei punti chiave del successo ricostruttivo. La compromissione vascolare può verificarsi a seguito di trombosi venosa, insufficienza arteriosa (trombosi o vasospasmo) o sviluppo di ematomi che, comprimendo il peduncolo vascolare, impediscono o ostacolano la perfusione del lembo. Di questi, la trombosi venosa rappresenta la complicanza di più comune riscontro (rapporto di 9:1 rispetto a quella arteriosa). Il monitoraggio abitualmente adottato è quello clinico, costante almeno per le tre giornate post-operatorie, tramite ispezione dell'isola cutanea del lembo, quando presente. I parametri macroscopici che vengono valutati sono aspetto, colore, termo-tatto e tempo di riperfusione capillare o *refill-time* (fisiologico se di ca 3 sec.). È fondamentale un pronto riconoscimento delle complicanze in

quanto, in generale, le possibilità di recupero di un lembo ischemico in poche ore. Da un punto di vista clinico, in sintesi, un lembo pallido e freddo è indicativo di déficit arterioso ischemico, un lembo scuro e congestizio è espressione di ostacolo al drenaggio venoso. Il monitoraggio strumentale indiretto con Doppler-sonografia (ancor più accurato il Color-Doppler) rappresenta un valido supporto all'obiettività clinica, e può diventare essenziale nel caso il lembo sia completamente sepolto. Il monitoraggio clinico del lembo è stato dunque dimostrato essere affidabile, facilmente riproducibile, non invasivo, economico e senza rischi o disagi aggiuntivi per il paziente. In letteratura, tuttavia, sono state descritte molteplici metodiche a invasività variabile per il monitoraggio post-operatorio dei lembi. Sono da ricordare, in tal senso, la pulso-ossimetria, la pletismografia a impedenza elettrica, l'iniezione endovenosa di fluorescina, la fotopletismografia, il monitoraggio della temperatura, la misurazione del pH, la microdialisi, il monitoraggio transcutaneo dell'ossigeno, la risonanza magnetica di perfusione, la valutazione di markers biochimici dal sangue capillare drenato dal lembo (glucosio, lattati, ecc.) fino all'utilizzo del cosiddetto Cook-Swartz Doppler, ovvero un Doppler impiantabile a microsonde applicate direttamente sul vaso venoso<sup>15</sup>. Tuttavia, data l'invasività e la difficile applicabilità, queste metodiche sono, ad oggi, di marginale utilizzo nella pratica clinica di routine. Trial clinici più ampi e accurate analisi dei costi sono inoltre necessari per determinare i loro reali vantaggi rispetto alle metodiche tradizionali. Attenersi a un efficace algoritmo di gestione post-operatoria del paziente è altresì necessario ai fini del successo ricostruttivo. Sebbene vi sia mancanza di consenso in letteratura sul miglior protocollo post-operatorio da utilizzare, è stata dimostrata l'efficacia di un trattamento farmacologico trombo- e antibiotico-pro-

filattico unitamente alla somministrazione endovenosa di fluidi, mantenendo quanto più possibile l'arto in scarico venoso.

## Bibliografia

- 1 Boriani F, UI Haq A, Baldini T, et al. Orthoplastic surgical collaboration is required to optimise the treatment of severe limb injuries: a multi-centre, prospective cohort study. *J Plast Reconstr Aesthetic Surg* 2017;70:715-722. <https://doi.org/10.1016/j.bjps.2017.02.017>
- 2 Mendenhall SD, Ben-Amotz O, Gandhi RA, et al. A review on the orthoplastic approach to lower limb reconstruction. *Indian J Plast Surg* 2019;52:17-25. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1688095>
- 3 Taylor GI, Palmer JH. The vascular territories (angiosomes) of the body: experimental study and clinical applications. *Br J Plast Surg* 1987;40:113-141. [https://doi.org/10.1016/0007-1226\(87\)90185-8](https://doi.org/10.1016/0007-1226(87)90185-8)
- 4 Saint-Cyr M, Wong C, Schaverien M, et al. The perforasome theory: vascular anatomy and clinical implications. *Plast Reconstr Surg* 2009;124:1529-1544. <https://doi.org/10.1097/PRS.0b013e3181b98a6c>
- 5 Nanchahal J, Nayagam S, Khan U, et al. Standards for the management of open fractures of the lower limb. *British Association of Plastic Reconstructive and Aesthetic Surgeon*, 2009.
- 6 Colen DL, Colen LB, Levin LS, et al. Godina's principles in the Twenty-First Century and the evolution of lower extremity trauma reconstruction. *J Reconstr Microsurg* 2017;34:563-571. <https://doi.org/10.1055/s-0037-1607348>
- 7 Lee ZH, Stranix JT, Rifkin WJ, et al. Timing of microsurgical reconstruction in lower extremity trauma: an update of the Godina paradigm. *Plast Reconstr Surg* 2019;144:759-767. <https://doi.org/10.1097/PRS.0000000000005955>
- 8 Eccles S, Handley B, Khan U, et al. Standards for the management of open fractures. *Stand Manag Open Fract* 2020;1-19. <https://doi.org/10.1093/med/9780198849360.001.0001>
- 9 Eccles S, Handley B, Khan U, et al. Standards for the management of open fractures. *Stand Manag Open Fract* 2020;1-6. <https://doi.org/10.1093/med/9780198849360.001.0001>
- 10 Wei FC, Mardini S. Flaps and reconstructive surgery. *Flaps Reconstr Surg* 2009. <https://doi.org/10.1016/B978-0-7216-0519-7.X0001-9>
- 11 Tintle SM, Levin LS. The reconstructive microsurgery ladder in orthopaedics. *Injury* 2013;44:376-385. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2013.01.006>

- <sup>12</sup> Eccles S, Handley B, Khan U, et al. Standards for the management of open fractures. *Stand Manag Open Fract* 2020;1-17. <https://doi.org/10.1093/med/9780198849360.001.0001>
- <sup>13</sup> Georgescu AV. Propeller perforator flaps in distal lower leg: evolution and clinical applications. *Arch Plast Surg* 2012;39:94-105. <https://doi.org/10.5999/aps.2012.39.2.94>
- <sup>14</sup> Sullivan N, Snyder DL, Tipton K, et al. Negative pressure wound therapy devices. Rockville (MD): Agency for Healthcare Research and Quality (US), 2009;Nov 12.
- <sup>15</sup> Kohlert S, Quimby AE, Saman M, et al. Post-operative free-flap monitoring techniques. *Semin Plast Surg* 2019;33:13-16. <https://doi.org/10.1055/s-0039-1677880>

# L'INCHIODAMENTO: QUANDO? COME?

Carlotta Pari, Alberto Belluati

*UOC di Ortopedia e Traumatologia, Ospedale Santa Maria delle Croci, Ravenna*

## Introduzione

Le fratture esposte rappresentano ancora oggi una delle maggiori sfide per il chirurgo ortopedico, per le numerose complicanze che ne possono derivare. L'incidenza annuale delle fratture esposte delle ossa lunghe è stimata essere di 11,5 per 100.000 individui e il 40% di esse si verifica negli arti inferiori <sup>1</sup>.

Le fratture esposte dell'arto inferiore sono generalmente più gravi di quelle dell'arto superiore, perché sono spesso il risultato di traumi ad alta energia in pazienti giovani. Possono presentare danno esteso dei tessuti molli, perdita di sostanza ossea, danno delle strutture neuro-muscolari e contaminazione. L'insieme di tutti questi fattori predispongono queste fratture a una più elevata incidenza di complicanze post-operatorie (pseudoartrosi, malunion, infezione) rispetto ai corrispettivi pattern di frattura chiusa.

Un attento bilancio pre-operatorio delle lesioni associate è essenziale al fine di garantire il ripristino della vascolarizzazione e di un'adeguata copertura dei tessuti molli dell'arto lesso. Un accurato debridement e la tempestiva somministrazione di antibiotici (idealmente già nel tragitto del paziente in ambulanza) sono passaggi indispensabili per ridurre il rischio di infezione secondaria.

Diversi autori hanno evidenziato una forte associazione tra il grado di esposizione

ossea, secondo la classificazione di Gustilo-Anderson, e il rischio di sviluppare complicanze infettive post-operatorie <sup>2</sup>.

Le fratture di grado I e II sono le più semplici da trattare. Presentano un'area di esposizione ridotta e la lesione cutanea può essere chiusa per via diretta, dopo aver stabilizzato la frattura, e il rischio di necrosi tissutale perilesionale e di contaminazione batterica da germi nosocomiali è trascurabile. Al contrario, il trattamento delle fratture di grado III è ben più complesso. Avvertono per traumi ad alta energia e spesso in pazienti polifratturati, presentano pattern di frattura più complesso e il massivo coinvolgimento dei tessuti molli ne può rendere difficile la copertura. L'outcome finale di queste fratture è scarsamente prevedibile.

## Il ruolo dell'inchiodamento endomidollare

La fissazione esterna è stata storicamente considerata la metodica più idonea per il trattamento delle fratture esposte. Questo grazie alla sua semplicità di applicazione, al minimo impatto sulla vascolarizzazione e alla capacità del fissatore di ottenere stabilità by-passando il focolaio di frattura, che nelle esposizioni è da considerarsi potenzialmente contaminato/contaminabile. Tuttavia, negli anni, la fissazione esterna si è dimostrata essere gravata da una percen-

tuale relativamente elevata di malunion e di infezione dei trami delle fiches.

Grazie al progresso delle tecniche di fissazione e allo sviluppo di materiali e design sempre più innovativi, il punto di vista sul trattamento delle lesioni esposte si è progressivamente modificato verso il concetto di un meticoloso debridement, seguito dalla stabilizzazione primaria della frattura con metodi di fissazione endomidollare. Pertanto, dagli anni '90, l'inchiodamento endomidollare è stato proposto come alternativa alla fissazione esterna per il trattamento delle fratture esposte di diafisi.

Agrawal et al.<sup>3</sup>, in una serie di 30 pazienti con frattura esposta della diafisi tibiale, dimostrarono come l'utilizzo del chiodo endomidollare non alesato, contestualmente a una copertura precoce dei tessuti molli, consentisse loro di ottenere una migliore stabilità biomeccanica, un tasso inferiore di infezioni profonde e favorisse la riabilitazione precoce del paziente.

Alberts et al.<sup>4</sup> confrontarono una serie di 31 pazienti con frattura esposta di tibia trattati con chiodo endomidollare non alesato con una serie di 31 pazienti con frattura esposta di tibia trattati con fissatore esterno. Riportarono un'incidenza due volte maggiore di ritardi di consolidazione e malunion nel gruppo con fissatore esterno e l'incidenza di infezione profonda nei due gruppi era sovrapponibile.

Buzzi et al.<sup>5</sup>, in una serie di 28 pazienti con frattura esposta di tibia, riportarono che l'inchiodamento endomidollare presentava una minore percentuale di malunion e di necessità di re-intervento, rispetto ai dati riportati in letteratura con l'utilizzo del fissatore esterno.

Bhandari et al.<sup>6</sup>, in una metanalisi condotta su studi randomizzati fino al 2001, conclusero che l'inchiodamento endomidollare riduceva il tasso di re-intervento e malunion rispetto alla fissazione esterna nelle fratture esposte della diafisi tibiale.

Hong et al.<sup>7</sup> esaminarono una serie di 92 pazienti pediatriche, di età compresa tra 5 e 11 anni, affetti da frattura esposta della diafisi tibiale. 55 pazienti furono trattati con fissatore esterno e 37 tramite inchiodamento endomidollare con chiodi elastici in titanio. Dalla loro analisi emerse che, anche nella popolazione pediatrica, l'inchiodamento endomidollare si dimostrava essere una tecnica affidabile, con esiti clinici paragonabili all'utilizzo del fissatore esterno.

Ad oggi, diversi studi hanno evidenziato la superiorità dell'inchiodamento endomidollare in termini di stabilità biomeccanica, riduzione dei tempi di guarigione e agevolazione delle procedure riabilitative<sup>3-6</sup>. Tuttavia rimane aperto il dibattito sull'utilizzo di chiodi alesati *versus* chiodi non alesati.

Tutti gli autori degli studi citati in precedenza hanno utilizzato chiodi non alesati e il ruolo della alesatura (tecnica di comune utilizzo per le fratture diafisarie chiuse) rimane controverso nelle fratture esposte, per la preoccupazione che essa possa favorire la disseminazione batterica all'interno del canale midollare, favorendo così l'insorgenza di infezione ossea profonda.

Studi sperimentali condotti sugli ovini hanno dimostrato che la tecnica di inchiodamento senza alesatura comporta alcuni vantaggi, tra cui la riduzione dello stress termico sull'osso e minor danno alla vascolarizzazione<sup>8,9</sup>. Questi aspetti possono diventare rilevanti nelle gravi esposizioni, dove l'afflusso ematico è già significativamente compromesso. Per contro, vi sono trials clinici che non evidenziano differenze nel tasso di complicanze tra l'utilizzo di chiodi alesati e non alesati.

Keating et al.<sup>10</sup> confrontarono 50 fratture esposte della diafisi tibiale trattate con chiodo alesato e 44 trattate con chiodo non alesato. Non riscontrarono differenze statisticamente significative in termini di: tempo di guarigione della frattura, sviluppo di infezione profonda e rottura delle viti di bloc-

caggio del chiodo. Tuttavia, limite di questo studio consiste nell'esiguo numero di fratture Gustilo III in entrambe le popolazioni. Papakostidis et al.<sup>2</sup>, in una metanalisi comprendente 32 studi per un totale di 3.060 fratture tibiali esposte, studiarono l'outcome a lungo termine in base al grado di esposizione (secondo la classificazione di Gustilo-Anderson) e in base al metodo di fissazione utilizzato. Conclusero che i tempi di guarigione erano inferiori per il chiodo alesato, rispetto a quello non alesato, e che il tasso di infezione era più elevato per le Gustilo III, indipendentemente dalla tecnica chirurgica utilizzata.

Noumi et al.<sup>11</sup> esaminarono 89 fratture esposte della diafisi femorale: 67 furono trattate con chiodo alesato, 22 con chiodo non alesato. Non riscontrarono differenze in termini di tempi di guarigione e percentuale di infezione tra i due gruppi. Tuttavia, un limite dello studio consiste nella differenza numerica tra i due gruppi in studio.

## La gestione dei tessuti molli

La corretta gestione del difetto dei tessuti molli nelle fratture esposte è un elemento cruciale al fine del recupero clinico e funzionale. Il timing ottimale per la copertura ossea è stato ampiamente dibattuto negli anni. La letteratura meno recente dilazionava l'intervento di copertura in caso di massiccia esposizione ossea e prevedeva plurimi interventi di bonifica del focolaio, prima di considerare procedure di innesto. Tuttavia, la crescente incidenza di sovra-infezioni da parte di microrganismi nosocomiali antibiotico-resistenti, ha gradualmente modificato l'approccio alla gestione dei tessuti molli.

Ciorny et al.<sup>12</sup> confrontarono 24 fratture tibiali Gustilo III trattate mediante copertura precoce (entro 7 giorni dalla lesione) con lembi muscolo-cutanei e 12 trattate mediante copertura tardiva (tra 8 e 30 giorni

dalla lesione). Ottennero un'incidenza più bassa di ritardi di consolidazione, malunion e infezione profonda nei pazienti trattati con copertura precoce. Dati simili furono riportati anche da Fischer et al.<sup>13</sup>.

Gopal et al.<sup>14</sup> e Conroy et al.<sup>15</sup>, nelle proprie pubblicazioni, promuovono la sintesi ossea con tecniche di inchiodamento endomidollare e copertura immediata o precoce (entro le 72 ore dal trauma) con lembi muscolari vascolarizzati.

In particolare, Gopal et al.<sup>14</sup> riportano come la loro tecnica *Fix and Flap* fosse in grado di limitare il tasso di infezione e di promuovere la guarigione ossea e il recupero della funzione, anche nelle fratture a esposizione ossea massiva. Questi risultati clinici estremamente favorevoli sono da attribuirsi al ripristino immediato, o quasi immediato, della barriera fisiologica di rivestimento dell'osso, che svolge un ruolo determinante nella prevenzione delle complicanze infettive.

## Conclusioni

L'inchiodamento endomidollare è uno dei metodi di fissazione più affidabili per il trattamento delle fratture delle ossa lunghe. Vi è evidenza in letteratura della superiorità del chiodo, rispetto al fissatore esterno, in termini di tempi di guarigione della frattura, minor tasso di pseudoartrosi, malunion e infezione. Ad oggi, diversi studi hanno dimostrato che l'esposizione ossea non è una controindicazione alle tecniche di inchiodamento endomidollare nelle fratture diafisarie delle ossa lunghe. In caso di esposizione ossea massiva, il ripristino precoce dei tessuti molli di rivestimento è di fondamentale importanza e ha condotto alla necessità di una stretta collaborazione tra chirurgo ortopedico e chirurgo plastico nella gestione combinata dei traumi più complessi. Da questa necessità è nato il moderno concetto della chirurgia ortoplastica.

## Bibliografia

- 1 Court-Brown CM, Rimmer S, Prakash U, et al. The epidemiology of open long bone fractures. *Injury* 1998;29:529-534. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(98\)00125-9](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(98)00125-9)
- 2 Papakostidis C, Kanakaris N, Pretel J, et al. Prevalence of complications of open tibial shaft fractures stratified as per the Gustilo-Anderson classification. *Injury Int J Care Injured* 2011;42:1408-1415. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2011.10.015>
- 3 Agrawal A, Chauhan VD, Maheshwari RK, et al. Primary nailing in the open fractures of the Tibia-Is it worth? *J Clin Diagn Res* 2013;7:1125-1130. <https://doi.org/10.7860/JCDR/2013/5504.3081>
- 4 Alberts KA, Loochagen G, Einarsdottir H. Open tibial fractures: faster union after undreamed nailing than external fixation. *Injury* 1999;30:519-523. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(99\)00143-6](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(99)00143-6)
- 5 Buzzi R, Bertini FA, Cerulli Mariani P, et al. Treatment of open tibial fractures with locked intramedullary nailing. *Giornale Italiano di Ortopedia e Traumatologia* 2005;31:224-229.
- 6 Bhandari M, Guyatt GH, Swiontkowski MF, et al. Treatment of open fractures of the shaft of the tibia. *J Bone Jt Surg Am* 2001;83:62-68. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.83b1.10986>
- 7 Hong P, Rai S, Tang X, et al. External fixation versus elastic stable intramedullary nailing in the treatment of open tibial shaft fractures in children. *J Orthop Surg Res* 2021;16:528. <https://doi.org/10.1186/s13018-021-02679-w>
- 8 Klein C, Sprecher C, Rahn BA, et al. Unreamed and RIA reamed nailing: an experimental sheep study using comparative histological assessment of affected bone tissue in an acute fracture model. *Injury* 2010;41(Suppl 2):S32-S37. [https://doi.org/10.1016/S0020-1383\(10\)70006-1](https://doi.org/10.1016/S0020-1383(10)70006-1)
- 9 Mueller CA, Schlegel V, Hoegel F, et al. Cortical perfusion and local fat occlusion after intramedullary nailing of the ovine tibia-comparison of different surgical procedures. *Injury* 2009;40:760-766. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2009.01.106>
- 10 Keating JF, O'Brien PJ, Blachut PA, et al. Locking intramedullary nailing with and without reaming for open fractures of the tibial shaft: a prospective, randomized study. *J Bone Joint Surg [Am]* 1997;79-A:334-341. <https://doi.org/10.2106/00004623-199703000-00003>
- 11 Noumi T, Yokoyama K, Ohtsuka H, et al. Intramedullary nailing for open fractures of the femoral shaft: evaluation of contributing factors on deep infection and nonunion using multivariate analysis. *Injury Int J Care Injured* 2015;36:1085-1093. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2004.09.012>
- 12 Cierny G 3<sup>rd</sup>, Byrd HS, Jones RE. Primary versus delayed soft tissue coverage for severe open tibial fractures: a comparison of results. *Clin Orthop* 1983;178:54-63
- 13 Fischer MD, Gustilo RB, Varecka TF. The timing of flap coverage, bone grafting, and intramedullary nailing in patients who have a fracture of the tibial shaft with extensive soft-tissue injury. *J Bone Joint Surg [Am]* 1991;73-A:1316-1322.
- 14 Gopal S, Majumder S, Batchelor AG, et al. Fix and flap: the radical orthopaedic and plastic treatment of severe open fractures of the tibia. *J Bone Joint Surg [Br]* 2000;82:959-966. <https://doi.org/10.1302/0301-620x.82b7.10482>
- 15 Conroy J, Agarwal M, Giannoudis PV, et al. Early internal fixation and soft tissue cover of severe open tibial/pilon fractures. *Int Orthop* 2003;27:343-347. <https://doi.org/10.1007/s00264-003-0486-1>

# IL FRACTING SCORE

Alessandro Isola, Mario Manca

UOC Ortopedia e Traumatologia, Ospedale Versilia, Lido di Camaiore

Il *Fracting* è uno score che dà una stima della probabilità e dei tempi di guarigione di una frattura di gamba trattata chirurgicamente.

Prima di andare a parlare del percorso scientifico che ha portato all'elaborazione di questo strumento, di come si calcola e delle possibilità di impiego, è necessario fare una premessa per capirne il potenziale nella gestione del rapporto medico/paziente.

Esiste un'importante differenza tra un paziente ortopedico, che ad esempio deve affrontare un intervento di protesica d'anca, e un paziente fratturato. Il primo soffre di un disturbo da qualche tempo ed è stato già sottoposto ad accertamenti diagnostici e clinici, per cui quando entra in ospedale per il trattamento chirurgico è già conscio del suo problema e del percorso che dovrà intraprendere per risolverlo. Il secondo è uscito da casa non potendo prevedere quello che gli sarebbe capitato, come ad esempio essere portato in ospedale con una frattura di gamba. È comprensibile che, avendo subito un trauma psicofisico con uno sconvolgimento totale dei programmi di vita quotidiana a breve e lungo termine, le domande che vengono poste saranno: guarirò? In quanto tempo potrò riprendere a camminare, guidare, lavorare?

Rispondere a questa domanda con certezza matematica è impossibile. Di fatto dalla letteratura si evince che una quantità compresa tra il 7 del 10% delle ossa lunghe va incontro a problemi di guarigione. Il 13%

delle fratture di tibia presentano un ritardo di consolidazione e più della metà di casi di pseudoartrosi si localizzano a livello tibiale<sup>1,2</sup>. Diversi lavori in questo senso segnalano che una percentuale di frattura intorno al 20% avrà periodi di guarigione maggiori di sei mesi<sup>3,4</sup>. Questo dato è presente anche nello studio che ha portato al *Fracting score* e in questo caso la percentuale si attesta intorno al 16%<sup>5</sup>. Ovviamente questo non è solo un problema per il paziente o per il medico, ma anche un problema sociale se si vanno a stimare i costi di gestione medico-chirurgica di una pseudoartrosi. Studi mirati hanno cercato di dare una dimensione al problema<sup>6,7</sup>; è stato calcolato, ad esempio, che nel Regno Unito ci sono circa 850.000 fratture per anno, di cui il 5-10% va incontro a pseudoartrosi. Considerando che il costo medio delle cure per pseudoartrosi varia tra i 7000 e 79.000 pounds e prendendo il limite inferiore di casi di pseudoartrosi, avremo una spesa annua di circa 297.500.000 pounds, che convertiti in euro sarebbero circa 339.073.844.

Anche se un chirurgo esperto, attraverso le conoscenze e l'esperienza in materia maturate in anni di lavoro, può dare una stima dei tempi di guarigione di una frattura di tibia, è indiscutibile che questo rappresenti un parere, per quanto autorevole, soggettivo e comunque non riproducibile.

Vista la dimensione del problema, la comunità scientifica ha negli anni lavorato studiando il processo di guarigione ossea nelle sue diverse fasi, focalizzando l'attenzione

sulle condizioni necessarie perché questa possa avvenire e individuando i fattori che possono favorirla o influenzarla negativamente. Ad esempio, il *Diamond concept* di Giannoudis<sup>8</sup> individua quali sono le condizioni necessarie per portare a guarigione la frattura: la stabilità meccanica, la presenza di cellule ossee progenitrici e di fattori di crescita, oltre che di scaffold osteoconduttivi. In particolare, nelle versioni più recenti<sup>9</sup> l'autore ha dato maggiore rilievo alla vascularizzazione e ai fattori relativi al paziente. Molteplici studi si sono concentrati proprio sui fattori che influenzano negativamente la guarigione, dividendoli tra quelli legati alla frattura (ad esempio frattura chiusa/esposta, grado di esposizione, localizzazione, diastasi dei monconi) e quelli legati al paziente (fumo, BMI, utilizzo di FANS, ecc.)<sup>1,10</sup>; tra questi uno studio basato sull'evidenza scientifica<sup>11</sup> ha individuato quelli che avevano un livello di evidenza di primo o secondo livello. Da questo scaturisce uno score che cerca di individuare le condizioni a rischio a sei settimane dall'intervento chirurgico su una frattura di femore e di tibia, con la possibilità di provare a intervenire precocemente<sup>12</sup>. Stessa funzione ha un altro score, il NURD (*Nonunion Risk Determination Score*), che in 9 item cerca di individuare le percentuali di sviluppo di non union<sup>13</sup>. Gli autori concludono scrivendo che per validare il modello sarebbero stati necessari degli studi prospettici.

Il *Fracting score* è invece il risultato di uno studio prospettico, multicentrico a cui hanno partecipato 41 centri italiani. Nel 2006 il gruppo di lavoro, partendo da una revisione della letteratura e dall'esperienza clinica, ha individuato i fattori che potrebbero influire sul tempo di guarigione di una frattura di tibia. In seguito è stato creato un apposito software per la raccolta retrospettiva dei dati e dei fattori di rischio specifici, cominciata nel 2007 e terminata nel 2009, presso le unità operative di Ferrara, Pavia e Roma.

Il software è stato poi rivisto sulla base delle esigenze sorte nella pratica clinica e nel 2010 è iniziata quindi la raccolta dei casi clinici PROSPETTICA; l'efficacia dei fattori di rischio e di una loro possibile interdipendenza, prima di allora non era stata mai stata verificata in uno studio prospettico. Questo progetto, sviluppato sull'evoluzione dell'Algoritmo Rischio Ritardo Consolidazione Ossea (ARRCO) dello studio retrospettivo, restituisce un valore di score detto *Fracting (Fracture Healing)* score che è stato calcolato sulla base dei dati, raccolti in modo prospettico e delle loro interdipendenze<sup>5</sup>. Nella selezione dei casi tra le fratture di tibia furono escluse quelle articolari pure, le fratture patologiche, quelle malleolari e pazienti con patologie autoimmuni o inferiori a 18 anni di età. Sono stati inclusi nel database 414 pazienti, in seguito rimasti 363 per la perdita di 51 casi fase di follow-up. Vennero poi definiti i criteri di guarigione clinica (assenza di dolore e carico libero) e radiografica (callo osseo visibile in tre o quattro corticali), mentre il ritardo di consolidazione veniva stabilito in un tempo maggiore di 180 giorni e la mancata guarigione in un tempo maggiore a 12 mesi, o in caso di reintervento chirurgico. Sono stati raccolti poi i dati divisi in quattro gruppi tematici: riguardanti la storia del paziente, la morfologia della frattura, il trattamento e la guarigione in tutto per un totale di 110 dati per paziente. Di questi dati analizzati nel software, 20 parametri sono risultati significativi e a questi è stato dato un valore da 0 a 1 nel caso fossero considerate variabili dicotomiche, e da 1 a 4 in caso di varianti categoriche con un punteggio crescente all'aumentare della gravità. Sommando i vari punteggi si ottiene un valore da 3 a 18, che è appunto il *Fracting score*. Tale punteggio ha permesso l'individuazione di finestre temporali con percentuali di guarigione differenti: ad esempio, per uno score pari a 5 si osserva che oltre il 40% dei pazienti è

andata a guarigione entro i tre mesi e solo il 10% oltre i sei; al contrario, con uno score maggiore di 9, a tre mesi la percentuale di pazienti guariti è uguale a zero e oltre 60% va a guarigione oltre sei mesi. Interessante nell'analisi dei dati è la presenza di uno spartiacque nel passaggio tra uno score minore/uguale a 7 o maggiore/uguale a 8. Tra questi due valori vicini esiste in realtà un tempo di guarigione medio che passa da 128 giorni a 165 per un aumento del 29%.

### Che prospettive di impiego può avere il *Fracting score*?

Per prima cosa cercare di dare una risposta che abbia delle basi scientifiche alla domanda apposta dal paziente e cioè guarirò e in quanto tempo guarirò. Si tratta quindi di informare il paziente che da subito è reso edotto sulla sua condizione, sul possibile ritardo di guarigione e sulla possibilità di futuri interventi o di ulteriori trattamenti. Addirittura, si potrebbe considerare di far menzione del punteggio e delle probabilità di ritardo di guarigione in cartella, a dimostrazione di una buona pratica clinica. Per il medico potrebbe essere uno spunto perseguire più strettamente l'evoluzione della frattura con follow-up più ravvicinati e legittimerebbe, da un punto di vista scientifico, anche l'utilizzo di trattamenti terapeutici, che possono essere di tipo farmacologico (teriparatide, bifosfonati, ecc.) oppure la medicina rigenerativa (BMP, PRP, MRC) e la stimolazione biofisica (CEMP, CCEF, LIPUS). Infine, il *Fracting score* potrebbe essere la base per disegnare degli studi clinici che analizzino l'impatto di un intervento terapeutico nel ridurre i tempi di guarigione rispetto a quanto previsto dal calcolo iniziale. Un aspetto molto importante nell'utilizzo del *Fracting score* è la praticità e la rapidità con cui può essere calcolato attraverso un'app-

posita app. Questa app (Fig. 1), scaricabile attraverso i canali comuni, gratuita e senza bisogno di registrazione, permette di ottenere in breve un punteggio rispondendo alle domande riguardanti il paziente, la frattura e il tipo di trattamento (Fig. 2). Alla fine, si otterrà una schermata col punteggio e finestre temporali con le percentuali di guarigione (Fig. 3).

Concludendo, con il *Fracting score* il chirurgo può informare il paziente sulla sua condizione, legittimare la scelta di nuovi controlli e ulteriori trattamenti che siano essi farmacologici, biologici o con stimolazione biofisica. Quindi il paziente a rischio non sarà più identificato sulla base dell'esperienza, in qualche modo "evanescente", ma attraverso un'analisi multifattoriale e ci fornisce un risultato oggettivo e affidabile.

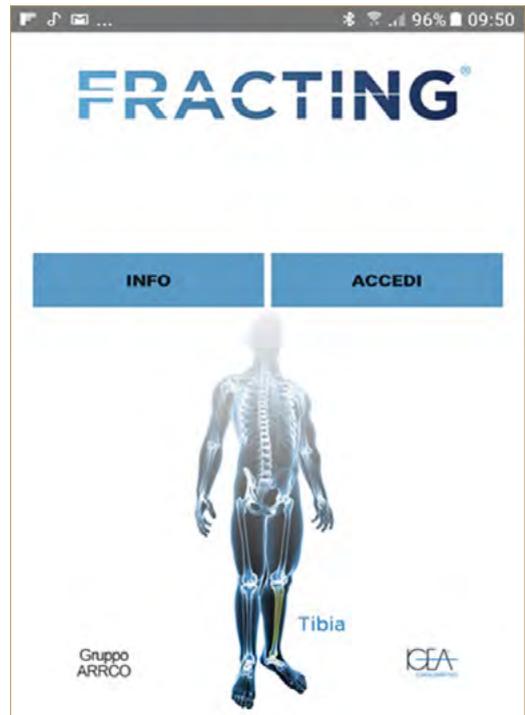


Figura 1. Schermata iniziale dell'app *Fracting*.

Scheda Paziente

Nome: A

Cognome: F

Data intervento: 29/03/2018

Età: 74

Fumatore:

Diabetico:

Malnutrito:

Assume FANS:

Frattura di sola tibia:

Localizzazione della frattura: Distale

Tipo di frattura: Esposta >5 cm

Classificazione AO: A2-C3

Perdita di sostanza ossea:

Perdita ematica prima dell'intervento (Hb<10 g/dl):

Durata intervento chirurgico > 200 minuti:

Perdita ematica durante l'intervento (Hb<10 g/dl):

Mezzo di fissazione: Fissatore esterno

Salva Score

**Figura 2.** Schermata con i quesiti a cui rispondere da cui saturirà il *Fracting score*.



**Figura 3.** Schermata col punteggio ottenuto e finestre temporali con le percentuali di guarigione.

## Bibliografia

- Audigé L, Griffin D, Bhandari M, et al. Path analysis of factors for delayed healing and nonunion in 416 operatively treated tibial shaft fractures. *Clin Orthop Relat Res* 2005;438:221-232. <https://doi.org/10.1097/01.blo.0000163836.66906.74>
- Milgram JW. Nonunion and pseudarthrosis of fracture healing. A histopathologic study of 95 human specimens. *Clin Orthop Relat Res* 1991;268:203-213. PMID: 2060209
- Watson-Jones R, Coltart WD. Slow union of fractures with a study of 804 fractures of the shafts of the tibia and femur. *Clinic Orthop Relat Res* 1982;168:2-16.
- Hannu TA, Shunmugam G, Amratlal DP. Recombinant human bone morphogenetic protein-2: a randomized trial in open tibial fractures treated with reamed nail fixation. *J Bone Joint Surg Am* 2011;93:801-808. <https://doi.org/10.2106/JBJS.I.01763>
- Massari L, Benazzo F, Falez F, et al. Can clinical and surgical parameters be combined to predict how long it will take a tibia fracture to heal? A prospective multicentre observational study: the FRACTING Study. *Biomed Res Int* 2018;2018:1809091. <https://doi.org/10.1155/2018/1809091>
- Antonova E, Le TK, Burge R, et al. Tibia shaft fractures: costly burden of nonunions. *BMC Musculoskelet Disord* 2013;14:42. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-14-42>
- Mills LA, Hamish A, Simpson RW. The relative incidence of fracture non-union in the Scottish population (5.17 million): a 5-year epidemiological study. *BMJ Open* 2013;3:e002276. <https://doi.org/10.1136/bmjopen-2012-002276>
- Giannoudis PV, Einhorn TA, Marsh D. Fracture healing: the diamond concept. *Injury* 2007;38(Suppl 4):S3-6. [https://doi.org/10.1016/s0020-1383\(08\)70003-2](https://doi.org/10.1016/s0020-1383(08)70003-2)
- Andrzejowski P, Giannoudis PV. The 'diamond concept' for long bone non-union management. *J Orthop Traumatol* 2019;20:21. <https://doi.org/10.1186/s10195-019-0528-0>
- Bhandari M, Tornetta P III, Sprague S, et al. Predictors of reoperation following operative management of fractures of the tibial shaft. *J Orthop Trauma* 2003;17:353-361. <https://doi.org/10.1097/00005131-200305000-00006>
- Santolini E, West R, Giannoudis PV. Risk factors for long bone fracture non-union: a stratification approach based on the level of the existing scientific evidence. *Injury* 2015;46(Suppl 8):S8-S19. [https://doi.org/10.1016/S0020-1383\(15\)30049-8](https://doi.org/10.1016/S0020-1383(15)30049-8)

- <sup>12</sup> Santolini E, West RM, Giannoudis PV. Leeds-Genoa non-union index: a clinical tool for assessing the need for early intervention after long bone fracture fixation. *Int Orthop* 2020;44:161-172. <https://doi.org/10.1007/s00264-019-04376-0>
- <sup>13</sup> O'Halloran K, Coale M, Costales T, et al. Will my tibial fracture heal? Predicting nonunion at the time of definitive fixation based on commonly available variables. *Clin Orthop Relat Res* 2016;474:1385-1395. <https://doi.org/10.1007/s11999-016-4821-4>

# TERAPIE ADIUVANTI: QUALI, QUANDO, COME E PER QUANTO TEMPO

Francesco Rifino, Lorenzo Moretti, Teresa Ladogana, Federica Albano,  
Davide Bizzoca, Biagio Moretti

*Dipartimento SMBNOS, UO Ortopedia eTraumatologia, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro", Policlinico di Bari, Bari*

## Introduzione

Le fratture esposte si caratterizzano per la comunicazione diretta tra il focolaio di frattura e l'ambiente esterno; solitamente sono conseguenti a eventi traumatici ad alta energia. Ci sono quattro parametri da prendere in considerazione in questo tipo di lesioni:

- la tipologia di frattura;
- le lesioni dei tessuti molli;
- la compromissione neurovascolare;
- la contaminazione.

Da un punto di vista ortopedico rappresentano un'urgenza e vanno approcciate in più passaggi. In primo luogo, una stabilizzazione temporanea della frattura con accurati debridement seriati della ferita, volta soprattutto a evitare l'infezione; successivamente, a condizioni stabilizzate del paziente, si procede alla sintesi definitiva con ricostruzione precoce della cute e dei tessuti molli. Sono dunque delle lesioni che richiedono un'equipe multidisciplinare, che includa chirurghi ortopedici, chirurghi plastici, fisioterapisti e altre figure come l'infettivologo, il cui ruolo è di fondamentale importanza nell'approccio farmacologico, rimanendo l'infezione uno dei rischi principali di questi traumi <sup>1</sup>.

Tra le complicanze ricordiamo anche i ritardi di consolidazione e le pseudoartrosi;

quest'ultima avviene soprattutto nelle lesioni con perdita di tessuto. Tutto ciò implica trattamenti chirurgici, a volte anche seriati, con innesti ossei (es. l'osso autologo di cresta iliaca è la strategia più frequente) o, in casi più complessi, altre tecniche specializzate come la tecnica Masquelet <sup>2</sup>, innesti vascolarizzati o l'osteogenesi in distrazione con fissatori esterni.

È fondamentale tener presente che nella pratica ortopedica, l'attività osteogenetica per il consolidamento di una frattura viene continuamente a scontrarsi con problemi di ordine meccanico e biologico. Oggi si parla infatti di ortobiologia, un settore innovativo della medicina rigenerativa che consente un nuovo approccio terapeutico finalizzato alla rigenerazione biologica del tessuto, anziché alla sua sola sostituzione. I sostituti ossei di nuova generazione non fungono più solo da supporto alla neoformazione del tessuto, ma veicolano uno stimolo biomolecolare, che possiede capacità sia osteoinduttive sia osteoconduttive (Tab. I) <sup>3</sup>.

Tra le diverse terapie adjuvanti nel settore dell'ortobiologia, oggi giorno ci vengono offerte varie soluzioni, da quelle farmacologiche, biologiche, all'ingegneria tissutale, fino alla stimolazione biofisica, attuata tramite specifici dispositivi medicali.

**Tabella I.** Tipologie di sostituti ossei e loro proprietà.

Graft	Osteoconduttiva	Osteoinduttiva	Osteogenetica	Stabilità
Autologo	+	+	+	+
Allogénico	+	(+)		+
Xenogenico	+			
Sintetico	+			
RIA	+	+	+	
BMP-2		++		
PDGF		+		
PLT		+		
MSC			+	
BMA			+	

RIA: reamer-irrigator-aspirator; BMP: bone morphogenetic protein; PDGF: platelet derived growth factor; PLT: platelet-enriched therapy; MSC: mesenchymal stem cells; BMA: bone marrow aspirate

Spesso si osserva un utilizzo combinato e strategico di queste terapie adiuvanti per attivare la rigenerazione ossea.

## Stimolazione biofisica del tessuto osseo

La stimolazione biofisica è un'area scientifica interdisciplinare che studia l'interazione tra le energie fisiche non-ionizzanti e l'organismo, al fine di modificare le sue reazioni biologiche locali mediante metodi e teorie proprie della fisica. Gli effetti biologici di questi stimoli fisici sono fortemente dipendenti dai parametri impiegati: frequenza, ampiezza, forma d'onda del segnale e durata di trattamento. La stimolazione biofisica applica i principi fondamentali della ricerca farmacologica e ne adotta le metodiche; in particolare studia la specificità dei segnali, ne indaga il meccanismo d'azione, le vie metaboliche interessate e ne valuta l'impiego in tutte quelle condizioni patologiche in cui il meccanismo d'azione individuato è rilevante per la cura.

In ambito clinico si possono utilizzare 3 metodiche di stimolazioni biofisiche non invasive:

- induttiva (PEMF, *Pulsed Electromagnetic Field*);
- capacitiva (CCEF, *Capacitively Coupling Electric Field*);
- a ultrasuoni (LIPUS, *Low Intensity Pulsed Ultrasound*).

La *Food and Drug Administration* ha riconosciuto alla stimolazione biofisica un'attività terapeutica capace di far aumentare la produzione endogena di fattori di crescita, quali le proteine morfogenetiche del tessuto osseo (es. BMP-2,-7, TGF $\beta$ 1) <sup>4</sup>. Studi *in vitro* dimostrano che è in grado di favorire l'espressione genica e di promuovere la sintesi di proteine della matrice extracellulare, portando a un'accelerazione dei processi riparativi <sup>5</sup> e di indurre il differenziamento osteogenico delle cellule staminali mesenchimali, sia di origine midollare che di origine adiposa <sup>6,7</sup>.

Gli effetti *in vitro* si traducono *in vivo* in un aumento significativo della velocità di neodeposizione ossea. In un modello di osteogenesi riparativa su fori transcorticali di 4,5 cm di diametro nella diafisi e metafisi distale del metacarpo III di cavallo, i risultati istologici dimostrano che la stimolazione biofisica au-

menta la quantità di osso neodeposto all'interno del foro dal 40 al 120% in più rispetto ai controlli <sup>8,9</sup>. A 30 giorni dall'intervento la velocità di mineralizzazione all'interno dei fori è doppia negli arti trattati, rispetto a quelli di controllo.

L'efficacia clinica è stata ampiamente studiata in Europa e riconosce diversi campi di applicazione in traumatologia, con percentuali di successo che variano dal 70 al 90%. Le principali indicazioni cliniche sono:

- ritardo di consolidazione e pseudoartrosi atrofica dopo fratture e osteotomie;
- pseudoartrosi infette;
- fratture recenti a rischio (fratture esposte, severo danno dei tessuti molli);
- fratture da stress;
- osteointegrazione biomateriali (protesi);
- fratture vertebrali.

Recenti review e meta-analysis su studi randomizzati con gruppo controllo sull'effetto della stimolazione biofisica in pazienti con lesioni ossee (fratture recenti, ritardi di consolidazione, pseudoartrosi, osteotomie, ecc.) hanno dimostrato come la percentuale di guarigione nel gruppo stimolato sia dell'80%, rispetto al 64% nel gruppo di controllo <sup>10,11</sup>. Inoltre, la stimolazione biofisica accelera significativamente del 30% il processo di guarigione e risolve la sintomatologia algica.

Spesso la stimolazione biofisica viene associata all'intervento chirurgico, quando la presenza di uno o più fattori di rischio, legati alle caratteristiche del paziente, alla tipologia di frattura e al mezzo di sintesi adottato, possono compromettere la guarigione o ritardarne i tempi. Cebrian <sup>12</sup> riporta una percentuale di successo del 91% in quei pazienti con frattura di tibia e trattati sia con chiodo endomidollare che stimolati, rispetto all'80% dei pazienti trattati solo chirurgicamente, con un accorciamento significativo dei tempi di consolidazione di 2 mesi nel gruppo stimolato rispetto al controllo solo chirurgico ( $p < 0,05$ ). Shi <sup>13</sup> mise in evidenza che nei ritardi di consolidazione e nelle pseudoartro-

si, tanto prima viene applicata la stimolazione biofisica, tanto più alte possono essere le percentuali di successo (77,4 vs 48,1%,  $p < 0,029$ ).

La stimolazione biofisica riveste un ruolo importante anche nelle riparazioni delle lesioni dei tessuti molli. Studi clinici su lesioni cutanee, acute o croniche, e su guarigione di ulcere cutanee di origine venosa o conseguenti a decubiti hanno chiaramente delineato l'effetto della stimolazione biofisica favorente la guarigione in aggiunta alle terapie mediche e alle medicazioni tradizionali <sup>14</sup>.

La stimolazione biofisica non è da confondere con la generica magnetoterapia, ossia con quei dispositivi medici presenti in commercio, ma privi di validazione scientifica, la cui credibilità si basa semplicemente sull'aneddotica. Questi sono dispositivi operatori dipendenti, che utilizzano stimoli fisici con le più disparate indicazioni che vanno dalla pseudoartrosi, al torcicollo, alla flebite fino addirittura alla cellulite. Ciò contrasta con quanto validato dalla comunità scientifica internazionale e in particolare quella italiana, che ha individuato il meccanismo d'azione attraverso cui l'immissione di un'energia fisica è in grado di favorire e regolare la riparazione del tessuto osseo e cartilagineo <sup>15</sup>. La comunità ortopedica italiana ha identificato tempi e modi di somministrazione, definito le indicazioni d'uso e sviluppato protocolli d'impiego clinico. La stimolazione biofisica viene somministrata, analogamente alla somministrazione di un farmaco, con un opportuno dosaggio di trattamento, ma locale e privo di effetti collaterali. Proprio per questo motivo alla stimolazione biofisica è stato dato il nome di *soft pharmacology*.

## Ingegneria tissutale e stimolazione biofisica

Le tecniche di ingegneria tissutale hanno lo scopo di superare le attuali limitazioni dei

**Tabella II.** Tipologie di scaffolds.

Scaffolds	Nome
<b>Polimerici naturali</b>	Chitosan, Collagen, Gelatin, Silk, Fibrin, Alginate, Chitosan, HyaluronanCoral (hydroxyapatite)
<b>Polimerici sintetici biodegradabili</b>	Polylactic acid, Polyglycolic acid (vicryl), Poly (lactic-co-glycolicacid), Polycaprolactone, Polyhydroxyalkanoate, Polyurethane
<b>Bioceramica</b>	Hydroxyapatite, $\beta$ -TCP, BCP, Calcium sulfate (plaster of Paris), Octacalcium phosphate, Bioglass
<b>Derivati matrice extracellulare</b>	Demineralized bone matrix (DBM), Small intestine sub-mucosa (SIS), Skin, Dermis, Fascia, Pericardium
<b>Altri</b>	Collagen-glycosaminoglycan, Collagen-hydroxyapatite, Gelatin-hyaluronan, Hyaluronan- polycaprolactone, Polycaprolactone-polyurethane

trattamenti chirurgici tradizionali, cercando di rigenerare un tessuto funzionalmente efficace nell'area del difetto osseo. Esse richiedono una fase iniziale di coltura *in vitro* di osteoblasti o di *Mesenchymal Stem Cells* (MSCs), in presenza di una matrice extracellulare (ECM) naturale o sintetica, da impiantare successivamente nell'area della lesione (Tab. II). Gli scaffolds dovrebbero essere in grado di favorire la proliferazione cellulare, la colonizzazione e la sintesi di ECM da parte delle cellule coltivate. La preparazione del tessuto bio-ingegnerizzato *in vitro* deriva dalla combinazione di questi biomateriali e di cellule, la cui attività può essere influenzata dall'aggiunta di molecole segnale, come ad esempio fattori di crescita (TGF- $\beta$ 1, BMP-2) o modulata da stimoli biofisici. *In vitro*, infatti la stimolazione biofisica si è dimostrata efficace nel promuovere il differenziamento osteoblastico di MSC, aumentare la proliferazione cellulare, incrementare le attività anaboliche degli osteoblasti e la sintesi della ECM<sup>16</sup>; *in vivo*, una volta impiantato il costrutto, favorisce l'attività anabolica delle cellule impiantate e del tessuto circostante, aumentandone la quantità, migliorandone le proprietà meccaniche e inibendo i processi catabolici indot-

ti dall'infiammazione, che spesso si accompagna all'intervento chirurgico (Fig. 1)<sup>17,18</sup>.

### Protocollo di trattamento della stimolazione biofisica

La stimolazione biofisica non va somministrata sempre, ma solo in presenza di una frattura adeguatamente allineata e meccanicamente stabile, con un gap osseo che misuri meno della metà del diametro dell'osso stesso<sup>19</sup>. In caso contrario, è prioritario ripristinare i criteri di stabilità meccanica attraverso una revisione chirurgica, con o senza innesto osseo. Solo successivamente si procederà con la stimolazione del neoimpianto (Fig. 2). La stimolazione potrà essere iniziata non prima di 3-5 giorni dal trattamento definitivo e ciò corrisponde al termine della fase pro-infiammatoria del processo di guarigione di una frattura.

La stimolazione biofisica per rigenerare il tessuto osseo richiede un utilizzo minimo di 6 ore/die di terapia, per almeno 1-2 mesi. Il paziente non deve avere possibilità di attuare modifiche al dispositivo medico validato scientificamente, motivo per cui deve possedere un solo tasto per l'accensione e lo spegnimento; tutto



**Figura 1.** Rappresentazione schematica dell'utilizzo della stimolazione biofisica in presenza di metodica di ingegneria tissutale, *in vitro* e in clinica.

ciò per evitare di comprometterne la sicurezza di base, modificarne il protocollo di trattamento (frequenza, intensità di segnale, forma d'onda) e le prestazioni essenziali.

## Conclusioni

Nel complesso, l'esperienza internazionale è coerente e positiva sull'impiego della stimolazione biofisica nel trattamento dell'osteogenesi riparativa endogena, in presenza o meno di un tessuto ingegnerizzato, e un ruolo fondamentale lo riveste per attivare o finalizzare il processo di consolidazione di fratture esposte. Un'ampia review del 2019, condotta dalla comunità ortopedica italiana, ha riassunto lo stato dell'arte e gli sviluppi futuri della stimolazione biofisica nel trattamento delle patologie ossee e cartilaginee, evidenziando come gli studi italiani abbia-

no apportato un contributo sostanziale alla conoscenza e utilizzo della terapia<sup>20</sup>. La comunità ortopedica ha sviluppato una sensibilità verso l'ambiente biologico, nel quale avviene l'attività di riparazione di una frattura, tenendo presente che, se è vero che l'instabilità meccanica può impedire l'unione, non si deve dimenticare che la guarigione di una frattura può essere il risultato dell'attività cellulare locale. Ad oggi, la stimolazione biofisica è un'importante terapia a disposizione del chirurgo ortopedico, la quale dovrebbe sempre essere adottata in presenza di una frattura che tarda a guarire, pur essendo meccanicamente stabile, con monconi frattura allineati e a contatto. Inoltre, il trattamento integrato, chirurgico e biofisico, si è dimostrato essere una valida scelta, fin da subito, in quelle fratture esposte, in concomitanza con fattori di rischio, che potrebbero farle evolvere in una mancata consolidazione.



**Figura 2.** Donna di 48 anni. A) frattura ad alta energia per trauma stradale di femore e tibia omolaterale destra. Frattura tibia 42A2 Gustilo 1. Frattura femore: 31A3; B) trattate entrambe le fratture con placche per ripristinare rotazione e lunghezza dell'arto. Inizia stimolazione biofisica, in entrambi i focolai di frattura, 6 ore/die per 2 mesi; C) follow-up a 4 mesi. Abbandono progressivo stampelle; D) follow-up a 8 mesi. Carico libero; E) follow-up a 20 mesi rimozione mezzi di sintesi.

## Bibliografia

<sup>1</sup> Halawi MJ, Morwood MP. Acute management of open fractures: an evidence-based review.

Orthopedics 2015;38:e1025-1033. <https://doi.org/10.3928/01477447-20151020-12>

<sup>2</sup> Alford AI, Nicolaou D, Hake M, et al. Masquelet's induced membrane technique: review of current

- concepts and future directions. *J Orthop Res* 2021;39:707-718. <https://doi.org/10.1002/jor.24978>
- 3 Donati D, Zolezzi C, Tomba P, et al. Bone grafting: historical and conceptual review, starting with an old manuscript by Vittorio Putti. *Acta Orthop* 2007;78:19-25. <https://doi.org/10.1080/17453670610013376>
  - 4 Waldorff EI, Zhang N, Ryaby JT. Pulsed electromagnetic field applications: a corporate perspective. *J Orthop Translat* 2017;9:60-68. <https://doi.org/10.1016/j.jot.2017.02.006>
  - 5 Sollazzo V, Scapoli L, Palmieri A, et al. Early effects of pulsed electromagnetic fields on human osteoblasts and mesenchymal stem cells. *European Journal Of Inflammation* 2011;1,1(S):95-100.
  - 6 Ongaro A, Pellati A, Bagheri L, et al. Pulsed electromagnetic fields stimulate osteogenic differentiation in human bone marrow and adipose tissue derived mesenchymal stem cells. *Bioelectromagnetics* 2014 Sep;35.
  - 7 Bagheri L, Pellati A, Rizzo P, et al. Notch pathway is active during osteogenic differentiation of human bone marrow mesenchymal stem cells induced by pulsed electromagnetic fields. *J Tissue Eng Regen Med* 2018;12:304-315.
  - 8 Cané V, Botti P, Farneti D, et al. Electromagnetic stimulation of bone repair: a histomorphometric study. *J Orthop Res* 1991;9:908-917.
  - 9 Canè V, Botti P, Soana S. Pulsed magnetic fields improve osteoblast activity during the repair of an experimental osseous defect. *J Orthop Res* 1993;11:664-670.
  - 10 Peng L, Fu C, Xiong F, et al. Effectiveness of pulsed electromagnetic fields on bone healing: a systematic review and meta-analysis of randomized controlled trials. *Bioelectromagnetics* 2020;41:323-337. <https://doi.org/10.1002/bem.22271>
  - 11 Mansourian M, Shanei A. Evaluation of pulsed electromagnetic field effects: a systematic review and meta-analysis on highlights of two decades of research in vitro studies. *Biomed Res Int* 2021;2021:6647497. <https://doi.org/10.1155/2021/6647497>
  - 12 Cebrián JL, Gallego P, Francés A, et al. Comparative study of the use of electromagnetic fields in patients with pseudoarthrosis of tibia treated by intramedullary nailing. *Int Orthop* 2010;34:437-440
  - 13 Shi HF, Xiong J, Chen YX, et al. Early application of pulsed electromagnetic field in the treatment of postoperative delayed union of long-bone fractures: a prospective randomized controlled study. *BMC Musculoskelet Disord* 2013;14:35. <https://doi.org/10.1186/1471-2474-14-35>
  - 14 Ieran M, Zaffuto S, Bagnacani M, et al. Effect of low frequency pulsing electromagnetic fields on skin ulcers of venous origin in humans: a double-blind study. *J Orthop Res* 1990;8:276-282.
  - 15 Massari L, Benazzo F, Moretti B, et al.; Focus Group Ortopedia. Impiego clinico della stimolazione elettrica in ortopedia e traumatologia. The use of electrical stimulation in traumatology and orthopaedic practice. *Giornale Italiano di Ortopedia e Traumatologia*. 2017;43:105-106.
  - 16 Bloise N, Patrucco A, Bruni G, et al. In vitro production of calcified bone matrix into wool keratin scaffolds via osteogenic factors and electromagnetic stimulus. *Materials* 2020;13:3052. <https://doi.org/10.3390/ma13143052>
  - 17 Fini M, Cadossi R, Cane V, et al. The effect of pulsed electromagnetic fields on the osteointegration of hydroxyapatite implants in cancellous bone: a morphologic and microstructural in vivo study. *J Orthop Res* 2002;20:756-763.
  - 18 Fini M, Pagani S, Giavaresi G, et al. Functional tissue engineering in articular cartilage repair: is there a role for electromagnetic biophysical stimulation? *Tissue Eng Part B Rev* 2013;19:353-367.
  - 19 Cadossi R, Traina CG, Massari L. Electric and magnetic stimulation of bone repair: review of the European experience. In: Aaron RK, Bolander ME, Eds. *Symposium of physical regulation of skeletal repair*. Rosemont, Ill: American Academy of Orthopaedic Surgeons 2005, pp. 37-51.
  - 20 Massari L, Benazzo F, Falez F, et al. Biophysical stimulation of bone and cartilage: state of the art and future perspectives. *Int Orthop* 2019;43:539-551. <https://doi.org/10.1007/s00264-018-4274-3>

# SINTESI DEFINITIVA, QUANDO E COME

Giovanni Vicenti, Guglielmo Ottaviani, Filippo Simone, Biagio Moretti

*UOC Ortopedia e traumatologia, Policlinico di Bari, Università degli Studi di Bari "Aldo Moro", Bari*

Il trattamento definitivo delle fratture esposte è da sempre considerato una sfida per il chirurgo ortopedico. La principale fonte di difficoltà è data dall'elevato rischio infettivo associato a questo tipo di traumi.

Le condizioni cliniche del paziente (spesso precarie), le vie d'accesso frequentemente contaminate dal tramite dell'esposizione e la possibile presenza di un deficit osseo "critico" condizionano drasticamente le scelte del medico.

Considerato che l'obbiettivo principale del chirurgo, quando si appropria a trattare questo tipo di fratture, deve essere innanzi tutto quello di salvare la vita del paziente e, solo successivamente, il salvataggio dell'arto e, infine, il ripristino della funzione, diventa fondamentale la conoscenza di quelle che vengono definite "finestre di opportunità", in cui è possibile effettuare il trattamento definitivo senza causare un decadimento delle condizioni generali del paziente.

Storicamente, i pazienti che subivano un trauma maggiore venivano immobilizzati a letto per lunghi periodi, a volte anche settimane. I pazienti venivano considerati troppo compromessi per essere operati in acuto e si preferiva dunque attendere il miglioramento delle loro condizioni cliniche prima di eseguire il trattamento definitivo. Questo atteggiamento attendista causava, tuttavia, un aumento dell'incidenza delle complicanze causate dall'allettamento prolungato, in particolare a carico del sistema

respiratorio. Per questo motivo, a partire dagli anni '80, venne proposta la *early stabilization*, ossia la sintesi definitiva delle fratture in acuto, nelle prime 24 h. Bone et al.<sup>1</sup> pubblicarono nel 1989 sul JBJS i risultati di uno studio prospettico randomizzato su 178 pazienti, confrontando il trattamento definitivo precoce delle fratture di femore (entro le 24 h) con il trattamento ritardato (oltre le 48 h). I risultati si dimostrarono molto promettenti, registrando una diminuzione dei tempi e dei costi di ospedalizzazione nel gruppo operato entro le 24 h e, di contro, un aumento delle complicanze polmonari nei pazienti operati oltre le 48 h. Sulla scia di questo lavoro, numerosi autori decisero di adottare il protocollo di trattamento in acuto delle fratture di femore; tuttavia, dall'applicazione di tale protocollo, emersero risultati contrastanti.

Ecke et al.<sup>2</sup> pubblicarono un lavoro multicentrico su 1127 pazienti, riportando un alto tasso di complicanze polmonari (polmoniti, ARDS) nel gruppo di pazienti trattato entro le 24 h: tali complicanze avevano un'incidenza particolarmente elevata nei pazienti sventi un'età compresa tra i 20 e i 30 anni, dei quali la maggior parte non aveva subito importanti traumi toracici e non possedeva fattori di rischio per lo sviluppo di suddette complicazioni. Divenne quindi chiaro che il timing e il tipo di trattamento giocavano un ruolo fondamentale nell'outcome del paziente.

Solo negli anni successivi, grazie ai progressi della medicina, è stato possibile comprendere a fondo i meccanismi fisiopatologici alla base dello sviluppo di questi outcomes avversi. Ogni lesione traumatica, incluse le fratture, è in grado di attivare una reazione infiammatoria locale e sistemica, caratterizzata dalla liberazione di mediatori e citochine infiammatorie e dall'attivazione macrofagica e di quelli che sono i sistemi di difesa dell'organismo. A tal proposito, nel 1983 venne introdotto il concetto di SIRS (*systemic immune response syndrome*), una condizione clinica caratterizzata da infiammazione sistemica, disfunzione e danno d'organo (MOF). Successivamente, venne coniato l'acronimo CARS (*compensatory anti-inflammatory response*) per descrivere la disattivazione sistemica del sistema immunitario, che avviene allo scopo di ripristinare l'omeostasi a partire da uno stato infiammatorio.

Il decorso clinico di un paziente che ha subito un trauma maggiore è quindi determinato da tre fattori principali: il grado di trauma iniziale, definito *first hit*, la risposta biologica del singolo paziente e il tipo di trattamento chirurgico, *second hit*. La somma di questi tre fattori è in grado di superare la soglia compatibile con la vita e di causare il decadimento delle condizioni generali del paziente fino all'*exitus*. Diventò quindi fondamentale limitare l'impatto del *second hit* chirurgico, unico fattore modificabile, nei pazienti maggiormente compromessi. Tra gli anni '80 e '90 prese piede il concetto di *damage control orthopaedics* (DCO), con riferimento alla stabilizzazione temporanea delle lesioni ossee con tecniche che avessero un limitato impatto traumatico sul paziente (es. fissazione esterna). Questo tipo di trattamento consente un'agevole gestione del paziente durante la sua permanenza nei reparti di terapia intensiva, fino



**Figure 1.** Paziente politraumatizzato sottoposto a *damage control* con fissatore esterno temporaneo.

al miglioramento delle condizioni generali (Fig. 1).

Quindi i pazienti stabili possono essere sottoposti a un *early total care*, mentre i pazienti instabili/critici o in extremis devono essere sottoposti a *damage control orthopaedics*. I pazienti politraumatizzati solitamente sviluppano un circolo vizioso di complicanze (shock emorragico, coagulopatia, ipotermia e danno ai tessuti molli). Questo ciclo di eventi innesca un'alterazione della permeabilità dei vasi, che porta ad alterazioni immunologiche e funzionali (SIRS, MOF). È stato dimostrato che la valutazione di questi parametri può essere utilizzata per decidere il corretto timing della chirurgia definitiva nei pazienti borderline, ossia quelli con valori clinici e laboratoristici intermedi tra i pazienti stabili e quelli critici. Numerosi report hanno dimostrato come l'acidosi metabolica (misurata tramite i lattati, il pH e l'eccesso di basi) sia predittiva del rischio di mortalità e di sviluppo di comorbidità. Questo è vero sia per quanto riguarda i valori di acidosi del paziente al momento dell'ammissione, sia per quanto riguarda il trend durante le procedure rianimatorie. Sulla scia di questi lavori, nel 2014, Vallier et al.<sup>3</sup> hanno introdotto il concetto di *early appropriate care* (EAC), che consiste nel monitoraggio ripetuto di tali parametri in terapia intensiva, al fine di prevedere il rischio di complicanze sistemiche a seguito di trattamento precoce (< 24 h) o ritardato (> 24 h), dividendo i pazienti in alto e basso grado di rischio. Il concetto è stato recentemente aggiornato da Pape et al.<sup>4</sup>, che hanno compreso come ogni paziente presenti una propria dinamica di risposta al trauma e, conseguentemente, la dicotomia tra ETC e DCO non deve essere assoluta, ma il timing del trattamento definitivo deve essere "cucito" sul singolo paziente, poiché ognuno di essi presenta delle caratteristiche differenti.

Quali sono invece le tecniche chirurgiche principali utilizzate per effettuare la sintesi

definitiva? La più importante variabile da tenere in considerazione è la presenza o meno di una perdita di sostanza ossea. Questa può avvenire nel contesto del trauma iniziale oppure nel corso del debridement chirurgico. Il debridement è una procedura chirurgica di importanza fondamentale per ridurre il rischio infettivo delle fratture esposte. Deve essere eseguito nelle prime 24 h, come suggerito dalle linee guida pubblicate nel 2009 dal BOA/BAPRAS<sup>5</sup>, e possibilmente seguito da un *second look* a distanza di 48/72 h. L'importanza della procedura è tale che le linee guida suggeriscono che a eseguirla sia il chirurgo più esperto dell'equipe. I tessuti molli vengono asportati in senso centripeto, seguendo la regola delle 4 "C": Colore, Consistenza, Contrazione e Capacità di sanguinamento. Una tecnica di facile utilizzo per riconoscere i frammenti di osso che devono essere asportati consiste semplicemente nell'afferrarli con uno strumento e trazarli dolcemente; se questi dovessero risultare avulsi dai tessuti molli circostanti la loro rimozione si rende obbligatoria. L'asportazione dei tessuti devascularizzati, che siano essi osso o tessuti molli, è fondamentale per prevenire lo sviluppo di aree di necrosi, che possono agire da *pabulum* per la formazione di focolai infettivi. Solo successivamente al debridement è possibile quindi quantificare il reale deficit osseo e accertare la presenza di un *critical bone defect*, definito come quel difetto osseo di dimensioni tali da non poter essere portato a guarigione senza trattamenti ulteriori<sup>6</sup> (Fig. 2). È a questo punto che il trattamento definitivo si orienta verso due vie opposte; nel caso di assenza di un *critical bone defect*, la sintesi deve seguire i principi AO e quindi: stabilità assoluta e guarigione di prima intenzione per le fratture articolari; stabilità relativa rispettando asse, lunghezza e rotazione per le fratture diafisarie e metafisarie, che saranno invece portate a guarigione per seconda intenzione con



**Figure 2.** *Critical bone defect post-traumatico acuto.*

la formazione di callo osseo. Nel caso in cui sia invece presente un *critical bone defect*, le tecniche disponibili vengono scelte sulla base di un accurato planning pre-operatorio, tenendo in considerazione come parametro fondamentale la dimensione e la sede del difetto.

I difetti ossei più piccoli (1-3 cm) possono essere portati a guarigione in un unico tempo chirurgico, interponendo un graft tra i monconi di frattura. Il graft può essere eterologo, sintetico o, preferibilmente, autologo<sup>7</sup>. Alle ovvie proprietà osteoinduttive, osteoconduttive e osteogeniche bisogna aggiungere la funzione di supporto strutturale. Questo limita la scelta delle sedi di prelievo alla cresta iliaca, possibilmente

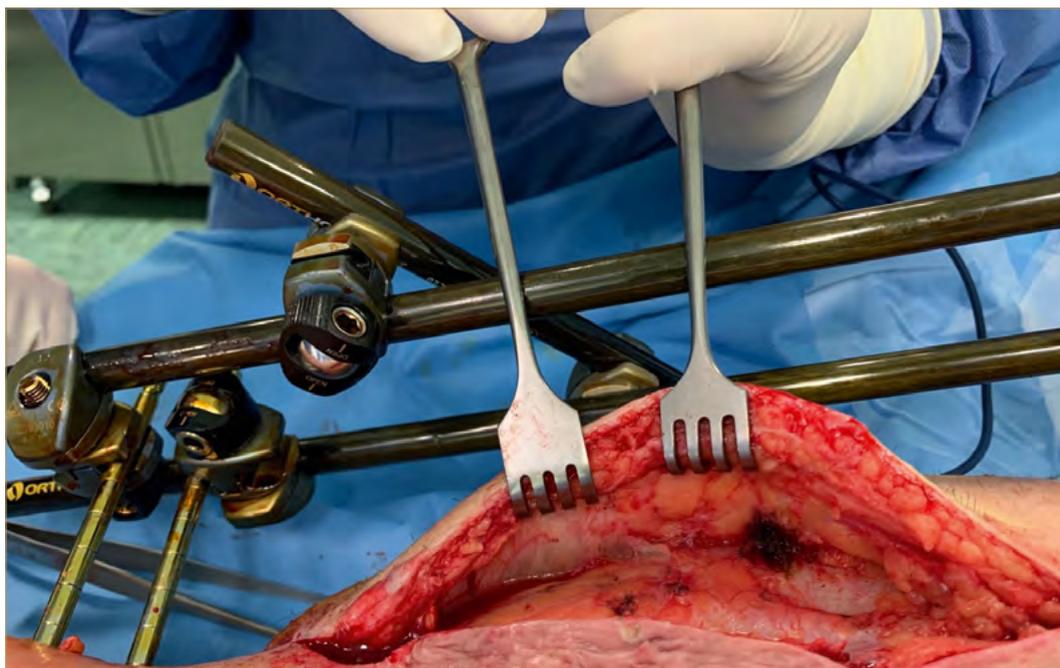
tricorticale, e al perone, che può essere prelevato o meno insieme al suo peduncolo vascolare.

Per quello che invece riguarda i difetti ossei di dimensioni maggiori, le tecniche disponibili sono la Masquelet e l'osteogenesi distrazionale.

La Masquelet è una valida tecnica chirurgica indicata per trattare i difetti ossei diafisari, metafisari e cavitari<sup>8</sup>. La tecnica, introdotta dall'omonimo chirurgo, consiste di due fasi distinte. Nel primo stage, dopo aver eseguito un adeguato debridement dei tessuti molli fino all'esposizione dei tessuti vitali *pari sign*, viene posizionato uno spaziatore in polimetilmetacrilato (PMMA) a colmare il difetto osseo. Lo spaziatore ha molteplici

funzioni: aumenta la stabilità meccanica del sito di frattura, evita che il difetto osseo venga invaso da tessuto fibroso e, soprattutto, consente la formazione della "pseudomembrana" o *induced membrane*, una membrana di tessuto fibrotico, altamente vascolarizzato, che si sviluppa per reazione intorno a un corpo estraneo (Fig. 3). Nonostante la tecnica di Masquelet preveda originariamente l'utilizzo di uno spaziatore non antibiotato, è stato dimostrato che il PMMA può essere additivato con diversi tipi di antibiotici che hanno un differente impatto sullo sviluppo della membrana. Il costrutto viene poi stabilizzato con un fissatore esterno e, se necessario, può essere effettuata la copertura cutanea. La durata dell'intervallo tra i due stage è tuttora dibattuta; la comparsa di cellule staminali rende ideale effettuare il secondo tempo chirurgico tra le 4 e le 6 settimane. Nel secondo step si pro-

cede quindi alla rimozione dello spaziatore e al posizionamento, all'interno della cavità rivestita dalla pseudomembrana, di un graft di tessuto osseo autologo spongioso. In caso di difetti di grandi dimensioni, può essere aggiunto un graft endomidollare prelevato con RIA o anche piccole quantità di sostituto osseo (Fig. 4). Di fondamentale importanza è il preservare l'integrità della pseudomembrana cercando di rimuovere lo spaziatore il più delicatamente possibile. Numerosi studi *in vivo* e *in vitro* hanno infatti dimostrato la sua capacità di produrre fattori di crescita VEGF, TGF-beta 1 e BMP 2, fondamentali per la guarigione del graft <sup>9</sup>. Successivamente all'impianto del graft si procede con la sintesi, che deve conferire elevata stabilità e può quindi essere eseguita con placca, utilizzando un fissatore esterno o possibilmente un chiodo endomidollare <sup>10</sup>. Una metanalisi condotta nel



**Figure 3.** Pseudomembrana.



**Figure 4.** Secondo step, tecnica di Masquelet con inchiodamento endomidollare e innesto prelevato con sistema RIA.

2016 da un gruppo italiano su 17 lavori (tra il 2000 e il 2016) ha analizzato le variabili di 427 pazienti. È stato riportato un tasso di unione del 89,7% con un'eradicazione dell'infezione nel 91,1% in difetti ossei compresi tra 0,6 e 26 cm <sup>11</sup>.

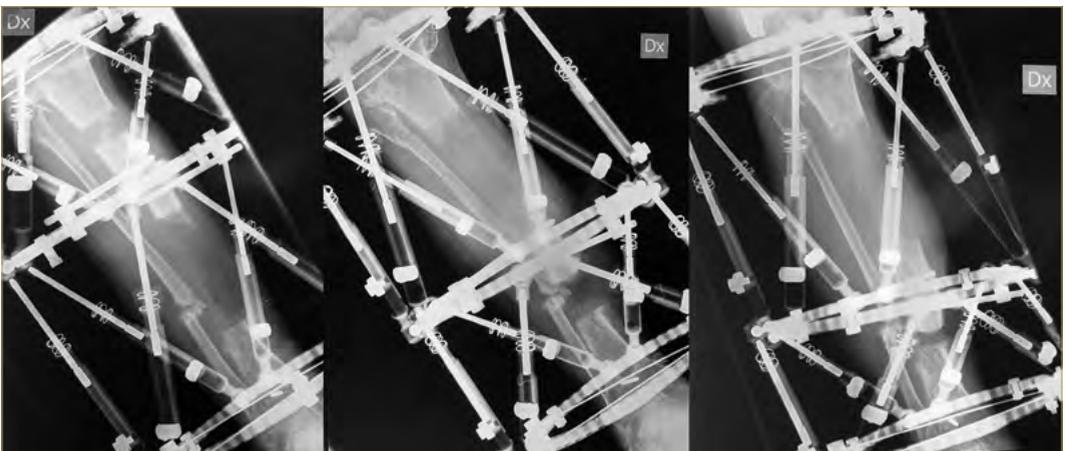
L'altra opzione di trattamento delle fratture esposte con un *critical bone defect* è l'osteogenesi distrazionale, introdotta da Ilizarov nell'Unione Sovietica degli anni '60 <sup>12</sup>. Questa metodica è basata su dei principi biologici proposti dallo stesso autore: stress distrazionale che stimola l'attività biosintetica dei tessuti, adeguato apporto di sangue, correzione graduale con possibilità di controllo continuo (0,75-1,0 mm al giorno in 3 o 4 allungamenti), mobilizzazione e carico precoci. La capacità di attenersi a questi principi fu resa possibile grazie alla progettazione di un fissatore esterno circolare che potesse essere posizionato in maniera mini-invasiva, limitando i danni ai tessuti molli e alla vascolarizzazione. Questo sistema ha subito numerosi aggiornamenti nel corso degli anni, fino ad arrivare ai più moderni fissatori esapodalici che, grazie all'utilizzo di un software dedicato, possono pro-

grammare con facilità tutti gli spostamenti necessari per raggiungere la correzione desiderata. L'introduzione di questa tecnica fu considerata rivoluzionaria e consentì il trattamento di numerose patologie ortopediche tra cui le deformità ossee, le pseudoartrosi e le osteomieliti. Per ciò che riguarda l'utilizzo di questa tecnica nella gestione dei *critical bone defect*, sono presenti numerosi articoli in letteratura che ne comprovano l'efficacia per difetti ossei anche sino a 20 cm. Una fase critica dell'intervento è l'osteotomia, la quale deve essere eseguita preservando al massimo la vascolarizzazione e i tessuti molli circostanti. L'osteotomia non deve quindi essere eseguita utilizzando una sega oscillante, che risulterebbe troppo aggressiva, ma piuttosto degli scalpelli e dei fili di Kirshner cercando di tutelare il periostio, l'endostio e il midollo osseo. Una volta indebolita la struttura dell'osso corticale, l'osteotomia viene conclusa utilizzando lo stesso scalpello come leva, oppure applicando delle forze opposte agli anelli del fissatore <sup>13</sup>. Il focolaio di frattura viene poi posto in compressione per circa 7-10 giorni prima di iniziare la fase di allungamento. Al

termine dell'allungamento, una volta corretto il difetto osseo, ci si trova di fronte a un'altra sfida: la gestione del *docking site*, il punto d'incontro. Nel corso del trasposto, le superfici ossee vanno incontro a un processo di guarigione tramite apposizione di tessuto fibroso, in maniera simile a ciò che avviene in una pseudoartrosi, e i tessuti circostanti possono interpersi tra i monconi di frattura. Questo può rendere difficoltosa l'ossificazione del *docking site*, con conseguente fallimento del sistema. Numerose strategie sono state proposte per ovviare a questo problema <sup>14</sup>. Ilizarov suggerì di utilizzare l'osteogenesi distrazionale anche a questo livello: la tecnica prevede di mettere in compressione il *docking site* e, successivamente, eseguire una distrazione per produrre in rigenerato. Lo stesso veniva poi messo nuovamente in compressione per favorirne la guarigione. Questo metodo è di comprovata efficacia, tuttavia allunga di molto i tempi di mantenimento del fissatore esterno e causa una perdita di tensione dei fili di Kirshner: tutto ciò provoca una diminuzione della compliance del paziente. In altri casi, la mancata guarigione del *docking site* può dipendere da un misma-

tch tra le superfici ossee, che viene causato al momento dell'esecuzione delle osteotomie iniziali, questo può essere prevenuto modellando i monconi e dandogli una forma concava e convessa che, al momento dell'appaiamento, aumenti la superficie di contatto. In caso di ritardo di guarigione del punto d'incontro è stato anche proposto di eseguire delle micro-fratture per via percutanea o di aggiungere il focolaio con innesti di chips ossee, BMP-2, BMP-7, e anche di utilizzare terapie fisiche come campi elettromagnetici pulsati (CEMP) o onde d'urto. L'efficacia di questa tecnica è ormai comprovata e numerosi autori hanno pubblicato i loro risultati in letteratura. Le metanalisi più recenti registrano un tasso di guarigione del 97,26%, con risultati non soddisfacenti in meno del 10% di casi <sup>15</sup>. Il tasso di rifrattura riportato in letteratura è inferiore al 5%, ma aumenta all'aumentare del deficit osseo <sup>16</sup> (Fig. 5).

In conclusione, il trattamento definitivo delle fratture esposte è ancora oggi una sfida per i chirurghi ortopedici. Va attentamente pianificato e bisogna tener conto di quelli che sono gli obiettivi principali del medico. Tra questi, il più importante è sicuramente



**Figura 5.** Trasporto osseo con tecnica di Ilizarov.

preservare la vita del paziente, motivo per il quale l'intervento definitivo deve essere eseguito nel momento in cui il paziente possa rispondere al meglio al *second hit* chirurgico. Le tecniche da utilizzare per la sintesi definitiva sono svariate e il planning va eseguito tenendo conto delle dimensioni del deficit osseo. Queste tecniche sono spesso complesse e necessitano di numerosi controlli distribuiti nel tempo, tuttavia, quando eseguite da chirurghi esperti, garantiscono frequentemente ottimi risultati funzionali.

## Bibliografia

- 1 Bone LB, Johnson KD, Weigelt J, et al. Early versus delayed stabilization of femoral fractures: a prospective randomized study. *J Bone Jt Surg* 1989;71:336-340. <https://doi.org/10.2106/00004623-200307000-00039>
- 2 Ecke H, Faupel L, Quoika P. Gedanken zum Zeitpunkt der operation bei frakturen des Oberschenkelknochens. *Unfallchirurgie* 1985;11:89-93. <https://doi.org/10.1007/BF02587937>
- 3 Vallier HA, Wang X, Moore TA, et al. Timing of orthopaedic surgery in multiple trauma patients: development of a protocol for early appropriate care. *J Orthop Trauma* 2013;27:543-551. <https://doi.org/10.1097/BOT.0b013e31829efda1>
- 4 Pape HC, Leenen L. Polytrauma management – what is new and what is true in 2020 ? *J Clin Orthop Trauma* 2021;12:88-95. <https://doi.org/10.1016/j.jcot.2020.10.006>
- 5 Nanchahal J, Nayagam S, Khan U, et al.; British Orthopaedic Association and British Association of Plastic, Reconstructive and Aesthetic Surgeons. Standards for the management of open fractures of the lower limb ([www.bapras.org.uk/resources/clinical\\_guidance/open\\_%0Afractures\\_of\\_the\\_lower\\_limb/view\\_the\\_full\\_guide](http://www.bapras.org.uk/resources/clinical_guidance/open_%0Afractures_of_the_lower_limb/view_the_full_guide)).
- 6 Sanders DW, Bhandari M, Guyatt G, et al. Critical-sized defect in the tibia: is it critical? Results from the SPRINT trial. *J Orthop Trauma* 2014;28:632-635. <https://doi.org/10.1097/BOT.000000000000194>
- 7 Baldwin P, Li D, Auston DA, et al. Autograft, allograft, and bone graft substitutes: clinical evidence and indications for use in the setting of orthopaedic trauma Surgery. *J Orthop Trauma* 2019;33:203-213. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001420>
- 8 Masquelet AC, Fitoussi F, Begue T, et al. Reconstruction des os longs par membrane induite et autogreffe spongieuse. *Ann Chir Plast Esthet* 2000;45:346-353.
- 9 Pelissier P, Masquelet AC, Bareille R, et al. Induced membranes secrete growth factors including vascular and osteoinductive factors and could stimulate bone regeneration. *J Orthop Res* 2004;22:73-79. [https://doi.org/10.1016/S0736-0266\(03\)00165-7](https://doi.org/10.1016/S0736-0266(03)00165-7)
- 10 Morwood MP, Streufert BD, Bauer A, et al. Intramedullary nails yield superior results compared with plate fixation when using the masquelet technique in the femur and tibia. *J Orthop Trauma* 2019;33:547-552. <https://doi.org/10.1097/BOT.0000000000001579>
- 11 Morelli I, Drago L, George DA, et al. Masquelet technique: myth or reality? A systematic review and meta-analysis. *Injury* 2016;47:S68-S76. [https://doi.org/10.1016/S0020-1383\(16\)30842-7](https://doi.org/10.1016/S0020-1383(16)30842-7)
- 12 Ilizarov GA. Basic principles of transosseous compression and distraction osteosynthesis. *Ortop Traumatol Protez* 1971;32.
- 13 Gubin AV, Borzunov DY, Marchenkova LO, et al. Contribution of G.A. Ilizarov to bone reconstruction: historical achievements and state of the art. *Strateg Trauma Limb Reconstr* 2016;11:145-152. <https://doi.org/10.1007/s11751-016-0261-7>
- 14 Giotakis N, Narayan B, Nayagam S. Distraction osteogenesis and nonunion of the docking site: is there an ideal treatment option? *Injury* 2007;38(Suppl 1):S100-S107. <https://doi.org/10.1016/j.injury.2007.02.015>
- 15 Yin P, Ji Q, Li T, et al. A systematic review and meta-analysis of Ilizarov methods in the treatment of infected nonunion of tibia and femur. *PLoS One* 2015;10:e0141973. <https://doi.org/10.1371/journal.pone.0141973>
- 16 Papakostidis C, Bhandari M, Giannoudis PV. Distraction osteogenesis in the treatment of long bone defects of the lower limbs. Effectiveness, complications and clinical results; a systematic review and meta-analysis. *J Bone Jt Surg* 2013;95-B:1673-1680.

Con il contributo non condizionante di

