

Tecniche e indicazioni degli innesti ossei e osteocartilaginei

P.-L. Docquier
T. Schubert

Riassunto

Gli innesti ossei e cartilaginei fanno parte dell'arsenale terapeutico nella chirurgia dell'apparato locomotore. Si descrivono le proprietà di questi diversi tessuti umani. I trapianti autologhi ossei e cartilaginei restano gli innesti di riferimento per la loro vitalità persistente dopo l'impianto, contrariamente ai trapianti omologhi. Questi ultimi sono devitalizzati in seguito alla loro conservazione sia a freddo sia tramite liofilizzazione. La conservazione avviene in unità tecniche chiamate banca di tessuto. La loro attività è regolamentata giuridicamente. Questa conservazione di tessuto dopo il prelievo ha il vantaggio di offrire un materiale di ricostruzione appropriato per l'apparato locomotore e di permettere numerose possibilità d'impiego che passeremo in rassegna. La devitalizzazione dei trapianti omologhi provoca anche un certo numero di complicanze tra cui la pseudoartrosi e la frattura da stress, che il chirurgo deve poter prevedere. Gli innesti omologhi di osso corticale permettono anche di sfruttare il loro contenuto in fattori osteo-induttori che possono così essere utilizzati per favorire la consolidazione ossea. Il progresso dell'imaging, dell'informatica e dell'ingegneria permettono oggi di selezionare e di adattare un innesto omologo osseo di morfologia più appropriata per una ricostruzione precisa, e di migliorare la qualità del gesto chirurgico pianificato in corso d'intervento. L'innesto autologo e omologo ossei o osteoarticolari restano elementi di base nella chirurgia ortopedica ed è necessario conoscere questi fondamenti. Gli innesti omologhi ossei, quando disponibili per il chirurgo, offrono possibilità supplementari di ricostruzione ossea o osteoarticolare.

Parole chiave: Innesto osseo autologo; Innesto osseo omologo; Innesto autologo cartilagineo; Innesto omologo cartilagineo; Tecniche chirurgiche degli innesti ossei; Complicanze degli innesti ossei

Definizione

Un innesto osseo è un trapianto di tessuto osseo, di qualsiasi qualità, verso un sito osseo ricevente. Si tratta di un trapianto autologo se l'innesto proviene dal ricevente, di un trapianto omologo (già omoinnesto) se il donatore è un altro individuo della stessa specie e di un xenoinnesto se il donatore è di una specie diversa (come un animale per esempio). L'innesto autologo ha il vantaggio di non provocare nessuna reazione immunitaria e di non costituire nessun rischio di trasmissione di malattie. Gli innesti ossei possono essere non vascolarizzati se il peduncolo vascolare dominante non è conservato, vascolarizzati con peduncolo se il segmento osseo è trasferito prelevando il peduncolo vascolare dominante, o vascolarizzati liberi se il peduncolo vascolare dominante è ristabilito con microanastomosi vascolari. Gli innesti possono essere corticali, spongiosi o cortico-spongiosi in funzione del tipo di osso che li compone. Gli innesti ossei omologhi presentano

caratteristiche ben specifiche in funzione del tipo di conservazione e di trattamento. Troviamo principalmente innesti omologhi massivi congelati che permettono la ricostruzione di un segmento osseo e prodotti di riempimento o di riparazione corticale congelati e sicuri, o liofilizzati.

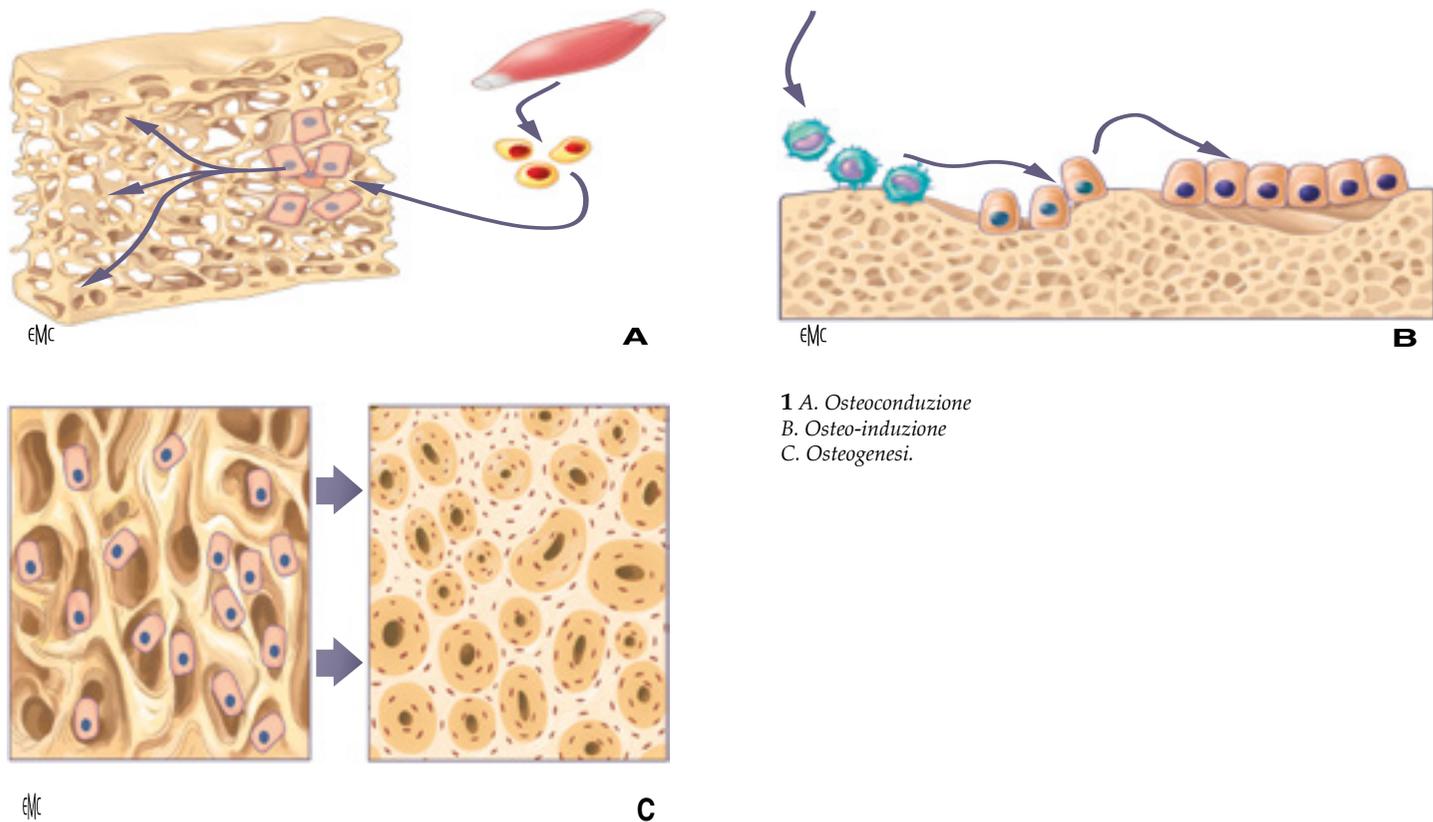
Un innesto omologo osseo congelato è preservato così come è stato prelevato a -80°C . Generalmente si preservano sull'innesto omologo strutture come tendini, superfici osteocondrali o la capsula articolare. Questo permette di facilitare la ricostruzione reinserendo tendini o una capsula articolare sull'innesto omologo. Quest'innesto omologo contiene anche il midollo del donatore. Al contrario, troviamo l'innesto liofilizzato che è libero da ogni residuo di tessuto molle, compreso il midollo osseo. Questo innesto viene trattato chimicamente, poi liofilizzato e infine sterilizzato tramite irradiazione a 25 kGy. Diventa un eccellente materiale di riempimento conservato a temperatura ambiente. Di contro, questo tipo d'innesto perde una gran parte delle sue caratteristiche strut-

turali e diventa molto fragile. Infine, vi è l'innesto congelato sicuro. Segue la stessa filiera di trattamento chimico e fisico, con eccezione della tappa di liofilizzazione. Questo innesto mantiene caratteristiche fisiche simili a quelle di un innesto appena congelato, ma presenta migliori capacità di osteointegrazione poiché è libero da tutti i tessuti molli eccedenti e immunogenici.

Un innesto di cellule cartilaginee è un trapianto autologo di cellule cartilaginee verso un sito articolare. Sono condrociti autologhi coltivati che si ottengono tramite una biopsia artroscopica di una cartilagine sana in zona non portante. La cartilagine è trattata enzimaticamente per isolare i condrociti, che vengono poi messi in coltura. La sospensione cellulare che ne risulta viene quindi iniettata sotto un lembo di periostio o in un supporto tridimensionale biodegradabile (collagene, acido ialuronico, ecc.)¹. Un innesto osteocondrale è un trapianto di cartilagine con l'osso subcondrale sottostante. La "mosaicoplastica" è un esempio d'innesto autologo osteocondrale ottenuta con il prelievo di piccole carote ossee

P.-L. Docquier Chirurgien orthopédiste, MD, PhD
(pierre-louis.docquier@uclouvain.be).

T. Schubert Chirurgien orthopédiste, MD, PhD.
Institut de recherche expérimentale et clinique, Neuro Musculo Skeletal Lab (NMSK), Université catholique de Louvain, Secteur des sciences de la santé, avenue Mounier 53, 1200 Bruxelles, Belgique.
Service d'orthopédie et de traumatologie de l'appareil locomoteur, Cliniques universitaires Saint-Luc, avenue Hippocrate 10, 1200 Bruxelles, Belgique.



1 A. Osteoconduzione
B. Osteo-induzione
C. Osteogenesi.

rivestite di cartilagine provenienti da una zona articolare non portante. Queste carote vengono poi impiantate nella zona da innestare in modo da ricostituire una superficie cartilaginea. I siti di prelievo usuali sono la troclea laterale, la rientranza intercondilare e la troclea mediale^[1].

I trapianti omologhi osteocondrali freschi o congelati sono innesti osteoarticolari provenienti da donatori di organi e che sono utilizzati per ricostruire un versante articolare o un'articolazione. La dimensione dell'osso soggiacente è variabile in base alle diverse zone di prelievo. Un sostituto osseo è un biomateriale o un prodotto d'ingegneria tissutale che permette di riempire e sostituire una perdita ossea. I sostituti ossei di sintesi sono essenzialmente rappresentati dai fosfati di calcio. Due tra loro sono particolarmente utilizzati: l'idrossiapatite e il fosfato tricalcico. Esistono anche cementi fosfocalcici che, con la loro forma iniettabile, aprono la via alla chirurgia percutanea. I solfati di calcio hanno, per associazione agli antibiotici, il vantaggio di poter essere utilizzati in un contesto settico. Il carbonato di calcio ha avuto molto successo, ma ha subito la concorrenza dei fosfati di calcio. La scelta di un sostituto osseo dipende dalla localizzazione, dal volume della perdita ossea, dal contesto locale e generale, dall'eziologia e dalle proprietà singole del sostituto. La terapia cellulare tramite iniezione di midollo

osseo, la cui frazione nucleare è stata concentrata o meno, è una tecnica semplice e accessibile che permette di aumentare la popolazione cellulare a scopo osteogenico. L'utilizzo di cellule staminali del paziente è un'alternativa che consiste nel prelevare e coltivare cellule staminali adulte capaci di differenziarsi in discendenza osteogenica. Prevengono dal tessuto adiposo^[3] o dal midollo osseo^[3]. I fattori di crescita utilizzati in chirurgia ortopedica sono essenzialmente rappresentati dalle *bone morphogenetic proteins* (BMP). Sono citochine presenti nella frazione organica dell'osso e sono dei potenti osteo-induttori la cui azione fu scoperta da Urist nei suoi lavori di ricerca sulla consolidazione ossea. Un osso demineralizzato e impiantato sottocutaneo o intramuscolare è capace di indurre la differenziazione di cellule staminali mesenchimali locali in osteoblasti. Nel topo, dopo 4 o 5 settimane dall'impianto, risulta un ossicino contenente midollo ematopoietico. Quest'osservazione definisce l'osteo-induzione ottenuta all'inizio da un materiale osseo devitalizzato. Oggi, questi fattori di crescita sono prodotti grazie all'ingegneria genetica. Si possono utilizzare soli a concentrazioni nettamente più alte rispetto alle concentrazioni fisiologiche oppure associati ad altre citochine contenute nella matrice ossea di un osso corticale frammentato e preparato per una banca di tessuto dopo la demine-

ralizzazione. Negli Stati Uniti, queste preparazioni si chiamano *demineralized bone matrix* (DBM). Le BMP sono le citochine purificate all'inizio della DBM. Queste possono essere iniettate, o impiantate con il loro supporto osseo naturale oppure un supporto di sintesi nel sito di una frattura o di una pseudoartrosi o possono essere utilizzate per realizzare una fusione vertebrale. Le BMP più utilizzate sono la BMP 4 e la BMP 7. È importante conoscere bene questi prodotti prima di utilizzarli. Gli effetti collaterali possono essere gravi. Uno degli elementi preoccupanti è l'utilizzo delle BMP a dosi sovralfisiologiche per essere efficaci. Questo è legato all'utilizzo della molecola in uno stato purificato sotto forma di un'unità omodimerica quando i recettori delle BMP sono eterodimerici: per esempio l'utilizzo della BMP 4 per un recettore BMP 2/4. Segue una strategia di saturazione del recettore con dosaggi molto alti e quindi rischi di effetti collaterali come ossificazioni eterotopiche e fenomeni infiammatori persistenti.

Proprietà degli innesti ossei

CAPACITÀ OSTEOGENICA (FIG. 1)

Un innesto osseo è considerato osteogenico solo se le cellule osteogeniche (osteoblasti) che sopravvivono al trapianto chi-

chirurgico restano in grado di generare osso nel nuovo ambiente. Nella maggior parte dei casi, questa proprietà si ritrova solo nei casi di un innesto autologo di osso spongioso o corticale che è immediatamente impiantato.

Tuttavia, è anche applicabile a un sostituto osseo creato in laboratorio con cellule del ricevente. L'osso corticale compatto è meno cellulare, quindi meno osteogenico rispetto all'osso spongioso.

Nelle ossa spongiose equivalenti sul piano chirurgico, a determinare il potere di osteogenicità è la presenza di midollo ematopoietico. Così, in età adulta, è l'osso spongioso della cresta iliaca a restare più osteogenico^[4].

CAPACITÀ DI OSTEOCONDUZIONE (FIG. 1)

Un materiale è considerato osteoconduttore se la superficie della sua struttura tridimensionale può servire da supporto per la migrazione delle cellule ossee che provengono dall'osso nel quale è inserito.

Questa proprietà passiva non è specifica dell'osso, poiché i sostituti ossei fosfo-calcici o silicati condividono questa proprietà. La porosità del materiale deve essere interconnessa da una penetrazione in profondità della struttura.

La dimensione ottimale della porosità per una colonizzazione ossea deve essere superiore a 300 µm^[5].

CAPACITÀ DI OSTEO-INDUZIONE (FIG. 1)

Un impianto è considerato osteo-induttore quando, impiantato in un sito extraosseo, provoca la formazione di un ossicino che contiene midollo ematopoietico. Questa capacità è dovuta a uno o più fattori di crescita contenuti nella matrice organica di un osso devitalizzato o non^[6]. Le BMP sono una famiglia di polipeptidi derivati da un fattore di crescita osteo-induttore. Utilizzate da sole, queste proteine restano osteo-induttrici ma a concentrazioni non fisiologiche (vedi sopra).

L'innesto osseo autologo è considerato capace di osteo-induzione, ma si tratta di un'ipotesi poiché questa capacità resta difficilmente dimostrabile in un trapianto autologo.

La Tabella 1 elenca le proprietà e i rischi dei diversi innesti ossei e altri sostituti.

PROPRIETÀ MECCANICA STRUTTURALE

Un osso lungo è una struttura resistente meccanicamente. L'osso di banca congelato mantiene le stesse proprietà meccaniche di quando era vascolarizzato. È lo stress continuo dell'osso di banca congelato che segna una differenza. Contrariamente a un osso vascolarizzato, i danni della sua struttura che risultano dal suo carico non possono essere riparati per mancanza di vascolarizzazione e di cellule riparatrici.

Infatti, un innesto omologo osseo resta in gran parte avascolare. Può comparire una fessura e progressivamente trasformarsi in frattura detta "da stress". Questa evoluzione avviene in modo indolore poiché l'osso di banca non è innervato. Questa frattura può ancora essere spiegata da un altro meccanismo non meccanico ma biologico. La frattura può risultare da una lisi osteoclastica indotta da una risposta immunitaria. Passa poi all'interfaccia di rivascolarizzazione dell'innesto. Quest'ultimo meccanismo è molto raro e la maggior parte delle fratture di un trapianto omologo passa lontano dalla zona di rivascolarizzazione della giunzione. Questa fragilità potenziale di un trapianto omologo massivo implica che l'osso di banca deve essere protetto meccanicamente nella sua integrità tramite un'osteosintesi capace di assorbire le sollecitazioni meccaniche che si applicano sul montaggio e di trasmetterle in zona fisiologica. Non si dovrebbe lasciare nessun segmento osseo d'innesto omologo senza rinforzo meccanico. L'osso corticale resiste meglio in compressione ed è più vulnerabile in torsione mentre l'osso spongioso è meno resistente in compressione. Per quanto riguarda l'osso di banca liofilizzato, sia tramite processo chimico o fisico, è più fragile dell'osso vascolarizzato e dell'osso di banca congelato (vedi sopra). Questa fragilità impedisce la sua preparazione perioperatoria o la sua fissazione

	Proprietà osteogeniche	Osteoconduzione	Osteo-induzione	Morbilità del sito donatore	Risposta immunitaria	Trasmissione di malattie
Innesto autologo osseo	+	+	?	+++	-	-
Innesto omologo osseo	-	+	-	-	+	+
Xenoinnesto osseo	-	+	-	-	+	+
Innesto autologo cartilagineo (impianto di condrociti)	NA	NA	NA	+	-	-
Innesto autologo osteocondrale (plastica a "mosaico")	+	-	-	+	-	-
Sostituti ossei	-	+	-	-	-	-
Cellule staminali	+	-	-	+	-	-
Fattori di crescita	-	-	+	-	-	-

Tabella 1 Proprietà e rischi dei diversi innesti ossei e cartilaginei, dei sostituti ossei e di altri prodotti consegnati da una banca di tessuto.

con osteosintesi. L'osso liofilizzato, anche dopo reidratazione, deve essere ridotto durante il suo impianto^[6]. Ciò, al contrario, non è il caso di un innesto congelato che mantiene le stesse proprietà fisiche di un impianto omologo congelato.

Proprietà degli innesti cartilaginei e osteocondrali

VITALITÀ DEI CONDROCITI

Il chirurgo può prevedere tre tipi d'innesti cartilaginei:

- innesto autologo osteocondrale che il chirurgo espanta e reimpianta sotto forma di cilindri osteocondrali per ricostituire una superficie articolare;
- innesto autologo di condrociti prelevati dal paziente e moltiplicati in laboratorio per essere poi iniettati nuovamente in una perdita di sostanza articolare limitata e contenuta da una membrana artificiale o biologica;
- innesto omologo osteocondrale che permette di prevedere la ricostruzione più o meno completa di una semi-articolazione ma i cui condrociti non sono più funzionali.

Le possibilità di successo di un innesto autologo di cartilagine sono direttamente legate al numero di condrociti vitali^[1], ma il numero richiesto di condrociti vitali per mantenere una matrice cartilaginea in modo durevole non è conosciuto. La vitalità del condrocita può essere compromessa al momento del prelievo o del reimpianto. Per l'impianto di condrociti autologhi, la dimensione della lesione dovrebbe situarsi tra 3 e 8 cm² con una profondità di meno di 6 mm, zona calcificata preservata senza penetrazione dell'osso subcondrale^[7]. Le controindicazioni assolute comprendono tra le altre l'artrosi, le lesioni a "specchio" (*kissing lesions*), quelle di dimensione superiore a 10 cm² o di profondità superiore a 8 mm, l'instabilità legamentosa, una meniscectomia parziale o totale, le difficoltà dell'allineamento di più di 5°^[7].

In caso di distruzione da trauma o asportazione di tumore che riguardano una semi-articolazione, il chirurgo può considerare la ricostruzione di una semi-articolazione con un innesto omologo osteoarticolare. I condrociti non sopravvivono alla conservazione. Dopo l'impianto, per svariati anni si osserva una degradazione di origine meccanica della matrice cartilaginea non innervata. Questo lento e indolore deterioramento dipende anche dal regime di sforzi dell'articolazione ricostruita.



2 Innesto omologo del radio prossimale in un paziente di 38 anni, saldatore (A, B). L'innesto omologo è stato posizionato 23 anni prima.

Un innesto omologo osteocondrale conservato a freddo può funzionare in modo soddisfacente dopo reimpianto per almeno 20 anni nell'arto superiore (Fig. 2) mentre nell'arto inferiore, il fallimento si osserva rapidamente^[8].

PREROGATIVA IMMUNITARIA

Gli innesti omologhi osteocondrali sono detti "immunoprivilegiati" poiché le cellule della cartilagine sono incastonate nella loro matrice che le isola dall'ambiente. La cartilagine non alterata è quindi almeno provvisoriamente protetta da una risposta immunitaria potenziale, tanto che la matrice isola le sue cellule. L'osso non beneficia da tale protezione. Con un innesto osseo

omologo, un'immunizzazione del ricevente contro gli antigeni di trapianto localizzati sulle membrane cellulari dell'innesto è abituale^[1, 9]. Quest'immunizzazione non significa tuttavia fallimento, poiché non si può evidenziare nessuna correlazione tra un'immunizzazione e l'instaurarsi di una complicanza legata all'innesto^[10].

Condizioni da rispettare per un buon innesto osseo

PREPARAZIONE DEL SITO D'IMPIANTO DELL'INNESTO

Il letto osseo per l'innesto è ravvivato e liberato da qualsiasi tessuto fibroso o devita-

lizzato. La superficie spongiosa di contatto è la più grande possibile. Il materiale innestato è fissato rigidamente all'osso ricevente per evitare micromobilità che potrebbero interferire con la crescita dei capillari. L'interfaccia con l'innesto è stretta senza interposizione di tessuto fibroso^[11].

PRECAUZIONI DA RISPETTARE PER LA MANIPOLAZIONE DEGLI INNESTI IN SALA OPERATORIA

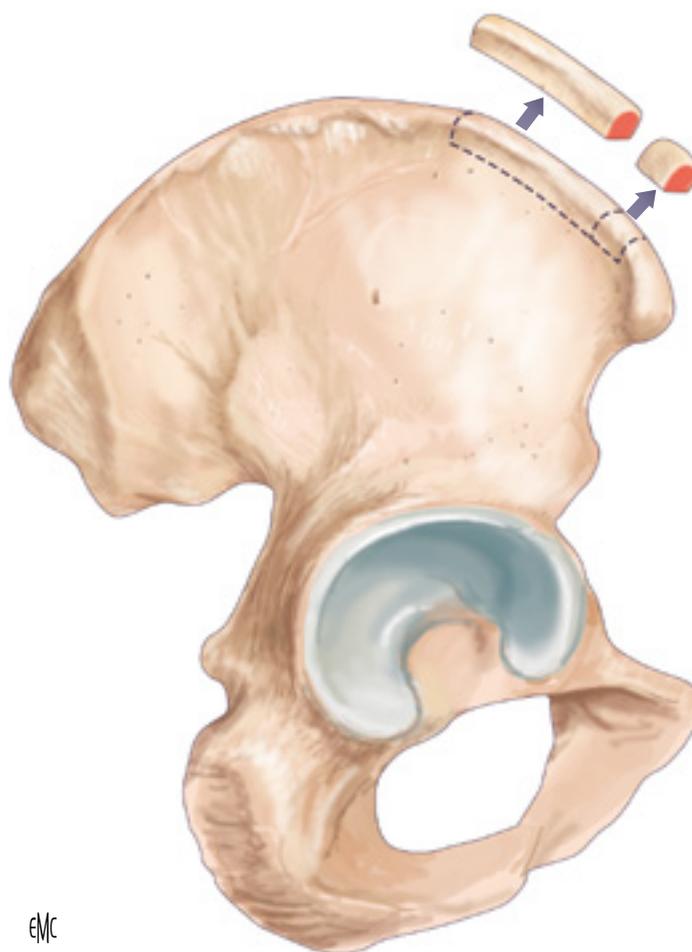
Nel caso di un prelievo d'innesto autologo, è necessario preservare il più possibile la vitalità degli osteoblasti appena prelevati. Come ogni cellula, quelle ossee sono molto sensibili alla disidratazione a temperatura ambiente. Gli innesti ossei appena prelevati vengono deposti su una garza sterile umidificata e ricoperti, senza esserne completamente immersi, in una soluzione fisiologica.

Tecnica di prelievo degli innesti autologhi

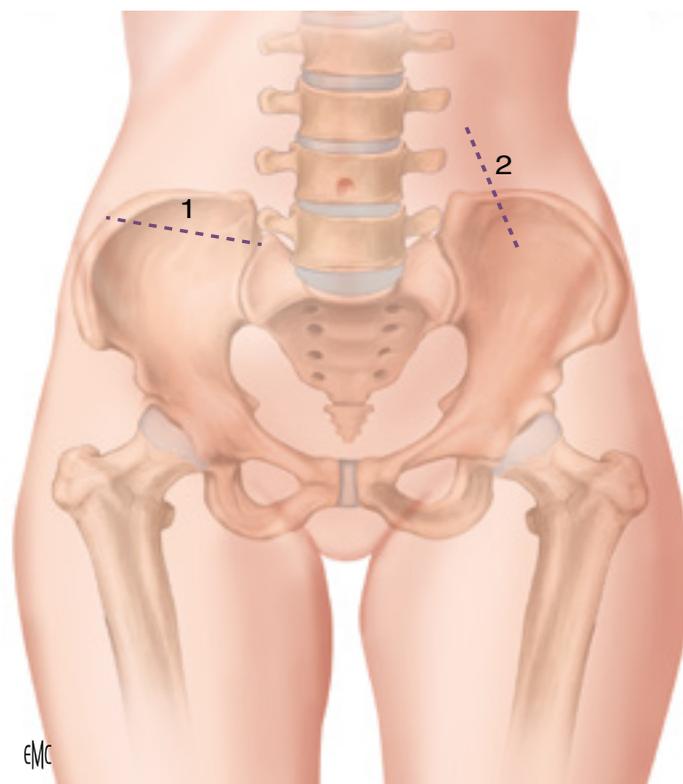
È l'innesto autologo spongioso non vascolarizzato a essere prelevato più frequentemente, nella maggior parte dei casi a livello della cresta iliaca. In età adulta, il midollo rosso è ancora presente nella colonna, nel bacino, nelle epifisi prossimali e nello sterno, ma è nell'osso del bacino che la spongiosa prelevata risulta più interessante per il chirurgo ortopedico. Comparato ai siti alternativi di prelievo di osso spongioso (pilone tibiale, polso, ecc.), quello del bacino offre un osso più osteogenico^[4].

CRESTA ILIACA ANTERIORE (FIG. 3)

Il paziente viene posizionato in decubito dorsale con un cuscino sotto il gluteo. Si sceglie un'incisione parallela ma proprio inferiore alla cresta iliaca per evitare sfregamenti dei vestiti sulla cicatrice. È necessario incidere 3 cm dietro la spina iliaca anterosuperiore per evitare di ledere il nervo cutaneo femorale laterale della coscia. Il periostio che ricopre la cresta viene sezionato tra l'inserzione dei muscoli glutei e dei muscoli addominali. Nei bambini, si seziona in due l'apofisi di crescita della cresta iliaca lasciando gli attacchi muscolari su ognuna delle due parti, viene poi suturata a fine intervento. Un innesto cortico-spongioso o spongioso può essere ottenuto con forbici, curette o sgorbia. Se è necessario un innesto cortico-spongioso concavo, viene prelevata la tavola corticale esterna. Se è necessario un innesto tricorticale, si prelevano due corticali. Un tessuto emostatico (per esempio Spongostan®) può essere lasciato in posizione per diminuire il sanguinamento. L'utilizzo di cera chirurgica dovrebbe es-



3 Innesto osseo prelevato a livello della cresta iliaca anteriore. È necessario restare 2-3 cm dietro la spina iliaca anterosuperiore per evitare lesioni del nervo cutaneo femorale laterale della coscia.



4 Incisione standard lungo la cresta iliaca posteriore (1) e incisione più verticale (2).

sere evitato per il rischio di reazione a corpi estranei^[12]. Se è richiesta una quantità limitata d'innesti spongiosi, è possibile realizzare una tecnica percutanea utilizzando una fresina che permette di prelevare una o più carote ossee cilindriche^[13].

Se si preleva una grande quantità di osso spongioso, si può impiantare un innesto omologo (osso spongioso liofilizzato) sul sito donatore per mantenere il bone stock.

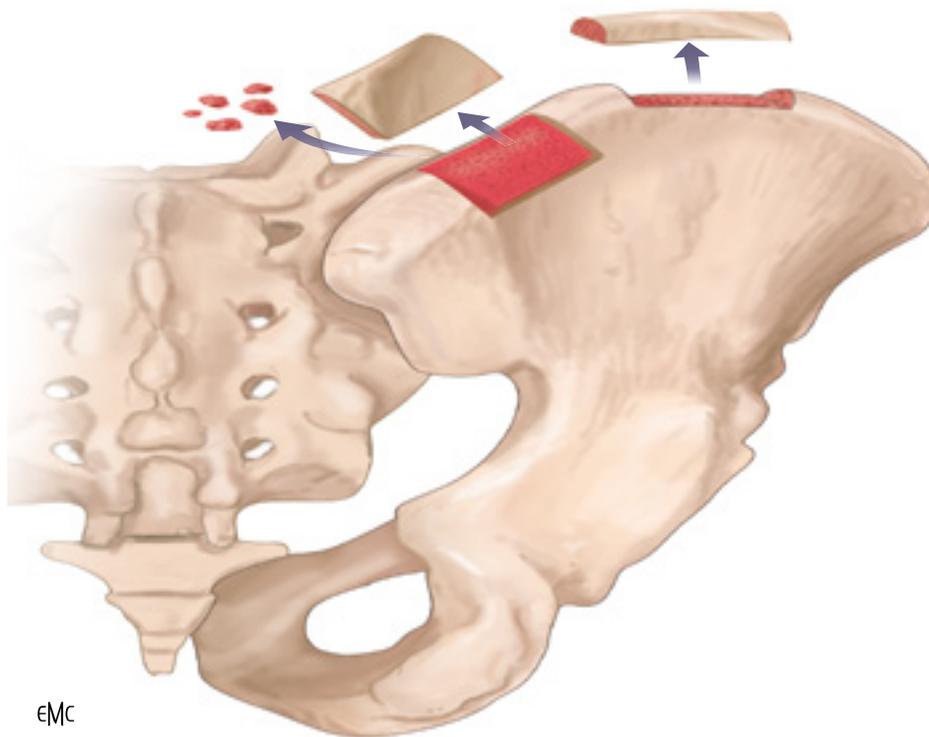
CRESTA ILIACA SUPERIORE

La cresta iliaca posteriore può fornire più osso spongioso rispetto alla cresta anteriore (30 ml).

Il paziente viene posizionato in decubito ventrale (o laterale). L'incisione segue classicamente la cresta iliaca (Fig. 4). Si può utilizzare anche un'incisione più verticale per evitare di lesionare le fibre nervose sensibili di quella regione^[14] e per evitare le necrosi cutanee (Fig. 4). Il muscolo gluteus maximus (grande gluteo) viene sollevato in subperiostio esponendo la fossa iliaca esterna. Se necessario, è possibile andare fino al bordo superiore della grande rientranza sciatica che deve essere lasciata intatta per preservare la stabilità del bacino. Il peduncolo neurovascolare gluteo superiore deve essere protetto. È possibile prelevare anche un innesto cortico-spongioso o un innesto tricorticale (Fig. 5). Se il prelievo viene realizzato durante un intervento di colonna, l'incisione mediana permette, tramite scollamento sottocutaneo, di accedere alla cresta iliaca posteriore senza lesione del grande gluteo^[15].

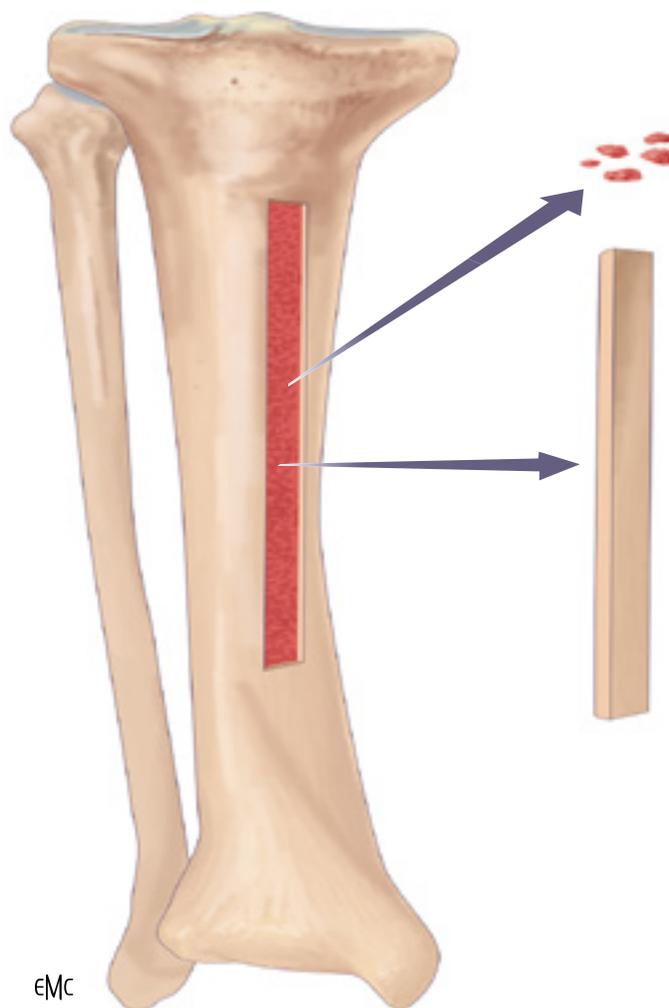
STECOA TIBIALE

Si possono prelevare innesti cortico-spongiosi a livello della corticale interna della tibia, fino a 30 cm di lunghezza. Il paziente viene posizionato in decubito dorsale con un laccio emostatico pneumatico all'apice della coscia. L'incisione è longitudinale nel lato interno della tibia. Il periostio viene inciso e l'osso è raggiunto senza scollamento sottocutaneo, poi si raschia il periostio su ogni lato per esporre tutta la faccia interna della tibia. Quindi si taglia la stecca ossea con sega oscillante umidificata con soluzione fisiologica per evitare il riscaldamento della lama, che comprometterebbe la sopravvivenza delle cellule. Il taglio è situato almeno a 5 mm dalla cresta tibiale anteriore e dal bordo tibiale postero-interno. Il suo piano di taglio è obliquo verso la stecca. Uno scalpello permette di staccare l'innesto alle sue estremità senza romperlo né rendere fragile la tibia. L'osso spongioso restante viene prelevato con l'aiuto di una curette (Fig. 6). Le stecche corticali



EMC

5 Innesti ossei prelevati dalla cresta iliaca posteriore.



EMC

6 Innesti ossei prelevati dalla tibia: stecca tibiale e osso spongioso.

sono conservate in un recipiente contenente soluzione fisiologica, o meglio, avvolte in compresse umidificate con soluzione fisiologica. Quindi si ricostruisce il periostio. Il drenaggio si pone sottocutaneo. In seguito all'intervento, non s'indica alcun contenimento gessato, e si autorizza un appoggio totale. Il paziente evita i movimenti di torsione della gamba per almeno tre mesi. Il prelievo di osso spongioso della tibia prossimale si può fare anche in modalità percutanea^[16].

FIBULA NON VASCOLARIZZATA

La fibula è una fonte d'innesto osseo semplice, ma altresì fonte di complicanze potenziali, in particolare su uno scheletro in crescita. La fibula può essere prelevata non vascolarizzata (Fig. 7). Il suo accesso è facile soprattutto nella parte mediale della diafisi. Per evitare di destabilizzare la caviglia, è necessario restare a 10 cm dall'apice del malleolo esterno^[17] e per evitare di ledere il nervo fibulare è necessario restare 10 cm sotto l'interlinea articolare del ginocchio. L'incisione è verticale e la via passa tra il muscolo peroneo lungo e il muscolo soleo. Si può realizzare l'osteotomia con l'aiuto di una piccola sega oscillante.

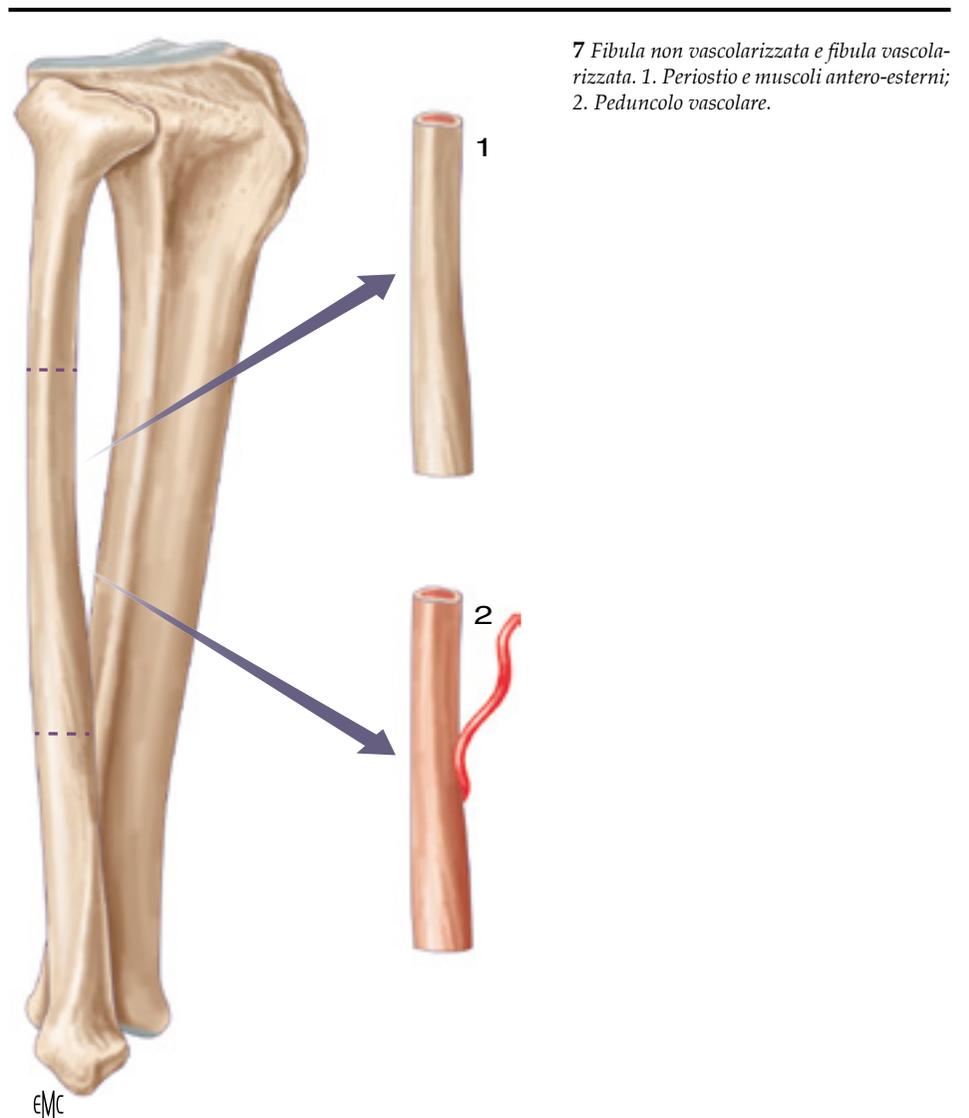
TECNICA DELL'ALESATORE/ IRRIGATORE/ASPIRATORE (REAMER/ IRRIGATOR/ASPIRATOR^[RIA])

Questa tecnica è stata sviluppata per diminuire il tasso di complicanze associate al prelievo d'innesti nella cresta iliaca. Questo strumento permette di alesare la diafisi femorale o tibiale realizzando allo stesso tempo un'irrigazione e un'aspirazione del contenuto midollare da canali separati. Il materiale endomidollare accumulato viene raccolto in un serbatoio che separa l'osso spongioso dal liquido soprastante. Le tecniche di accesso chirurgico sono le stesse di quelle dei principi d'inchiodamento centromidollare^[18]. Si può ottenere un grande volume di tessuto spongioso midollare (fino a 75 ml) senza gravi complicanze^[19].

ALTRI SITI DI PRELIEVO

Anche altri siti possono servire da sito di prelievo di osso spongioso:

- il grande trocantere;
- la metafisi tibiale superiore;
- l'olecrano;
- il radio distale (per una pseudoartrosi di navicolare carpale per esempio);
- un condilo femorale;
- il pilone tibiale (in caso di chirurgia di caviglia);
- una costola può servire da innesto cortico-spongioso in caso di toracotomia (Fig. 8).



7 Fibula non vascolarizzata e fibula vascolarizzata. 1. Periostio e muscoli antero-esterni; 2. Peduncolo vascolare.



8 Durante una toracotomia, una costa può essere prelevata e servirà quindi da innesto cortico-spongioso.

MIDOLLO OSSEO E CELLULE STROMALI

Il midollo osseo contiene cellule ematopoietiche e cellule stromali. Queste ultime formano un ambiente ottimale per l'ematopoiesi midollare e sono rinnovate da cellule staminali mesenchimali che possono anche esprimere una capacità di osteogenesi. È questa proprietà a interessare la nostra specialità. L'aspirazione di midollo osseo con l'aiuto di un tre quarti è diventata comune per favorire la guarigione di un ritardo di consolidazione o di una pseudoartrosi di un osso, o ancora per favorire la ricolonizzazione di un impianto osseo^[20].

INNESTO OSSEO AUTOLOGO VASCOLARIZZATO

■ Cresta iliaca posteriore

Questo innesto si può prelevare con inserzioni muscolari lombari che ne assicurano la vascolarizzazione. Può essere utilizzato per la colonna lombare bassa o per un'artrosi sacro-iliaca.

■ Fibula vascolarizzata

La fibula può essere prelevata anche con la sua vascolarizzazione fibulare (Fig. 7). L'incisione è la stessa, verticale, e la via d'accesso passa tra il muscolo peroneo lungo e il muscolo soleo. La membrana interossea viene incisa vicino alla fibula. La dissezione resta extraperiosteale lasciando uno strato muscolare anteroesterno (muscolo tibiale posteriore).

Il peduncolo viene disseccato fino alla sua origine. Si seziona la fibula all'altezza prevista. L'innesto può essere mobilizzato per traslazione per riempire una perdita di sostanza tibiale (fibula pro tibia) o con rotazione per compensare un difetto femorotibiale. L'innesto vascolarizzato della fibula può anche essere trapiantato altrove realizzando microanastomosi vascolari sotto microscopio.

Complicanze legate al prelievo d'innesti autologhi

Il prelievo di un innesto autologo di osso spongioso non è privo di potenziali complicanze. Implica una via d'accesso chirurgica supplementare. Questo prelievo aumenta il tempo operatorio e il dolore postoperatorio.

Un disturbo locale cronico o una disartria pericicatriziale sono frequenti, mentre talvolta si osservano complicanze più severe. Le complicanze associate al prelievo

di osso iliaco includono dolore cronico, lesioni nervose e arteriose, lesione uretrale, perforazione peritoneale, instabilità sacro-iliaca, frattura, ematoma e ernia del contenuto addominale attraverso il difetto nell'ala iliaca^[21]. Le complicanze sono più frequenti durante prelievi iliaci anteriori che durante prelievi iliaci posteriori^[22]. Per evitarli, è necessario cominciare l'incisione ad almeno 3 cm dalla spina iliaca anterosuperiore, disseccare in zona subperiosteale e preferire un innesto unicorticale cortico-spongioso o puramente spongioso^[21]. In un bambino, il prelievo della cresta iliaca può perturbare la crescita dell'ala iliaca^[23]. Prelevare più di 2 cm di fibula in un bambino in crescita provoca una migrazione distale della testa fibulare nel 75% dei casi, un solco talare nel 45%, una migrazione prossimale del malleolo esterno nel 55% e un valgo tibiale nel 20% dei casi^[24]. Alcuni Autori raccomandano l'avvitamento tibio-fibulare sistematico in tutti i pazienti le cui cartilagini di crescita sono ancora aperte^[25]. Nel 58% dei casi si è osservata una rigenerazione incompleta della fibula^[24]. Nel 4% dei casi sono state descritte fratture da stress dopo prelievo di stecche tibiali autologhe^[26].

Innesti ossei omologhi

UNA RICHIESTA IN CRESCITA

I trapianti ossei omologhi fanno parte da più di un secolo dell'arsenale terapeutico potenziale per trattare una grave perdita di sostanza ossea. Rappresentano un'alternativa interessante al trapianto autologo poiché non vi è limite al prelievo, sono facili da utilizzare e fanno risparmiare tempo operatorio^[27]. Possono offrire un vantaggio supplementare in associazione a una protesi in metallo, quando è necessario reinserire un tendine come il tendine rotuleo o il muscolo medio gluteo.

La loro superficie ossea costituisce un supporto naturale per il callo osseo in giunzione con l'osso ospite. Il loro utilizzo permette tutte le opzioni di tecniche chirurgiche primarie o in caso di interventi di revisione. La richiesta di trapianto omologo è nettamente aumentata grazie alla maggior frequenza d'interventi di revisione di artroplastiche mobilizzate nella popolazione anziana e con la nascita della chirurgia del rachide. Nel 2011, gli innesti ossei omologhi rappresentavano il sostituto osseo più utilizzato in Europa. Nel 2018, in Francia si contavano 19 banche di ossa, ma vista la richiesta restano ancora necessarie importazioni^[28]. Il donatore di organi è l'unica

fonte per ottenere segmenti d'osso lunghi che si utilizzano soprattutto nella chirurgia neoplastica. Gli innesti di volume minore provengono da epifisi. Il chirurgo può scegliere la forma (blocco o segmenti) e il mezzo di conservazione dell'innesto (congelato o liofilizzato). Nel 2004 è stata pubblicata una direttiva europea per i tessuti e le cellule umane e costituisce il quadro regolamentare per gli innesti omologhi^[29]. Vi sono definite caratteristiche di qualità e sicurezza.

RISCHIO DI TRASMISSIONE DI MALATTIE CON INNesti OMOLOGHI OSSEI

L'obiettivo di una banca di tessuto è quello di fornire ai chirurghi tessuti sani. La sicurezza dei trapianti omologhi resta un problema costante, poiché un innesto omologo osseo può trasmettere malattie^[30]. L'innesto può sia trasmettere una malattia del donatore, che essere contaminato dal prelievo^[32]. Tra le possibili malattie trasmissibili, i virus e i prioni sono quelli più difficili da individuare. La trasmissione da innesto omologo osseo del virus dell'epatite C (VHC) e del virus dell'immunodeficienza umana (HIV) è stata ben documentata^[31]. La malattia di Creutzfeldt-Jakob è stata trasmessa tramite impianto di dura madre, ma non tramite un innesto omologo osseo. La selezione dei donatori potenziali è un mezzo efficace per ridurre la trasmissione di questa malattia^[33]. Un'infezione batterica del ricevente avvenuta attraverso un innesto omologo con conseguenze gravi è stata riportata in alcuni casi^[34]. Oggi, il rischio di trasmissione di microrganismi attraverso un innesto tissutale è minimo, ma non nullo^[30].

FONTE DI TESSUTI

■ Donatore in vita

La testa femorale di pazienti operati di artroplastica dell'anca è la fonte abituale per le banche di tessuti. Se i test sierologici perioperatori sono negativi, si svolgono esami batteriologici perioperatori e il tessuto viene messo in quarantena. Si controlla nuovamente il paziente dopo la chirurgia. Se gli esami sierologici e il controllo batteriologico sono negativi, il tessuto diventa allora disponibile.

■ Donatore multi-organo

Le ossa lunghe vengono prelevate sterilmente in sala operatoria dopo l'espanto di uno o più organi. L'età media di 155

donatori d'organi e di tessuti che abbiamo prelevato è di 35 ± 12 anni (dato non pubblicato). In questa popolazione giovane, l'osso è denso e solido. In assenza di controindicazioni, il donatore selezionato viene poi testato per una batteria di test che include una ricerca diretta del genoma virale del virus HIV, del virus dell'epatite B (HBV) e del VHC per biologia molecolare.

Tipi di innesti ossei omologhi

INNESTI OMOLOGHI CORTICO-SPONGIOSI

È un innesto omologo costituito da osso cortico-spongioso. Ha unicamente proprietà di osteoconduzione senza alcuna proprietà osteogena né di osteo-induzione. Ogni innesto omologo spongioso può essere arricchito da fattori di crescita o da cellule staminali mesenchimali che provengono dal futuro paziente ricevente per stimolare l'invasione vascolare dell'innesto e stimolare la neoformazione ossea^[35]. L'aggiunta di questo materiale biologico all'innesto omologo sembra promuovere la sua incorporazione all'osso ospite. L'innesto omologo spongioso o cortico-spongioso è il più disponibile nelle banche di tessuto.

■ *Teste femorali congelate*

Si tratta della fonte principale di osso per le banche di tessuto in Europa.

■ *Osso cortico-spongioso trattato*

Il procedimento consiste, dopo aver rimosso i tessuti molli e il midollo osseo con mezzi fisicochimici, a tagliare l'osso a richiesta e a rimuovere la cartilagine residua. L'osso viene poi conservato sia tramite congelamento, sia tramite liofilizzazione. Per esperienza, preferiamo l'osso liofilizzato quando il volume da riempire resta minimo (< 5 ml).

L'osso liofilizzato è fragile e non può essere plasmato o trattato in sala operatoria. Ha il grande merito di poter essere conservato a temperatura ambiente senza particolare precauzione se l'imballaggio di origine è protetto. L'osso congelato reso sicuro, che sia spedito in un solo pezzo o a segmenti è privilegiato per i volumi più grandi da ricostruire poiché può essere trattato in sala operatoria e ha la stessa resistenza meccanica dell'osso fisiologico.

■ *Segmenti di osso cortico-spongioso*

Possono essere congelati o liofilizzati seguendo la richiesta del chirurgo. La ridu-

zione d'innesto osseo in un femore è più facile e più rapida con osso liofilizzato, poiché è più friabile e anche più compatibile rispetto all'osso congelato. In un volume aperto come per esempio un acetabolo, l'osso congelato è più facilmente trattabile^[36].

INNESTI OMOLOGHI OSTEO-INDUTTORI

L'osso corticale, denominato dal vocabolo demineralized bone matrix negli Stati Uniti, è il solo innesto omologo che possiede proprietà di osteo-induzione. La capacità di osteo-induzione dell'osso corticale fu scoperta da Urist nel 1965 e condusse quattro decenni più tardi all'isolamento delle BMP. La demineralizzazione dell'osso rimuove la sua frazione minerale, ma lascia intatta la sua frazione organica che contiene collagene, glicoproteine e proteoglicani. Perché un'osteoiduzione possa prodursi, sono necessarie tre condizioni: la presenza di BMP, il supporto (nella maggior parte dei casi il collagene di tipo I) e la cellula bersaglio.

Il vantaggio principale della DBM è che contiene già due dei tre fattori indispensabili per l'osteoiduzione (BMP e collagene di tipo I). La DBM può essere mescolata con altri materiali per aumentare il volume. La consistenza (frammenti, pasta) è variabile per convenire a diversi tipi di utilizzo^[37]. Tra le indicazioni per un uso clinico della DBM, vi è la pseudoartrosi o il ritardo di consolidazione. Un'altra indicazione meno comune è il suo impiego in una cisti ossea o aneurismatica, accertata istologicamente, per promuovere la fase di ossificazione riparatrice^[38].

INNESTI OMOLOGHI STRUTTURALI O DI RICOSTRUZIONE ANATOMICA

Gli innesti omologhi ossei sono stati utilizzati inizialmente per riempire perdite di sostanza ossee risultanti dal curettage di un tumore benigno dell'osso, e successivamente anche per sostituire un segmento osseo resecato di un tumore maligno e primitivo dell'osso. Restano ancora oggi un'opzione da considerare per ricostruire una grave perdita ossea.

L'innesto omologo massivo è un segmento osseo o osteoarticolare resistente che può essere associato a tutte le tecniche di ricostruzione: lembo, protesi, osteosintesi, innesto vascolarizzato^[39]. Gli innesti omologhi ossei massivi sono prelevati sterilmente a partire da donatori di organi. Sono congelati a -80°C e non sono irradiati. Tra i loro vantaggi, citiamo: una ricostruzione

anatomica della perdita di sostanza ossea, un ancoraggio all'osso ospite con callo osseo, la possibilità di reinserire i tendini sulle inserzioni tendinee dell'innesto omologo.

COMBINAZIONE DI UN INNESTO OMOLOGO STRUTTURALE MASSIVO E DI UNA FIBULA VASCOLARIZZATA

La combinazione dell'innesto omologo massivo con una fibula vascolarizzata è più complessa da realizzare e necessita suture microvascolari^[40]. Il tasso di complicanze è alto, ma per la biologia della fibula vascolarizzata la ricostruzione può essere salvaguardata da complicanze nella maggior parte dei casi^[40].

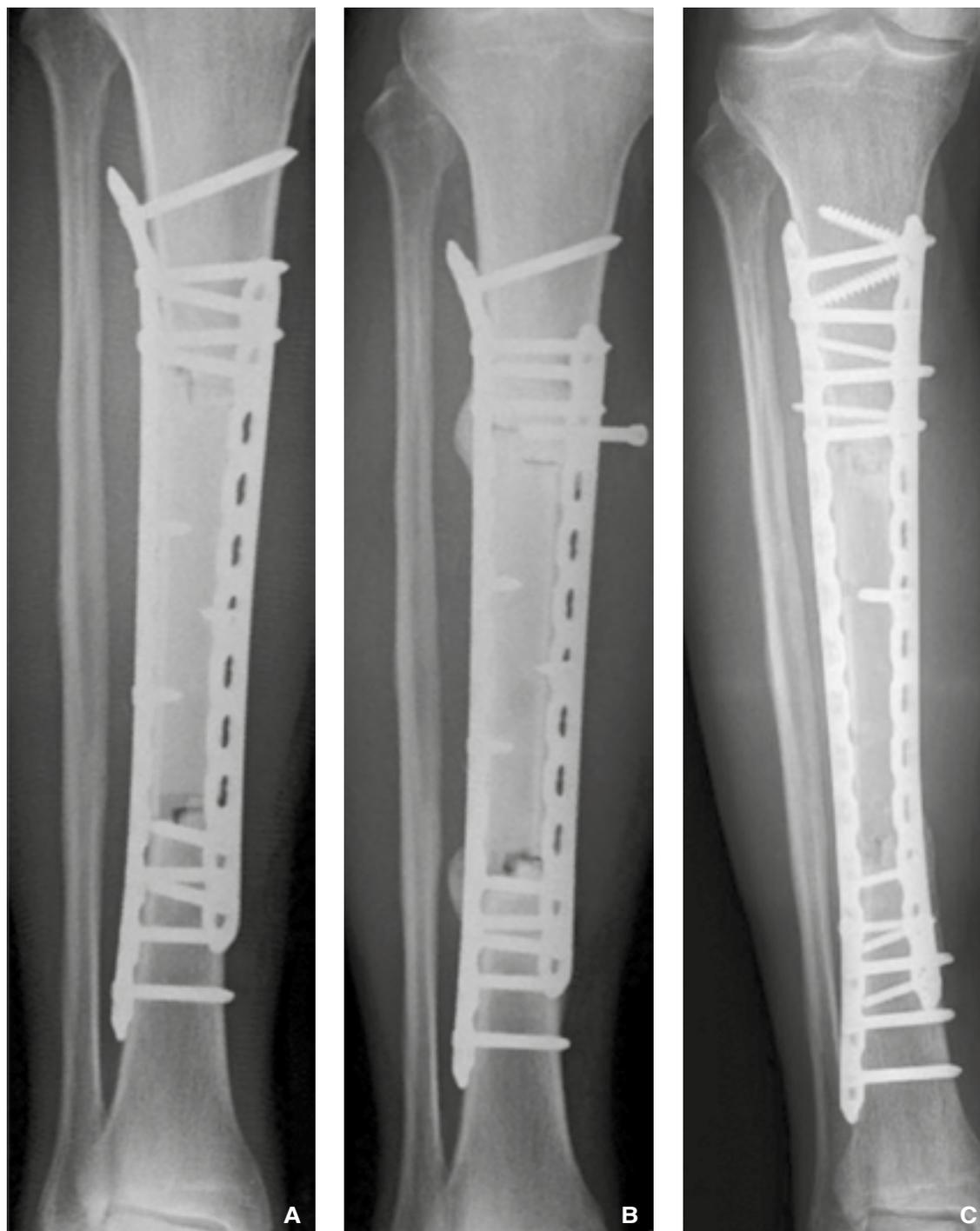
■ *Complicanze associate a innesti omologhi strutturali massivi*

Vi sono due tipi di complicanze legate agli innesti omologhi. La prima, legata al rischio di una trasmissione potenziale di un micro-organismo patogeno, è reale ma minima. Impone alle banche criteri di selezione del donatore e poi un esame sierologico approfondito su un campione pre-mortem^[32]. In Belgio, una ricerca del genoma virale con tecniche di biologia molecolare nel donatore è diventata obbligatoria per ogni prelievo di tessuti senza possibilità di quarantena.

Il secondo tipo di complicanze è legato alla devitalizzazione dell'innesto. La consolidazione si realizza solo a partire da cellule dell'osso ospite mentre l'osso di banca caricato ciclicamente si affatica meccanicamente poco a poco. Pseudoartrosi e frattura sono i rischi più frequenti.

Pseudoartrosi

Vander Griend et al. riportano un tasso di pseudoartrosi dell'11% per gli innesti omologhi massivi congelati^[41] (Fig. 9). Abbiamo osservato un tasso del 35% con una ricaduta di 7,5 anni in una serie consecutiva di 128 pazienti^[42]. Per Vander Griend et al., la modalità di fissazione non influisce sul tasso di non consolidazione. Uno spazio iniziale di 3 mm tra le giunzioni ossee appare essere critico nella formazione della pseudoartrosi^[41]. Le giunzioni diafisarie guariscono in 12 mesi circa, mentre le giunzioni metafisarie si consolidano più velocemente, abitualmente in sei mesi^[41, 43]. L'obiettivo della fissazione è di ottenere un contatto intimo tra l'innesto omologo e l'ospite con un'interfaccia stabile. Questo è più facile da ottenere con placche che con chiodi^[41]. Realizzare uno scaglino nell'interfaccia per migliorare la stabilità rotatoria in caso di fissazione intramidollare



9 Esempio di pseudoartrosi d'innesto omologo intercalare della tibia diafisaria, impiantata dopo resezione di un osteosarcoma. Evoluzione verso una pseudoartrosi a un anno. Ripresa con cambio delle placche, conservazione dell'innesto, innesto autologo spongioso con giunzioni e consolidazione sei mesi dopo (radiografia a 18 mesi).

implica avere delle estremità ossee tagliate perfettamente^[44]. L'aggiunta di innesto autologo spongioso o di un materiale osteo-induttore alla giunzione dell'innesto omologo non è indispensabile ma resta raccomandata^[45].

Frattura

La frattura è un'altra grave complicanza e si verifica con una prevalenza variabile del 16-42% dopo l'impianto^[46-48] (Fig. 10). La frattura giunge in media dopo circa due anni^[47]. Thompson ha mostrato che il rischio di frattura è più elevato in caso di osteosintesi interna che penetra la corticale dell'innesto omologo rispetto a un'osteosintesi interna che non penetra la corticale^[47]. È stato mostrato un

potenziale di guarigione dopo osteosintesi di una frattura di un innesto omologo intercalare tibiale con innesto autologo iliaco, ma non per un innesto omologo femorale^[49]. La maggior parte delle fratture da innesto omologo giunge in zone in cui la rivascularizzazione e l'invasione del tessuto ospite sono assenti^[47]. Come per tutti i materiali inorganici, un innesto omologo osseo s'indebolisce con l'instaurarsi di microfratture^[50]. Wheeler e Enneking hanno studiato innesti omologhi massivi espianati per fallimento e hanno osservato che, con il tempo, vi è una diminuzione della resistenza meccanica dell'osso e un aumento concomitante della densità delle fessure^[51]. Per evitare queste potenziali com-

plicanze, sono state proposte diverse tecniche per aumentare meccanicamente la struttura dell'innesto omologo: sia cementando il canale midollare^[52] sia aumentando la rivascularizzazione dell'innesto omologo con perforazioni corticali^[53]. Un'altra possibilità resta l'utilizzo di fattori di crescita, ma le risposte favorevoli osservate sperimentalmente non sono state confermate dagli innesti omologhi umani^[54].

Infezione

L'infezione di un innesto omologo, in caso di mancato controllo di questa tecnica, è una complicanza grave che può portare a un'amputazione. La sua incidenza varia tra il 5%

e il 13%^[55]. La tibia prossimale è il sito più esposto a questa complicanza. È stato riportato che fattori come la trasfusione di sangue, la localizzazione del tumore, le ri-operazioni, l'artrodesi aumentano il rischio^[56]. La necessità di coprire l'innesto è indispensabile. Un modo di prevenire l'infezione è immergere l'innesto omologo in una soluzione antibiotica, poiché l'osso può essere un veicolo appropriato per la liberazione locale di antibiotici come la vancomicina o la rifampicina^[57]. Biopsie di frammenti ossei impregnati di vancomicina utilizzati in interventi di revisione di artroplastica dell'anca hanno mostrato una formazione ossea normale intorno all'innesto, suggerendo che la vancomicina non influenza la consolidazione^[58].

Che cosa bisogna precisare alla banca di tessuto durante l'ordine di un innesto omologo?

Bisogna confermare o smentire l'ordine di un tessuto alla banca precisando l'indirizzo dell'ospedale di destinazione, il luogo esatto di consegna, l'identità del medico destinatario e i riferimenti del paziente. È necessario rinviare alla banca di tessuto il foglio di tracciabilità con i riferimenti dell'innesto e del paziente. Bisogna precisare il più possibile la dimensione dell'innesto desiderato (lunghezza, diametro, ecc.), così come l'indicazione. La banca di tessuto può fornire uno scanner dell'innesto omologo perché il medico che richiede l'innesto possa farsi un'idea della forma e della dimensione dell'innesto omologo. Una possibilità è di collaborare con uno studio di progettazione di guide di taglio per fornire una guida di taglio per l'osso ricevente, ma anche per la preparazione dell'innesto omologo^[59].

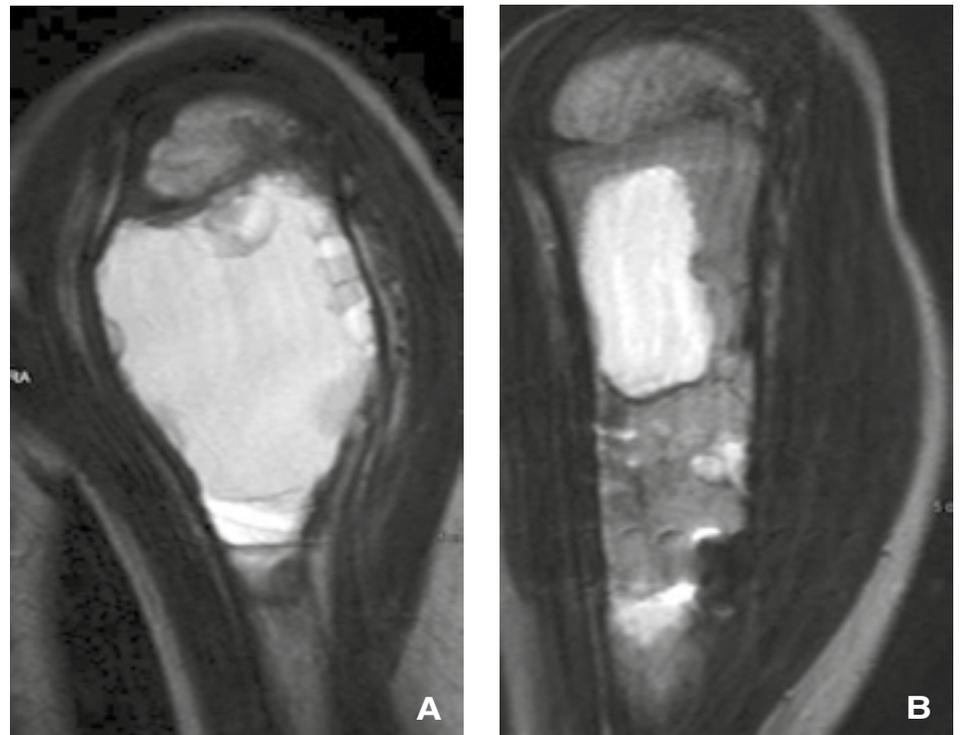
Modalità di ricezione di un innesto omologo in sala operatoria

MATERIALE CONGELATO

Quando si utilizza un innesto omologo massivo, è necessario preparare un impianto a bagnomaria a 37°C che contenga soluzione fisiologica (\pm da 2 a 4 l) nel quale si aggiunge rifampicina alla dose di 1,2 g/l. L'osso congelato viene disimballato sterilmente e poi immerso nella soluzione. Non si ritaglia o plasma se non una volta scongelato. Quando l'innesto omologo è già frammentato e ha un volume meno ingombrante, si sposta la soluzione in un recipiente sterile di capacità più ridotta. La fissazione dell'innesto omologo deve essere rigida e ottenuta tramite un'oste-



10 Esempio di frattura di innesto omologo osteocondrale del radio distale. Stesso paziente qualche mese dopo mostra un riassorbimento dell'innesto con frammentazione e frattura. L'innesto sarà quindi sostituito.



11 A. Esempio di utilizzo di matrice ossea demineralizzata associata a midollo osseo con iniezione percutanea in una cisti aneurismatica in un bambino di 7 anni. È visibile una tumefazione e il bambino prova dolore. B. Due anni dopo l'iniezione percutanea di matrice ossea demineralizzata associata a midollo osseo, la tumefazione è scomparsa e il bambino è asintomatico. La cisti è diventata latente e persiste qualche lacuna residua.

osintesi (chiodo o placca) o con riduzione. Si preferisce un'osteotomia a "scalino" in caso di utilizzo di chiodo per aumentare la stabilità rotatoria. Una profilassi antibiotica è indicata da 24 a 48 ore.

MATERIALE LIOFILIZZATO

L'osso liofilizzato viene reidratato a preferenza in midollo osseo o sangue del paziente o, in mancanza di essi, in soluzione fisiologica. Dipendendo dal volume, è necessario un tempo di attesa di circa 15 minuti per la reidratazione del materiale. Quando si utilizzano più di 10 ml, si raccomanda di aggiungere rifampicina alla dose di 1,2 g/l. Generalmente, il materiale ridotto è tenuto in un sito protetto meccanicamente.

Indicazione degli innesti ossei o osteocartilaginei

RITARDO DI CONSOLIDAZIONE E PSEUDOARTROSI IPERTROFICA

■ Innesto autologo spongioso

Se si decide per un accesso a cielo aperto della pseudoartrosi diafisaria, esso si realizza con una decorticazione lasciando l'osso corticale attaccato tramite una cerniera periosteale, che aumenta la superficie di osteogenesi^[60]. È poi necessario asportare il tessuto fibroso interframmentario e cruentare le superfici ossee. È necessario anche riaprire il canale midollare spesso otturato da un osso denso o da un tessuto fibroso. Gli innesti spongiosi sono quindi inseriti a contatto con il focolaio di pseudoartrosi. È necessaria un'osteosintesi rigida e stabile.

■ Iniezione di midollo osseo

Il midollo osseo è aspirato molto facilmente dalla cresta iliaca con l'aiuto di un trequarti. Si suppone che questo midollo porti progenitori osteoblastici^[61]. Muschler raccomanda di non prelevare più di 2 ml di midollo per sito di puntura per massimizzare il numero di progenitori osteoblastici ed evitare la contaminazione tramite sangue periferico^[62]. Nei bambini, Yandow raccomanda di non prelevare più di 5 ml^[63]. Vi è una correlazione diretta tra il numero di progenitori iniettati nel focolaio e il volume di callo osseo osservato ulteriormente^[64].

■ Matrice ossea demineralizzata

Il potere osteogenico del midollo si può aumentare tramite un effetto sinergico mescolandolo con DBM^[65, 66]. La granulometria

della DBM si diminuisce quindi in modo da poter iniettarla in modalità percutanea. Questo insieme si può utilizzare in pseudoartrosi o ancora per fermare la fase litica di una cisti ossea o aneurismatica confermata istologicamente^[38] (Fig. 11).

RITARDO DI CONSOLIDAZIONE CON PERDITA DI SOSTANZA CORTICO-SPONGIOSA

Se vi è una perdita di sostanza, questa deve essere riempita. Esistono diverse tecniche.

■ Innesto intertibiofibulare

A condizione che la fibula sia solida, l'innesto intertibiofibulare permette di guarire un gran numero di pseudoartrosi della tibia, anche infette. La tecnica consiste nell'incastare un innesto iliaco cortico-spongioso tra la tibia e la fibula, abitualmente tramite una via d'accesso postero-esterna^[67] o una via d'accesso antero-esterna^[68]. Nella via postero-esterna, si accede alla fibula tra il muscolo peroneo lungo e il muscolo soleo. Il soleo, il lungo flessore dell'alluce e il tibiale posteriore sono scollati fino alla membrana interossea. La membrana interossea può essere conservata^[67] o asportata. Nella via antero-esterna, l'incisione è anteriore alla fibula e il passaggio si effettua tra i muscoli fibulari e l'estensore delle dita del piede^[69]. La stabilità è assicurata da un fissatore esterno o da una placca. In caso di antecedenti di trauma grave o di chirurgia di revisione, è necessario un esame vascolare^[67] poiché, se la gamba è vascolarizzata solo da un tronco arterioso unico, è necessario scegliere la via d'accesso in conseguenza (via anteriore in caso di arteria tibiale posteriore unica).

■ Tecnica di Papineau

La prima tappa consiste nell'asportazione di tutti i tessuti infetti (saucerization). Non si pratica nessuna chiusura cutanea, e si posiziona una garza grassa. Le garze si cambiano tutti i giorni e tutti i giorni si effettua una pulizia per irrigazione con soluzione fisiologica^[70]. Dopo 15 giorni, si preleva osso spongioso a livello delle creste iliache. Il sito ricevente viene pulito di nuovo, il tessuto di granulazione viene cruentato e gli innesti vengono inseriti nella perdita di sostanza. Con questa tecnica il tempo di ricovero è molto lungo. Si possono rivelare utili lembi muscolari per coprire gli innesti e accelerare la chiusura^[71].

Una modifica della tecnica di Papineau è stata descritta con un grande sbrigliamento dell'osso necrotico e infetto, un impianto

di innesto autologo spongioso e una chiusura di seconda intenzione assistita dal sistema Vacuum Assisted Closure® (VAC®) con terapia antibiotica parenterale in associazione^[72].

■ Tecnica della camera biologica

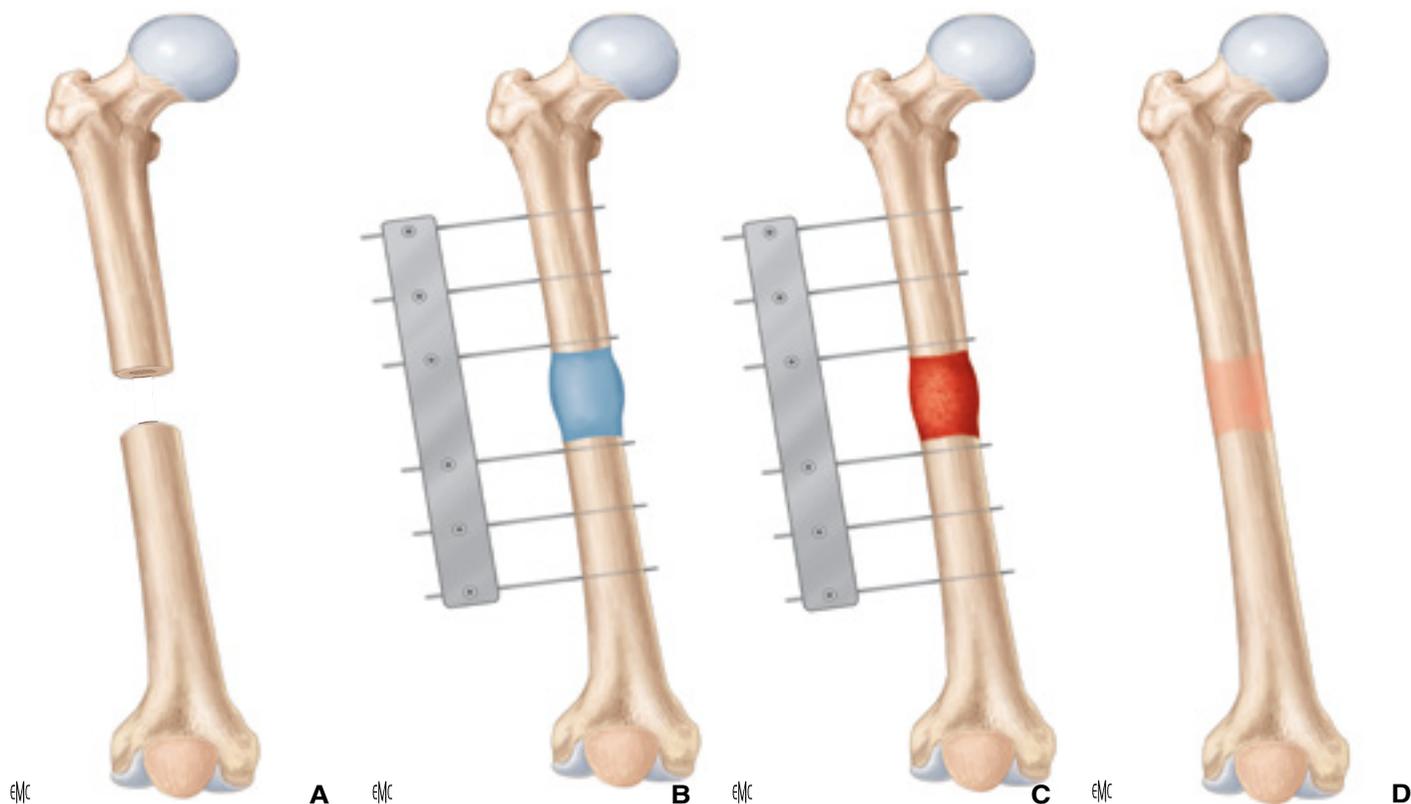
La tecnica della camera biologica iniziata da Masquelet^[73] comprende due tappe (Fig. 12). La prima consiste in un grande sbrigliamento di tutto l'osso infetto o necrotico e il posizionamento di un cilindro spaziatore in cemento. Il cemento deve coprire tutta la perdita di sostanza ossea in lunghezza e in diametro ed è responsabile della formazione di una membrana pseudosinoviale che si comporta come un neoperiostio. Il cilindro spaziatore deve anche liberare il primo centimetro di osso sano in ogni estremità. È necessaria anche una copertura muscolare e cutanea di buona qualità. La seconda tappa consiste nella ricostruzione della perdita di sostanza ossea con un innesto spongioso autologo. La membrana viene quindi incisa, il canale midollare è reso nuovamente libero mentre si realizza una decorticazione alle due estremità. Si pone il tessuto spongioso autologo. La membrana indotta dal cemento previene l'assorbimento dell'innesto e favorisce la sua vascolarizzazione e la sua corticalizzazione. Nella serie di Masquelet che riguarda 35 perdite di sostanza che vanno dai 4 ai 25 cm su segmenti diafisari di ossa negli arti inferiori, la ripresa di passo normale è stato possibile in media dopo otto mesi e mezzo^[73].

■ Innesto osseo omologo

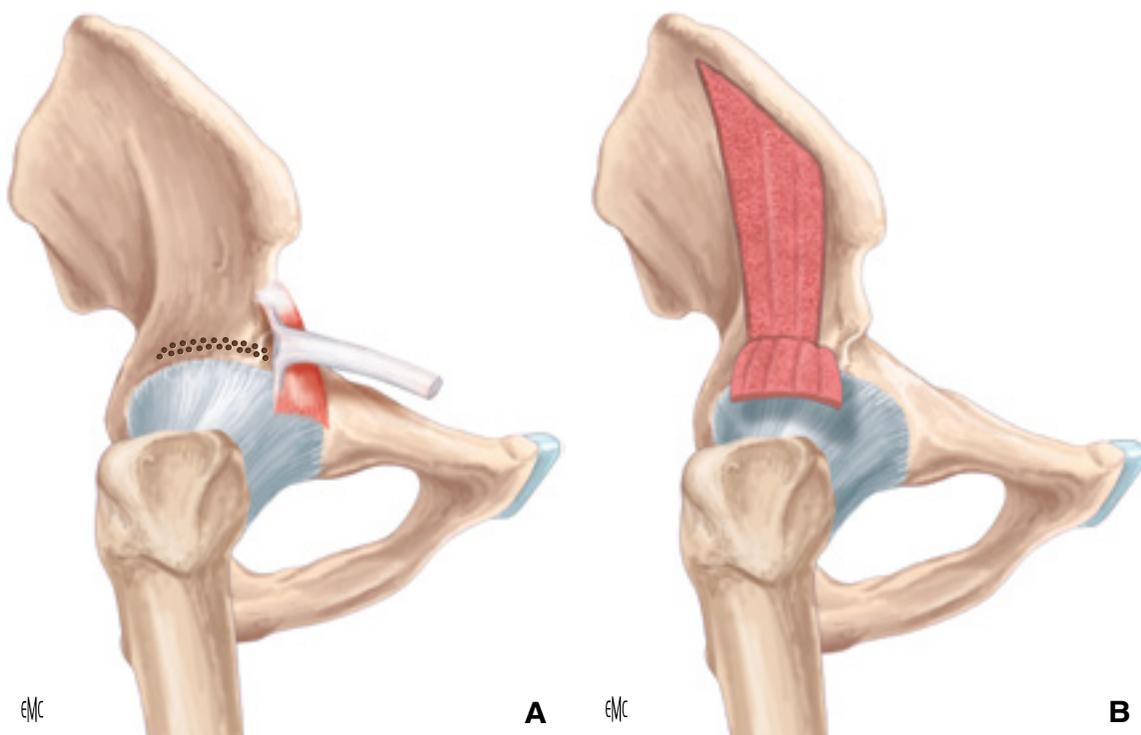
Una perdita di sostanza cortico-spongiosa può essere trattata anche con il posizionamento di un innesto omologo massivo. Questo non ha alcun potere di osteo-induzione. La ripresa dell'appoggio si realizza dopo due mesi, ma ci si espone al rischio di pseudoartrosi, di frattura e di infezione come con tutti gli innesti omologhi strutturali massivi.

ACETABOLOPLASTICHE DI STABILIZZAZIONE O DI RIMODELLAMENTO

Un'acetabolooplastica ossea è un innesto che punta ad aumentare la copertura epifisaria di un'articolazione. Un innesto autologo ha minore tendenza al riassorbimento rispetto a un innesto omologo, quando è sollecitato da disturbi meccanici. Nell'anca, si può utilizzare una cresta iliaca (corticale esterna) per avere una concavità che sposa la forma della testa femorale. Le indicazioni di acetabolooplastica dell'anca sono la malattia di



12 *Tecnica della camera biologica (da A a D). La zona di pseudoartrosi è resecata. Si posiziona uno spaziatore in cemento, che induce una pseudomembrana sinoviale. La membrana viene poi aperta e lo spazio che era occupato dal cemento viene riempito con osso spongioso autologo che permette una consolidazione.*



13 *Tecnica dell'acetaboloplastica dell'anca nel bambino (A, B). Si realizza una via d'accesso anteriore dell'anca. Il tendine riflesso del muscolo retto femorale è rilevato poiché si attacca sul bordo cotiloideo. Si realizzano piccoli fori con punta a filo della capsula, poi si riuniscono con l'aiuto di una pinza-sgorbia fine. Si prelevano innesti corticali dalla corticale esterna dell'osso iliaco e s'incastrano nell'incavo. Si aggiungono poi vari strati d'innesti per aumentare il volume dell'innesto.*

Legg-Calvé-Perthes^[74, 75] (Fig. 13, 14), la diplasia sintomatica dell'adolescente e del giovane adulto^[76] o una lussazione recidiva post-traumatica dell'anca^[77]. Nella spalla, l'apofisi coracoide è spesso prelevata e avvitata al bordo anteriore della glene (tecnica di Latarjet). Questo intervento può essere realizzato in artroscopia^[78].

RIEMPIMENTO SPONGIOSO O CORTICO-SPONGIOSO (FRATTURA, TUMORE O REVISIONE DI ARTROPLASTICA DELL'ANCA O DEL GINOCCHIO)

In caso di perdita di sostanza, che sia legata a una frattura osteoporotica, a un curettage per

neoplasia o ancora in seguito all'usura di una protesi, si può rivelare utile riempire la cavità con innesti spongiosi o cortico-spongiosi.

■ Innesto autologo

Una cavità creata dopo curettage di un tumore o in seguito a una frattura epifisaria deve



14 Acetaboloplastica dell'anca in un bambino di 7 anni e mezzo con necrosi massiva della testa femorale (malattia di Legg-Calvè-Perthes).

A. La testa femorale comincia a scentrarsi e a trasbordare dal cotile e ad appiattirsi.

B. Si realizza una grande acetaboloplastica per coprire la testa.

C. Risultato radiologico dopo due anni. La testa femorale si è ricostruita mantenendo una sfericità soddisfacente poiché l'acetaboloplastica ha prevenuto una scentratura e un appiattimento della testa.

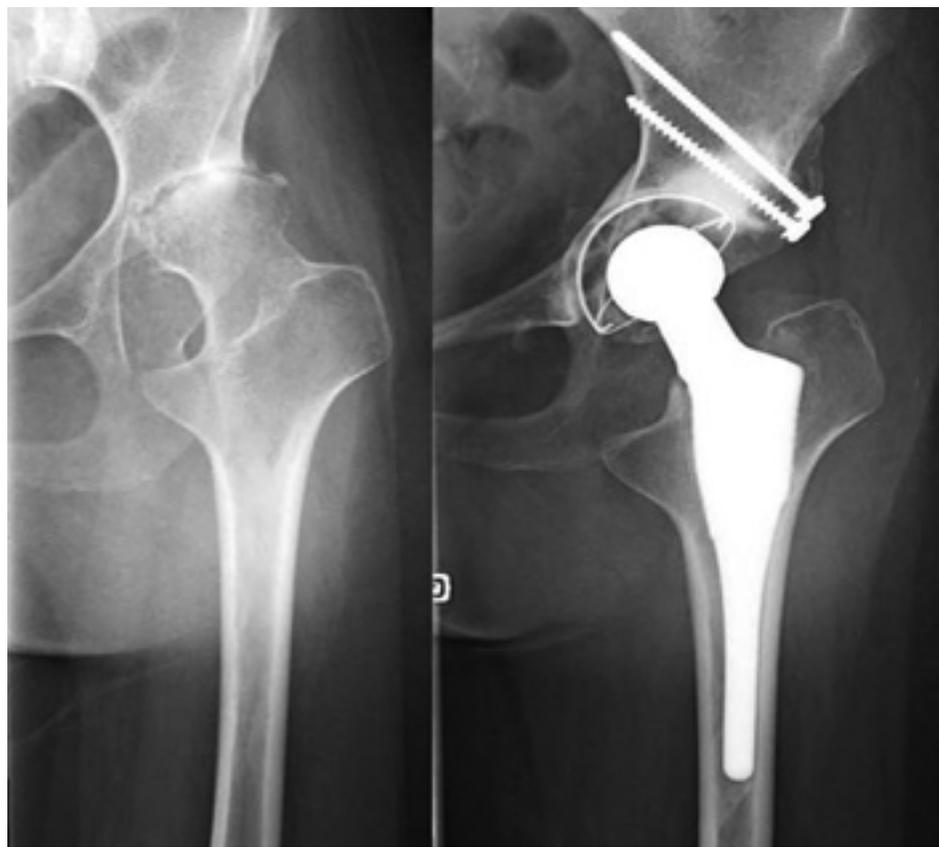
essere riempita. Si può prelevare dell'osso spongioso autologo a livello delle creste iliache o su un altro sito come la tibia prossimale. I frammenti sono compressi con battitore per riempire completamente la cavità. In caso di ricostruzione cotiloidea per una protesi di prima intenzione, la testa femorale del paziente può essere utilizzata come acetaboloplastica se il cotile del paziente è displasico e troppo poco profondo per contenere in modo adeguato un cotile protesico.

Il bordo del cotile è ravvivato con curette, poi la testa femorale del paziente viene avvitata nella zona displasica facendo attenzione che le teste delle viti non si trovino nella zona in cui l'innesto è alesato. L'acetaboloplastica viene quindi alesata con il cotile rinforzato (Fig. 15).

■ **Innesto omologo: frammentato, in blocco, iniettabile, liofilizzato o congelato?**

L'innesto omologo spongioso è spesso prelevato a scapito di una testa femorale di banca. Può essere sia congelata che liofilizzata. L'innesto omologo può anche essere fornito in una sola seduta, o a "segmenti". Se una testa femorale non preparata viene liberata, l'osso corticale e la cartilagine sono eliminati e l'osso spongioso rimanente è frammentato con l'aiuto di una pinza sgorbia o con l'aiuto di un trita-osso. Questi frammenti vengono quindi compressi nella cavità per riempirla completamente. Una compressione adeguata della cavità permette una solidità primaria soddisfacente. È anche possibile utilizzare innesto omologo e autologo (Fig. 16).

Se il riempimento interessa una zona articolare portante, è necessario talvolta sostenere l'osso subcondrale con un innesto cortico-spongioso, per esempio un frammento della cresta iliaca, per evitare il collasso dell'articolazione. Allo stesso modo, dopo l'ablazione di un chiodo femorale prossimale,



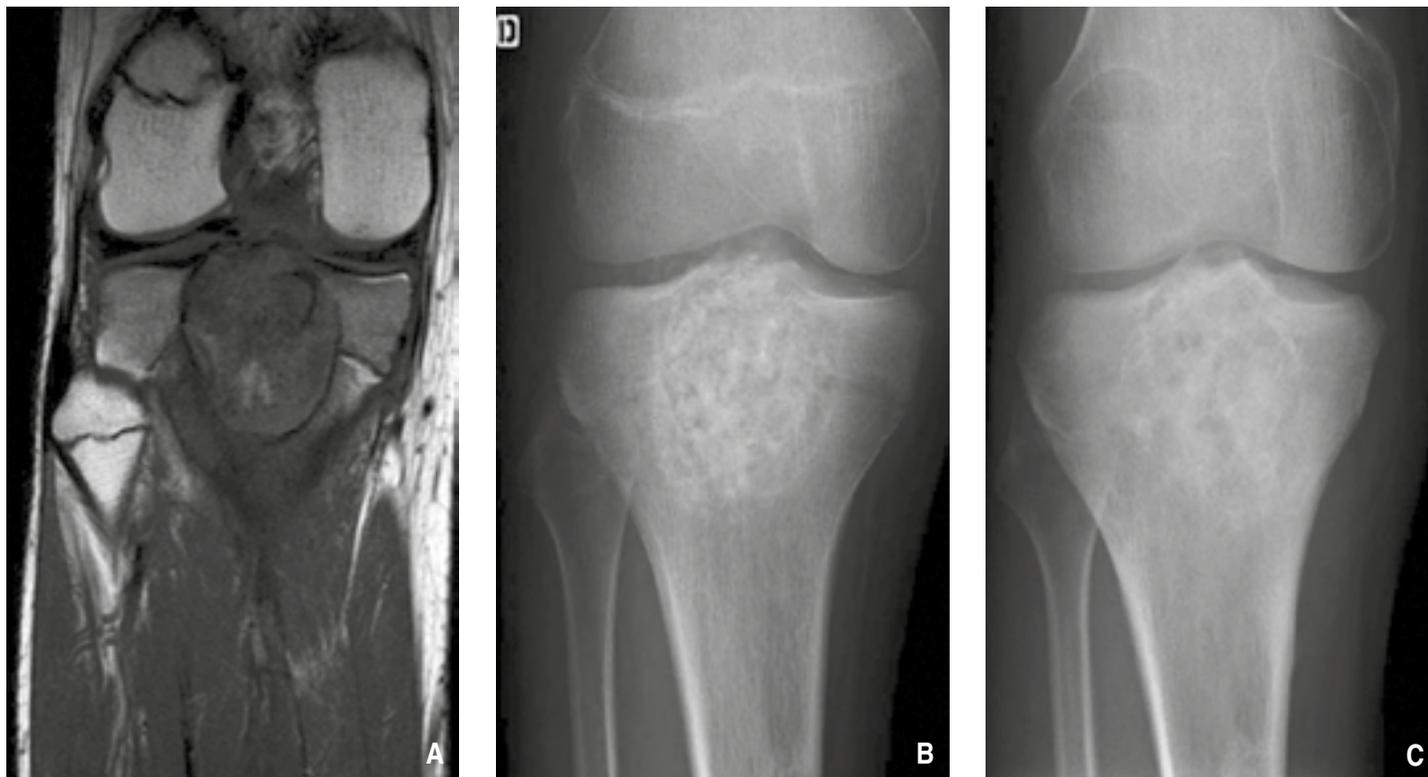
15 Paziente di 23 anni con forma severa di artrite reumatoide infantile iniziata all'età di 18 mesi. Il cotile è displasico e la testa femorale sublussata ha creato una perdita di sostanza a livello del cotile. La testa femorale del paziente è utilizzata come innesto autologo e avvitata prima della fresatura del cotile e dell'impianto di una protesi cotiloidea cementata.

è talvolta necessario riempire lo spazio vuoto corrispondente al posizionamento di un chiodo con un innesto omologo della fibula liofilizzata (Fig. 17).

In una revisione di protesi, la perdita di sostanza cotiloidea può essere riempita con una testa di banca congelata. È preferibile armarlo con un anello di sostegno per diminuire i rischi di scollamento e di riassorbimento. Questo anello si appoggia sul foro otturatore e permette di posizionare correttamente il cotile^[79].

La perdita di sostanza parietale di un osso

lungo che presenta una minaccia meccanica (per esempio fragilizzazione da lisi della corticale di una metafisi da un tumore osseo benigno) può essere ricostruita con la confezione di una replica proveniente da un innesto omologo massivo. Si può realizzare una guida di taglio (strumento specifico al paziente) per facilitare il taglio della replica. La replica permette di ricreare un'anatomia normale, ma necessita un'osteosintesi di protezione. Nelle cisti aneurismatiche dimostrate istologicamente, l'utilizzo dell'osso corticale demineralizzato per indurre



16 Condrolastoma in un ragazzo di 14 anni.

A. Dopo curettage completo della lesione e trattamento adiuvante con laser, la cavità è riempita con innesto omologo spongioso frammentato associato a innesto autologo proveniente dalla cresta iliaca.

B. Risultato a sei settimane.

C. Risultato due anni e mezzo dopo.



17 A. Frattura patologica del femore prossimale su una cisti ossea essenziale in un bambino di 10 anni.

B. Osteosintesi con chiodo femorale prossimale.

C. Dopo ablazione del chiodo, due anni dopo, la cavità è riempita con una fibula liofilizzata per prevenire una frattura.

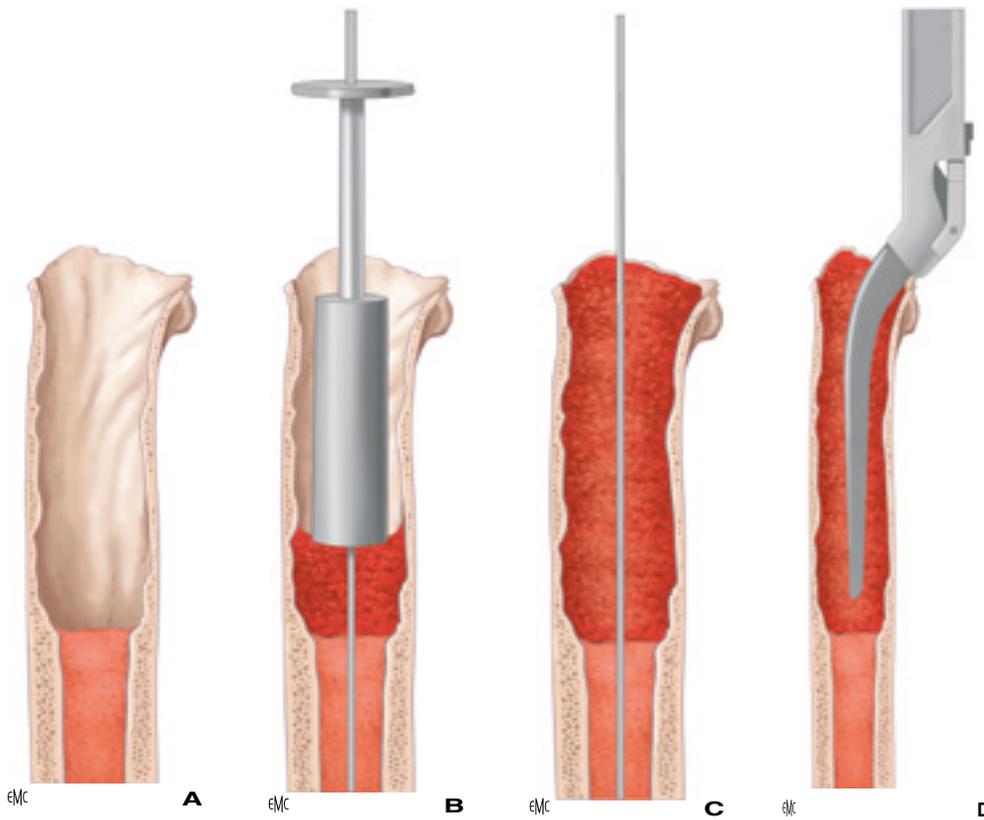
D. Risultato finale all'età di 19 anni e mezzo.

l'innescò della ricostruzione spontanea della cisti è lecito. Le particelle della matrice organica sono sufficientemente fini per essere iniettate attraverso un tre quarti (Fig. 11)^[80].

RIEMPIMENTO DIAFISARIO FEMORALE (RIDUZIONE)

In caso di revisione di protesi totale d'anca, nella maggior parte dei casi vi è una perdita di

sostanza più o meno consistente dopo aver rimosso la protesi preesistente e il suo mantello di cemento. Per ricreare un bone stock sufficiente si può utilizzare la tecnica della riduzione, che dà buoni risultati^[36, 81]. Si comprimono

**18** *Tecnica della riduzione.*

A. Dopo rimozione della protesi e del mantello di cemento, vi è una cavità importante e le corticali sono assottigliate.

Da B a D. Si utilizza un battitore per comprimere segmenti spongiosi nella cavità intorno alla guida. Una protesi di prova permette di ricreare la cavità che accoglierà la revisione di protesi.



19 *Resezione di un osteosarcoma dell'omero in un giovane ragazzo di 14 anni (da A a D). Una protesi inversa è posizionata su un innesto omologo dell'omero.*

innesti spongiosi frammentati nel canale femorale prima dell'impianto della nuova protesi (Fig. 18). Per ottenere un risultato ottimale, i segmenti di osso liofilizzato sono di bassa granulometria mentre quelli di osso congelato misurano centimetri^[82].

RICOSTRUZIONE DOPO CHIRURGIA NEOPLASTICA DELL'ARTO SUPERIORE

■ *Resezione-ricostruzione dell'estremità superiore dell'omero*

Ricostruzione con protesi inversa

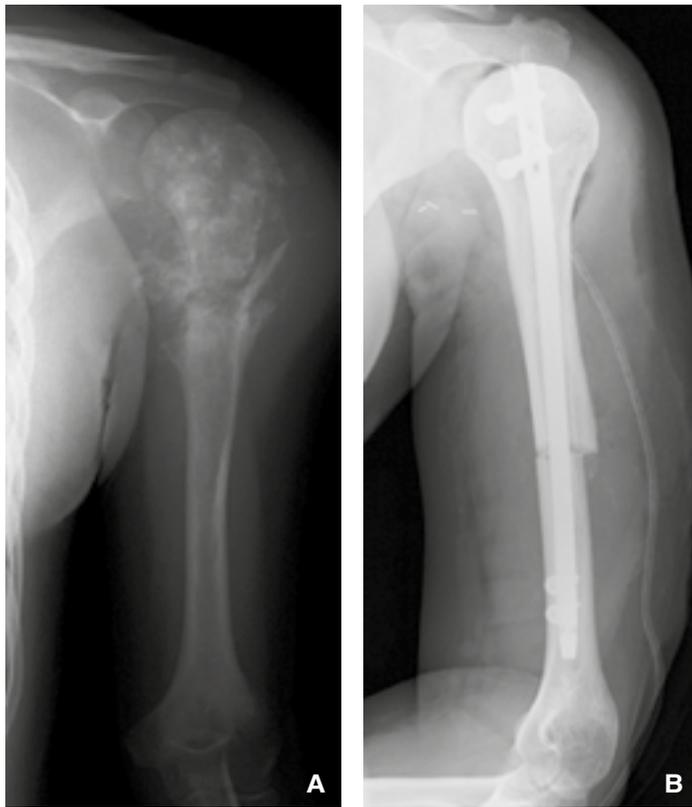
In caso di resezione dell'estremità superiore dell'omero con conservazione del deltoide, la

ricostruzione si può fare con protesi inversa, utilizzando un innesto omologo intorno alla protesi (Fig. 19). L'innesto omologo diventa necessario per una resezione maggiore di 10 cm quando l'inserzione omerale del deltoide viene sacrificata. L'impianto omerale è sigillato nell'innesto omologo con cemento caricato di antibiotico. Questo blocco protesi e impianto viene poi sigillato nell'omero ricevente con un'altra dose di cemento, posizionando l'insieme con una retroversione da 5 a 10°. La giunzione innesto omologo-omero deve essere la più congruente possibile. La capsula e la cuffia dei rotatori dell'innesto omologo vengono suturate per quanto possibile su quelle del ricevente. Il paziente

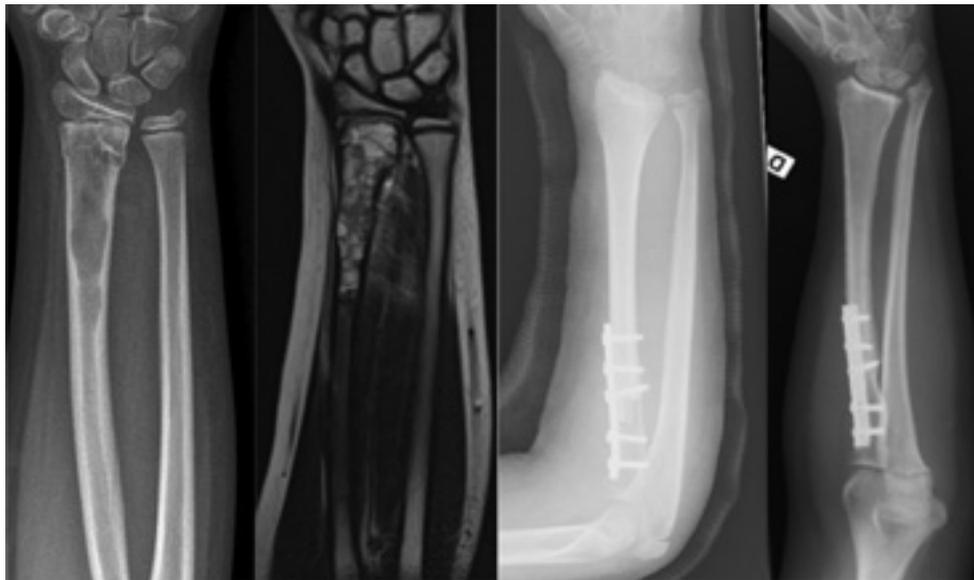
è immobilizzato con un tutore in abduzione della spalla per sei settimane per favorire la consolidazione della giunzione ossea. La rieducazione attiva comincia dopo la rimozione del tutore.

Ricostruzione con innesto omologo osteocondrale isolato (Fig. 20)

In caso di resezione extra-articolare la testa omerale viene poi posizionata verso la neocavità. È necessaria un'immobilizzazione di otto settimane per ottenere la cicatrizzazione delle parti molli articolari. La funzione attesa dell'arto superiore è mediocre e contrasta con il mantenimento di un'estetica molto soddisfacente.



20 Ragazza di 14 anni e mezzo con osteosarcoma dell'omero già ben invasivo (A, B). Ricostruzione con innesto omologo dell'omero.



21 Bambina di 8 anni che presenta un osteosarcoma teleangectasico del radio distale che invade la cartilagine di crescita. Da sinistra a destra: radiografia preoperatoria, imaging a risonanza magnetica (RMN) preoperatorio, radiografia postoperatoria precoce, radiografia di evoluzione dopo tre anni e mezzo.

■ Resezione-ricostruzione della diafisi omerale

Le localizzazioni diafisarie dei tumori maligni sono molto più rare. Si tratta nella maggior parte dei casi di sarcomi di Edwing o di condrosarcomi. La localizzazione del nervo radiale è spesso necessaria nella sua parte distale. La ricostruzione richiede un innesto omologo massivo diafisario dell'omero. Si realizza l'osteosintesi con l'aiuto di un chiodo centromidollare, idealmente in titanio con bloccaggio prossimale e distale. È anche possibile utilizzare come innesto autologo una fibula va-

scolarizzata, che si posiziona lateralmente rispetto al chiodo. Se la fibula è incastrata nel canale midollare a ogni estremità, l'osteosintesi richiede una placca avvitata laterale.

■ Resezione-ricostruzione dell'articolazione del gomito

I tumori localizzati nel gomito sono rari e riguardano soprattutto l'omero distale. A questo livello, le ossa sono sottocutanee e a contatto diretto con i peduncoli vascolonervosi. In caso di compromissione dei peduncoli, un trattamento conservativo non è più possibile.

Resezione dell'omero distale

Spesso si utilizza la via posteriore. Se necessario, si possono utilizzare due vie d'accesso, mediale e laterale. Si localizza e disseca il nervo ulnare, se è possibile si conserva. Si seziona il tricipite a V rimanendo a distanza dal tumore. Se il tumore risale a più di 7 cm dal gomito, il nervo radiale deve anch'esso essere dissecato. Si seziona la diafisi con sega oscillante all'altezza determinata. La ricostruzione può consistere in un'artrosi nei lavoratori che svolgono lavori pesanti e nei pazienti giovani. Un innesto omologo associato a un innesto autologo è utilizzato in caso di

grande ricostruzione. Per una ricostruzione più limitata, si può utilizzare solo l'innesto autologo, sotto forma di stecca tibiale o di fibula.

Si può realizzare la ricostruzione anche con una protesi constrained realizzata su misura. Si discute l'apporto di un innesto omologo osseo^[83, 84]. Gli steli protesici vengono cementati rispettando la rotazione. Alcuni Autori propongono di utilizzare un innesto omologo di estremità dell'omero distale con la sua capsula e i suoi legamenti^[85].

L'osteosintesi viene realizzata con l'aiuto di una placca avvitata. La capsula e i suoi legamenti del ricevente vengono suturati a quelli dell'innesto omologo.

Per le resezioni parziali (colonna mediale o laterale dell'omero distale), si taglia l'innesto omologo alle dimensioni necessarie, poi si fissa con placca. È anche possibile utilizzare un innesto autologo iliaco tagliato in modo tale che assomigli più o meno a una paletta omerale.

Resezione dell'ulna prossimale

Il danno della sola ulna prossimale è un'eccezione. La ricostruzione si può fare anche con artrodesi del gomito con innesto autologo e osteosintesi con placca. È possibile inoltre utilizzare una protesi, ma l'ancoraggio nell'ulna è spesso precario con possibilità di scollamento precoce.

È possibile anche una ricostruzione dell'ulna prossimale con innesto omologo osteocondrale, ma con l'instaurarsi di un'usura articolare entro i due anni. Rydholm propone un'artroplastica del gomito in cui il radio viene lussato posteriormente finché il collo radiale si articola con la troclea. Si sutura il tendine tricipite sulla testa radiale^[8].

Resezione del radio prossimale

Il danno del solo radio prossimale a causa di un tumore maligno è anch'esso un'eccezione. Sono più frequenti tumori benigni: si tratta perlopiù di tumori a cellule giganti e di displasia fibrosa.

Non è sempre necessario ricostruire. In caso di ricostruzione, si può utilizzare una protesi della testa radiale, o un innesto omologo osteocondrale^[86].

■ Resezione-ricostruzione della diafisi di due ossa dell'avambraccio

In questa posizione sono un'eccezione anche i tumori maligni. Spesso il tumore invade i peduncoli vascolonervosi e la conservazione dell'arto è controindicata.

La ricostruzione, quando è possibile, si può fare con una diafisi fibulare, vascularizzata o non, o un innesto omologo massivo e l'osteosintesi è affidata a una placca^[86].



22 Montaggio d'innesto omologo del femore prossimale con protesi totale dell'anca. Resezione di 22 cm del femore prossimale per un condrosarcoma in un uomo di 56 anni al momento dell'intervento, ricaduta di tre anni.

■ Resezione-ricostruzione del polso

I tumori più frequenti a livello del radio distale sono i tumori a cellule giganti. Se tecnicamente possibile, si può realizzare un curettage-riempimento del tumore a cellule giganti con l'aiuto di innesti omologhi spongiosi frammentati.

Un'artroplastica con un'estremità prossimale di fibula autologa non vascularizzata è una possibilità terapeutica da considerare^[87]. Il trattamento di scelta rimane tuttavia l'artrodesi tra il radio e la prima fila delle ossa del carpo con un innesto tibiale interposto^[88]. I pazienti conservano così una pronosupinazione normale e una mobilità in flessione-estensione nell'articolazione mediocarpale. Le alternative sono l'innesto di fibula vascularizzata e l'innesto omologo massivo (Fig. 21).

Per l'ulna distale, non è necessario effettuare una ricostruzione. Si può utilizzare anche un trapianto omologo osteocondrale. È necessario assicurare una stabilità dell'articolazione con una sutura della capsula articolare. Non è generalmente possibile conservare una stabilità del radio-ulnare distale, ma questo riduce poco la mobilità del paziente.

■ Resezione-ricostruzione dei metacarpi

A questo livello, i tumori maligni sono un'eccezione. Per le resezioni diafisarie, la ricostruzione si realizza con un innesto autologo prelevato sulla tibia o la fibula con un'osteosintesi con chiodi o placca. Per una resezione totale del metacarpo, la ricostruzione si può realizzare con un innesto omologo o un innesto autologo di metatarsi. Questo metatarso è bloccato sul carpo precedentemente cruentato e fissato con un inchiodamento. L'articolazione metacarpo-falangea è ricostituita con sutura della capsula e dei legamenti laterali.

RICOSTRUZIONE DOPO CHIRURGIA NEOPLASTICA DELL'ARTO INFERIORE

■ Resezione-ricostruzione del femore prossimale

La ricostruzione richiede spesso una protesi totale dell'anca. Lo stelo può essere cementato e liberato con un innesto omologo (Fig. 22). Il componente acetabolare può essere cementato o meno. L'innesto omologo permette il reinserimento anatomico dei tendini dei glutei medio e minimo. Alla giunzione

ne innesto omologo-ospite, spesso si realizza uno “scalino” per aumentare la stabilità rotatoria. Nei pazienti con una cartilagine di crescita ancora aperta, si preferisce l’impianto di una protesi femorale bipolare senza preparazione acetabolare, per preservare la crescita del cotile. Lo stelo è cementato nell’innesto omologo.

Se il tumore femorale ha invaso l’acetabolo, è necessario resecare tutto il femorale prossimale e l’acetabolo. La ricostruzione resta possibile con una protesi fissata in un innesto omologo femorale e con innesto omologo del bacino.

■ *Resezione-ricostruzione della diafisi femorale*

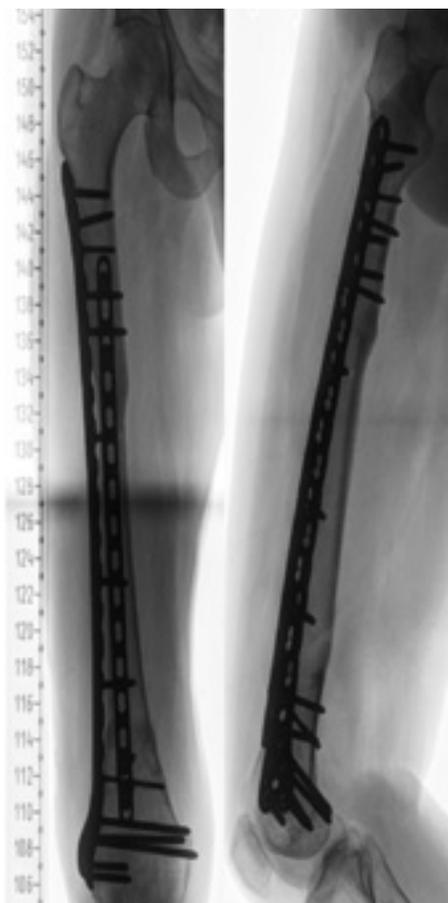
La ricostruzione può richiamare un trapianto omologo di diafisi femorale, o una protesi metallica intercalare.

L’innesto è fissato con un chiodo o una placca (*Fig. 23*).

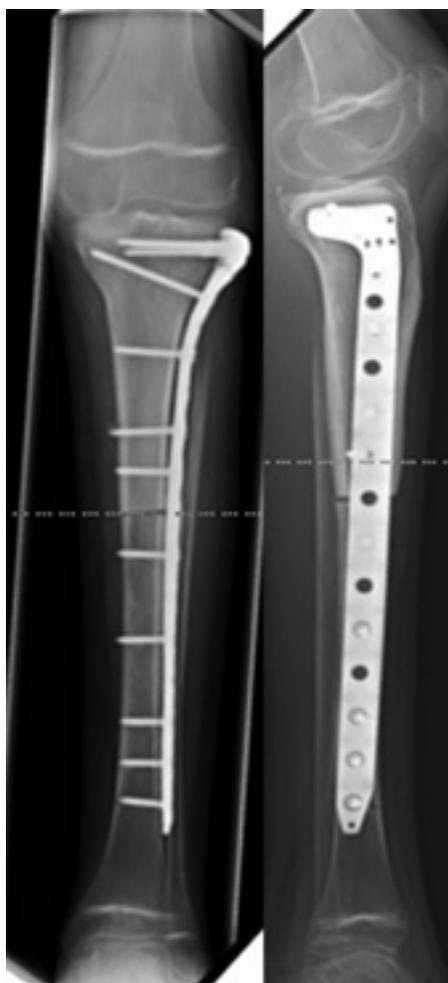
■ *Resezione-ricostruzione del femore distale e della tibia prossimale*

È nel femore distale e nella tibia prossimale che i tumori primitivi delle ossa sono più frequenti. Si può eseguire la ricostruzione con una protesi. Se il tumore raggiunge il femore distale, il femore è resecato rispettando un margine di sicurezza. Se la lesione riguarda anche l’articolazione, la resezione è extra-articolare e la tibia è tagliata a 5 mm dalla sua superficie articolare. Non è necessario fissare la protesi femorale con un innesto omologo poiché nessun muscolo s’inserisce sul femore distale. Se il tumore riguarda la tibia prossimale, si può prevedere una protesi del ginocchio con un innesto omologo della tibia prossimale. La ricostruzione del tendine rotuleo è più facile con un innesto omologo, ma quest’ultimo non è indispensabile con l’artificio di Dubousset, utilizzando un lembo gemello interno^[89]. Spesso viene impiegato per la copertura della ricostruzione e permette un miglior controllo delle complicanze settiche^[90]. In alternativa, un innesto omologo osteocondrale può essere preferito in un bambino con un potenziale di crescita nel ginocchio inferiore a 4 cm. Infatti, l’innesto omologo osteoarticolare sostituisce la fisi danneggiata ma rispetta la fisi opposta alla lesione (*Fig. 24*).

La fisi controlaterale corrispondente è trattata con epifisiodesi per evitare una dismetria difficile da gestire in seguito. Nei bambini, una protesi tibiale non cementata permette anche una crescita della tibia prossimale. Se l’epifisi può essere conservata, si utilizza un innesto omologo intercalare (*Fig. 25*).



23 Esempio di innesto omologo diafisario intercalare del femore ben integrato dopo un anno.



24 Bambino di 11 anni e mezzo con sarcoma di Ewing della tibia prossimale. Dopo resezione, la ricostruzione è assicurata da innesto omologo osteocondrale con menischi. Il pivot centrale è suturato così come i legamenti collaterali che permettono una mobilizzazione rapida del ginocchio. Il vantaggio rispetto a una protesi è la conservazione della crescita del femore distale. La tibia prossimale controlaterale è bloccata in epifisiodesi con avvitemento percutaneo.

RICOSTRUZIONE DOPO CHIRURGIA NEOPLASTICA DEL BACINO

Un tumore in zona I e in zona III di Enneking^[91] nella maggior parte dei casi non richiede alcuna ricostruzione (Fig. 26). Un tumore in zona II necessita di una ricostruzione. Questa può essere palliativa in caso di danno metastatico. In caso di tumore maligno primitivo si può prevedere un innesto omologo massivo^[92]. Se l'articolazione dell'anca è invasa, s'impiana una protesi totale d'anca (Fig. 27). In caso contrario, si può utilizzare la testa femorale del paziente. Per questo tipo di trapianto omologo, risulta complesso ottenere una buona corrispondenza tra il bacino del paziente e l'innesto omologo (Fig. 28).

Questi innesti omologhi del bacino danno buoni risultati a medio termine. L'innesto lavora tuttavia a fatica e finisce spesso per rompersi. Sulle ricostruzioni pericotiloidee, è necessario stabilizzare al meglio la protesi acetabolare: finisce altrimenti sistematicamente per scollarsi. Un'opzione è quella di utilizzare un avvitamento attraverso l'innesto o un impianto di tipo "conico". Le guide di taglio hanno migliorato nettamente le resezioni e le ricostruzioni da innesto del bacino. Rendendo il contatto tra l'innesto e l'osso nativo più preciso, la consolidazione e l'osteointegrazione dell'innesto omologo sono nettamente migliorate. Tenendo conto dei limiti degli innesti del bacino, le nuove generazioni d'impianti devono ancora essere testate ma sembrano molto promettenti.

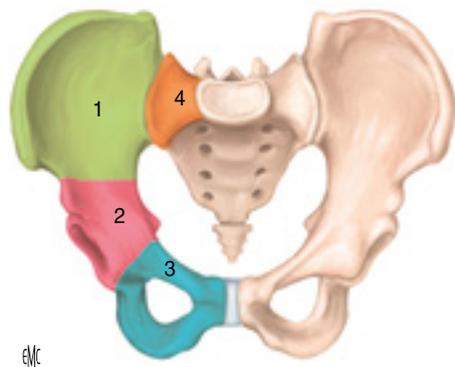
RACHIDE: CORPORECTOMIA E INNESTO OMOLOGO

La ricostruzione del corpo vertebrale si realizza con l'aiuto di uno o più innesti appoggiandosi sulla vertebra sana sovrastante e sottostante. È quindi necessario asportare i dischi adiacenti, rispettando se possibile l'osso sotto-corticale, più denso, dei piatti vertebrali. Gli innesti utilizzati sono:

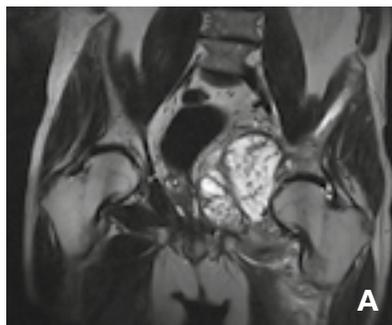
- innesti spongiosi, se vi è una perdita di sostanza minima che non compromette la stabilità ma realizza un vuoto nel corpo vertebrale;
- innesti cortico-spongiosi o corticali che possono essere ricavati dalla cresta iliaca anteriore o posteriore, o perdalone. Questi innesti possono essere mantenuti da graffe speciali o da placche avvitate. La ricostruzione si può realizzare anche tramite gabbie protesiche con o senza materiale osteoconduttore. Durante una chirurgia palliativa, la ricostruzione si può effettuare con cemento;
- innesti omologhi corticali (segmento di diafisi femorale o di fibula su un'altezza variabile) che possono essere adattati intraoperatoriamente e che danno un'eccellente stabilità al montaggio^[93].



25 Paziente di 18 anni operato per un osteosarcoma tibiale (A, B). Si è potuto conservare la superficie articolare. La zona di resezione è riempita con innesto omologo intercalare. La placca interna e la fibula esterna danno una buona stabilità al montaggio.



26 Zone di Enneking per la classificazione dei tumori che invadono il bacino. Zona 1: resezione dell'ileo; zona 2: resezione della regione dell'acetabolo; zona 3: resezione del quadro otturatore; zona 4: resezione dell'ala sacrale.



27 Paziente di 63 anni con voluminoso osteosarcoma nelle zone II e III di Enneking (A, B). La ricostruzione è assicurata con innesto omologo massivo dell'osso iliaco e da una protesi totale dell'anca.

PERDITA DI SOSTANZA OSTEOCARTILAGINEA

Nel trattamento delle perdite di sostanza cartilaginee è necessario tenere conto di numerosi fattori, come la dimensione della perdita di sostanza, la localizzazione, l'età del paziente e la richiesta funzionale del soggetto^[94].

■ Stimolazione midollare (microfratture)

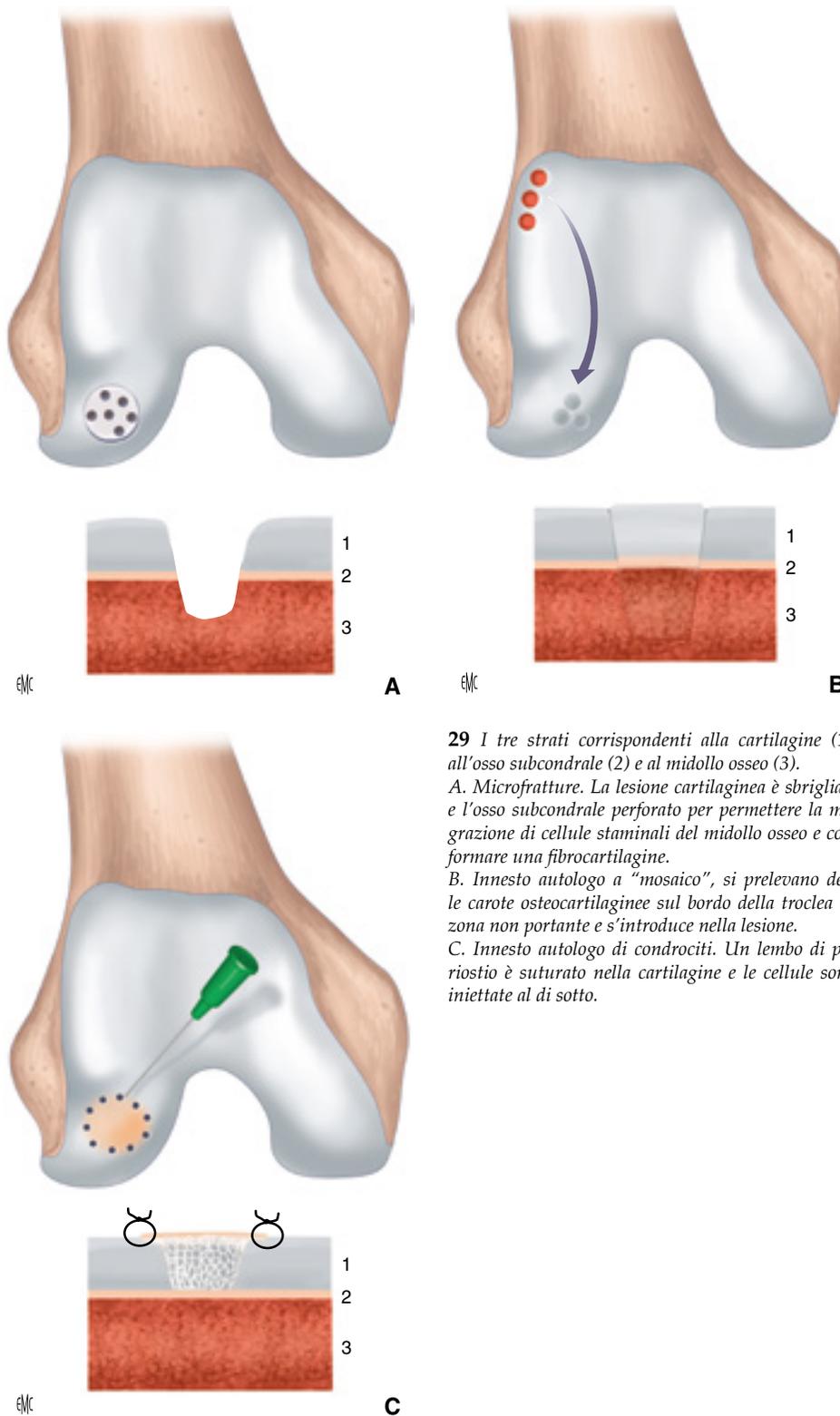
La perforazione dell'osso sottocondrale con l'aiuto di una piccola punta favorisce la migrazione locale delle cellule staminali del midollo osseo sottostante verso la cartilagine. Queste cellule sono capaci di produrre una fibrocartilagine (Fig. 29). Il coagulo di fibrina che si forma evolverà verso la costituzione di fibrocartilagine^[95]. Innanzitutto, la lesione cartilaginea viene sbrigliata. I fori di perforazione si realizzano perpendicolarmente alla superficie ossea, separati tra loro da 2 a 3 mm. Si osserva uno scarico postoperatorio di sei settimane con mobilizzazione passiva con artromotore (kinetek). Per lesioni osteocondrali inferiori a 2 cm nel condilo interno del femore, il risultato delle microfratture è equivalente a quello dell'impianto dei condrociti autologhi^[96], ma per lesioni maggiori (più di 2 cm) l'innesto autologo osteocondrale sembra dare risultati migliori^[97].

■ Innesto autologo osteocondrale (a "mosaico")

Questa tecnica consiste nel trasferire piccole carote osteocartilaginee da una zona articolare non portante verso la perdita di sostanza in modo da restituire una superficie cartilaginea (Fig. 29). I siti di prelievo descritti sono la troclea laterale, la rientranza intercondiloidea, la troclea mediale^[11]. Questa tecnica dà i risultati migliori nelle piccole lesioni, ma sembra essere ancora performante per lesioni tra i 2 e i 4 cm²^[96]. Questa tecnica può essere realizzata interamente con artroscopia o artrotomia. Numerosi sistemi in commercio permettono di prelevare carote per creare un impianto fino a 10 mm di diametro. È importante realizzare il prelievo perpendicolarmente alla superficie articolare per facilitare la congruenza dopo l'impianto^[98]. È necessario evitare di ledere i condrociti durante la riduzione e bisogna dunque evitare di utilizzare troppa forza durante l'inserimento dell'innesto^[99]. Generalmente, i pazienti sono lasciati in scarico per sei settimane con mobilizzazione passiva su artromotore^[98].



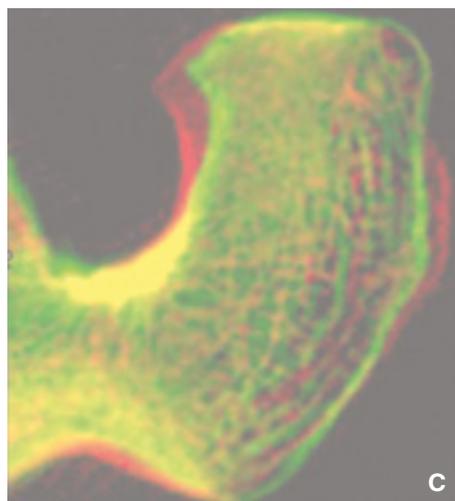
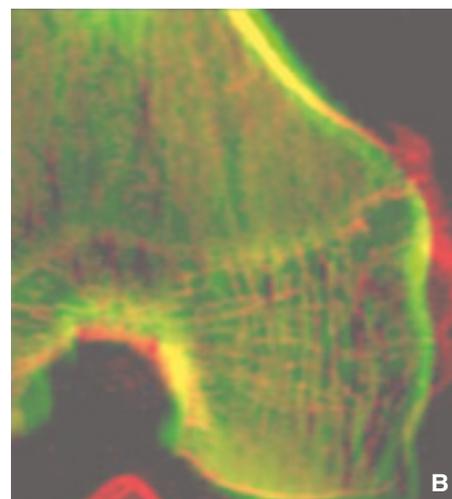
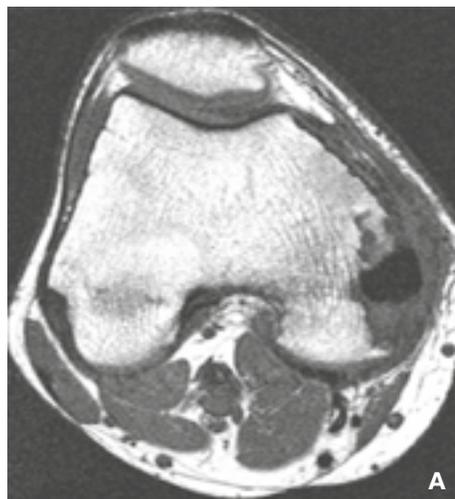
28 Paziente di 16 anni e mezzo con osteosarcoma che tocca le zone I, II e IV di Enneking. La ricostruzione è assicurata con innesto omologo massivo dell'osso iliaco con conservazione della testa femorale della paziente.



29 I tre strati corrispondenti alla cartilagine (1), all'osso subcondrale (2) e al midollo osseo (3).
 A. Microfratture. La lesione cartilaginea è sbrigliata e l'osso subcondrale perforato per permettere la migrazione di cellule staminali del midollo osseo e così formare una fibrocartilagine.
 B. Innesto autologo a "mosaico", si prelevano delle carote osteocartilaginee sul bordo della troclea in zona non portante e s'introduce nella lesione.
 C. Innesto autologo di condrociti. Un lembo di periostio è suturato nella cartilagine e le cellule sono iniettate al di sotto.

■ Terapia cellulare (impianto di condrociti autologhi)

Questa terapia è possibile per lesioni condrali o osteocondrali che misurano dai 2 ai 10 cm² con una perdita ossea di meno di 6-8 mm^[98]. La prima tappa consiste in una valutazione artroscopica della dimensione e della profondità della lesione condrale e termina con la biopsia della cartilagine. Questo prelievo si realizza con artroscopia in una zona non portante. Nel laboratorio, la cartilagine è trattata enzimaticamente per liberare i condrociti che sono poi coltivati in vitro^[1]. La seconda tappa consiste nell'impianto delle cellule dopo sei settimane di coltura^[98]. La perdita di sostanza si prepara con sbrigliamento della fibrocartilagine fino allo strato calcificato. Si creano fori verticali nella periferia della lesione. Si preleva un lembo del periostio, per esempio sulla parte mediale prossimale della tibia, distalmente rispetto alla zampa d'oca o altrove se necessario. Il lembo deve essere minimo 2 mm più grande della lesione. Una membrana di collagene sintetico è un'alternativa possibile. Il lembo del periostio viene suturato con cartilagine con dei punti spazati di circa 4 mm e sigillato con una colla di fibrina^[98]. S'inietta quindi la sospensione cellulare sotto la membrana del periostio con una cannula morbida. In fase postoperatoria, si rispetta uno scarico di sei settimane con mobilizzazione passiva.



30 Uomo di 31 anni con un condrosarcoma di grado I del condilo femorale mediale.
Da A a C. Risonanza magnetica

■ Innesto omologo osteocondrale (semi-, parziale, totale)

Gli innesti omologhi osteocondrali freschi o congelati sono molto utilizzati nel trattamento delle lesioni osteocondrali profonde o di grandi dimensioni. Non è necessaria nessuna immunosoppressione né alcun accoppiamento dei gruppi tissutali poiché i condrociti impiantati sono isolati dall'ambiente con la matrice cartilaginea e non sono quindi esposti a una reazione immunitaria^[100].

Gli innesti omologhi osteocondrali freschi vengono normalmente mantenuti a 4°C in ambienti di coltura normali o arricchiti, per una durata massima di 24 ore, che permette ai condrociti di sopravvivere dopo il trapianto^[98]. Inducono una reazione immunitaria minima. I condrociti sopravvivono e l'osso è rivascularizzato progressivamente^[101, 102]. La loro attuazione resta molto difficile poiché bisogna rispettare allo stesso tempo gli imperativi di sicurezza biologica e l'accessibilità ospedaliera entro le 24 ore. Gli innesti omologhi congelati sono mantenuti a -80°C e si possono conservare per anni. Durante il loro utilizzo, l'innesto omologo congelato viene lentamente riscaldato fino a 37°C in una soluzione salina con antibiotici. Il riscaldamento



31 Stesso paziente della Figura 30. Ricostruzione con innesto omologo osteocondrale del condilo femorale (A, B).

lento minimizza i danni cellulari dell'innesto^[103]. Tuttavia, la sopravvivenza di condrociti resta aleatoria e non spiega i risultati soddisfacenti osservati con questo tipo d'innesto. La cartilagine finisce per perdere la sua struttura a matrice e quindi la sua coesione, si sfalda progressivamente in qualche anno.

L'innesto omologo osteocondrale può essere parziale, se riguarda solo una parte limitata di un'articolazione (Figg. 30, 31). In questo caso, la scelta dell'innesto che meglio corrisponde è complessa e l'utilizzo di guide di taglio permette di ottenere la migliore congruenza. Una semi-articolazione rappresenta la soluzione migliore.

Tipo di ricostruzione: intercalare-composita-artrodesi-innesto vascolarizzato con o senza innesto omologo

INTERCALARE

L'innesto è intercalato tra due segmenti ossei del ricevente. È il caso dopo resezione diafisaria, ma anche in caso di resezioni-artrodesi. Questo si può realizzare con un innesto autologo (cresta iliaca, innesto tibiale o fibulare), o con un innesto omologo (cilindro diafisario) o con un innesto composito (per esempio, una fibula vascolarizzata inserita nell'innesto omologo). La ricostruzione si può anche effettuare con un innesto omologo selezionato tramite computer e tagliato con l'aiuto della navigazione (Fig. 25).

TERMINALE

La parte epifisio-metafisaria è stata resecata e deve essere ricostruita. La ricostruzione si può realizzare con un innesto omologo massivo osteocondrale non vascolarizzato, con ricostruzione delle strutture capsulo-legamentose, o con un innesto omologo in associazione a una protesi (ricostruzione composita).

Selezione dell'innesto omologo

Anche se spesso il numero d'innesti omologhi disponibili è limitato, è importante tentare di trovare, tra questi, quello che corrisponde meglio all'osso del paziente. Sono ora disponibili nuove tecniche basate sull'imaging tridimensionale.

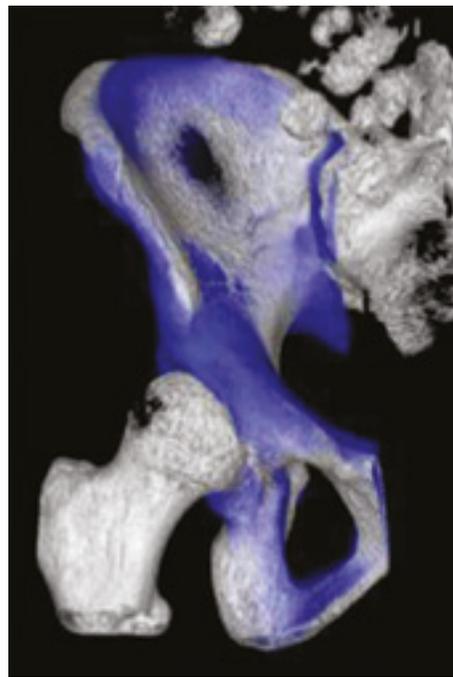
ACQUISIZIONE CON SCANNER DELL'INNESTO OMOLOGO E DELL'OSSO RICEVENTE

Tutte le immagini degli innesti omologhi disponibili nella banca di tessuto sono realizzate con scanner utilizzando parametri di acquisizione standard (spaziatura tra le sezioni di 1 mm, spessore di sezione 2,7 mm)[59]. Gli innesti omologhi sono scannerizzati rimanendo congelati e protetti nel loro imballaggio sterile e sono esposti per meno di cinque minuti a temperatura ambiente. L'osso del paziente

viene anch'esso scannerizzato, ma è normalmente già stato realizzato nell'esame preoperatorio del paziente. Gli scanner del paziente e degli innesti omologhi sono inizialmente delimitati per riguardare solo la regione d'interesse (nella quale deve essere rispettata la concordanza). Una funzione permette di eliminare tutti i tessuti molli che si trovano intorno all'osso. Per esempio, in caso di perdita sostanziale dell'osso ricevente a causa di un tumore, l'osso controlaterale può essere preso in considerazione e quindi si applica un effetto specchio.

ALGORITMO DI REGISTRAZIONE

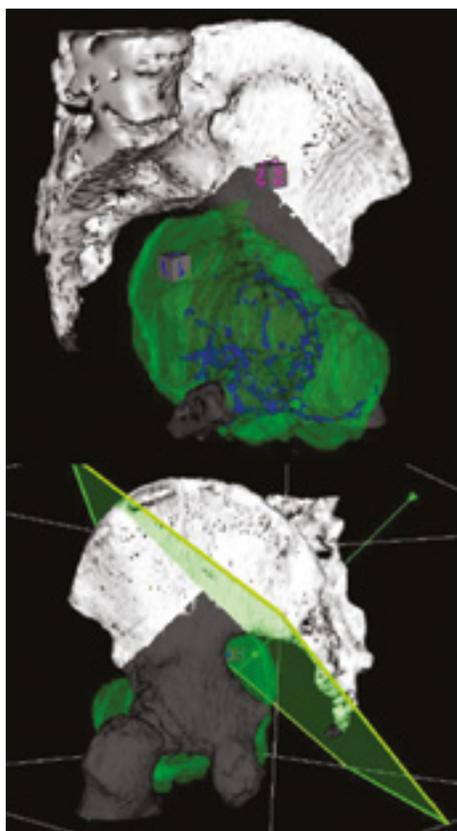
La registrazione di immagini consiste nell'allineare spazialmente due immagini 2D o due volumi 3D. Nel caso dell'osso, la registrazione deve essere rigida, ciò significa che i volumi non sono deformati (non vi sono fattori di scala o di distorsioni dei volumi durante la registrazione). Uno dei



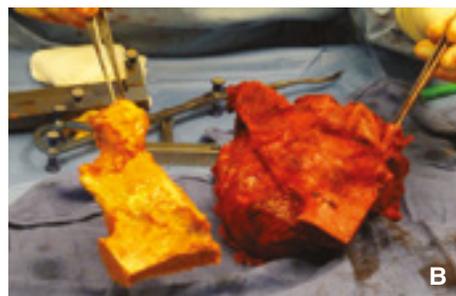
32 Il volume dell'innesto omologo è sovrapposto (fuso) al volume del paziente



33 Sovrapposizione delle lastre 2D di un osso iliaco e di un innesto omologo dell'osso iliaco. In bianco, i pixel dell'innesto che non si sovrappongono ai pixel del paziente. In grigio chiaro, i pixel del paziente che non si sovrappongono ai pixel dell'innesto. In grigio scuro, i pixel che si sovrappongono perfettamente.



34 Il tumore è in verde, l'osso del paziente in bianco. I piani di osteotomia sono scelti gli uni dopo gli altri e registrati con una distanza conosciuta rispetto al tumore.



35 A. Il tumore è tagliato seguendo i piani predefiniti, così come l'innesto omologo.

B. Corrispondenza del tumore e dell'innesto tagliati.

C. Quando l'innesto omologo è posizionato per riempire il difetto consecutivo alla resezione neoplastica, la corrispondenza è ottimale.

volumi è considerato “fisso” (osso ricevente) e il secondo è considerato “mobile” (innesto omologo). L'algoritmo proverà a trovare la conversione che fa corrispondere al meglio ogni taglio del primo volume al taglio corrispondente del secondo volume. A ogni iterazione, l'algoritmo applica una conversione al volume mobile. Il valore di livello di grigio di ogni taglio è quindi comparato al taglio corrispondente del volume fisso. Se la corrispondenza migliora, la trasformazione continua

nello stesso senso. Il ciclo d'iterazione è ripetuto finché la differenza del livello di grigio tra i pixel è minima. Può quindi essere ottenuta una lastra di sovrapposizione dell'osso del paziente e dell'innesto^(Figg. 32, 33).

NAVIGAZIONE DEL TUMORE E DELL'INNESTO OMOLOGO

Il tumore è delimitato manualmente sulla RM con l'aiuto di un mouse e di un software. Poi-

ché l'RM e lo scanner hanno localizzazioni, dimensioni d'immagine e risoluzioni diverse, l'RM deve essere esportata verso lo scanner con coregistrazione in modo che l'RM e lo scanner condividano lo stesso sistema di coordinate. I piani di osteotomia sono organizzati da un software di pianificazione^[104] (Fig. 34). I piani di taglio del tumore sono scelti in modo da ottenere un margine sano di 1 cm in generale. Questo margine si può talvolta diminuire fino a 5 mm per poter salvare un'e-

pifisi o una cartilagine di crescita. I piani di osteotomia sono trasferiti dal paziente sull'innesto omologo utilizzando la registrazione scanner su scanner. Durante l'intervento, si utilizzano guide di taglio^[59, 105]. Allo stesso modo, il taglio dell'innesto omologo con l'aiuto di guide di taglio è il riflesso del taglio tumorale. Il risultato è un confronto millimetrico (Fig. 35).

Indice bibliografico

- [1] Farr J, Cole B, Dhawan A, Kercher J, Sherman S. Clinical cartilage restoration: evolution an overview. *Clin Orthop* 2011;**469**:2696–705.
- [2] Dufrane D, Docquier PL, Delloye C, Poirel HA, André W, Aouassar N. Scaffold-free three-dimensional graft from autologous adiposederived stem cells for large bone defect reconstruction: clinical proof of concept. *Medicine* 2015;**94**:e22.
- [3] Schecroun N, Delloye C. In vitro growth and osteoblastic differentiation of human bone marrow stromal cells supported by autologous plasma. *Bone* 2004;**35**:517–24.
- [4] Chiodo CP, Hahne J, Wilson MG, Glowacki J. Histological differences in iliac and tibial bone graft. *Foot Ankle Int* 2010;**31**:418–22.
- [5] Bignon A, Chouteau J, Chevalier J, Fantozzi G, Carret J, Chavassieux P, et al. Effect of micro- and macroporosity of bone substitutes on their mechanical properties and cellular response. *J Mater Sci Mater Med* 2003;**14**:108.
- [6] Cornu O, Banse X, Docquier PL, Luyckx S, Delloye C. Effect of freeze-drying and gamma irradiation on the mechanical properties of human cancellous bone. *J Orthop Res* 2000;**18**:426–31.
- [7] Garavaglia G, Lubowicki A, Fritschy D, Menetrey J. Autologous chondrocyte implantation for focal cartilage lesions: state of the art in 2007. *Rev Med Suisse* 2007;**3**(120):1772–5.
- [8] Van Isacker T, Barbier O, Traore A, Cornu O, Mazzeo F, Delloye C. Forearm reconstruction with bone allograft following tumor excision: a series of 10 patients with a mean follow-up of 10 years. *Orthop Traumatol Surg Res* 2011;**97**:793–9.
- [9] Graham SM, Leonidou A, Aslam-Pervez N, Hamza A, Panteliadis P, Heliotis M, et al. Biological therapy of bone defects: the immunology of bone allograft transplantation. *Expert Opin Biol Ther* 2010;**10**:885–901.
- [10] Mankin HJ, Gebhardt MC, Jennings LC, Springfield DS, Tomford WW. Long-term results of allograft replacement in the management of bone tumors. *Clin Orthop* 1996;**324**:86–97.
- [11] Delloye C, Cornu O, Druetz V, Barbier O. Bone allografts: what they can offer and what they cannot. *J Bone Joint Surg Br* 2007;**89**:574–9.
- [12] Hill J, Little J, Ford T. Bone wax: a foreign body/giant cell reaction in the foot. *Foot Ankle Spec* 2013;**6**:236–8.
- [13] Saleh M. Bone graft harvesting: a percutaneous technique. *J Bone Joint Surg Br* 1991;**73**:867–8.
- [14] Colterjohn NR, Bednar DA. Procurement of bone graft from the iliac crest. An operative approach with decreased morbidity. *J Bone Joint Surg Am* 1997;**79**:1756–9.
- [15] Merritt AL, Spinnicke A, Pettigrew K, Alamin TF. Gluteal-sparing approach for posterior iliac crest bone graft: description of a new technique and assessment of morbidity in ninety-two patients after spinal fusion. *Spine* 2010;**35**:1396–400.
- [16] Schade VL, Roukis TS. Percutaneous bone marrow aspirate and bone graft harvesting techniques in the lower extremity. *Clin Podiatr Med Surg* 2008;**25**:733–42.
- [17] Babhulkar SS, Pande KC, Babhulkar S. Ankle instability after fibular resection. *J Bone Joint Surg Br* 1995;**77**:258–61.
- [18] Quintero AJ, Tarkin IS, Pape HC. Technical tricks when using the reamer irrigator aspirator technique for autologous bone graft harvesting. *J Orthop Trauma* 2010;**24**:142–5.
- [19] Madison RD, Nowotarski PJ. The reamer irrigator-aspirator in nonunion surgery. *Orthop Clin North Am* 2019;**50**:297–304.
- [20] Braly HL, O'Connor DP, Brinker MR. Percutaneous autologous bone marrow injection in the treatment of distal metaphyseal tibial nonunions and delayed unions. *J Orthop Trauma* 2013;**27**:527–33.
- [21] Seiler 3rd JG, Johnson J. Iliac crest autogenous bone grafting: donor site complications. *J South Orthop Assoc* 2000;**9**:91–7.
- [22] Ahlmann E, Patzakis M, Roidis N, Shepherd L, Holtom P. Comparison of anterior and posterior iliac crest bone grafts in terms of harvest-site morbidity and functional outcomes. *J Bone Joint Surg Am* 2002;**84**:716–20.
- [23] Rossillon R, Desmette D, Rombouts JJ. Growth disturbance of the ilium after splitting the iliac apophysis and iliac crest bone harvesting in children: a retrospective study at the end of growth following unilateral Salter innominate osteotomy in 21 children. *Acta Orthop Belg* 1999;**65**:295–301.
- [24] Frick SL. Valgus deformity after fibular resection in children. *J Pediatr Orthop* 2004;**24**:345.
- [25] Fragnière B, Wicart P, Mascard E, Dubouset J. Prevention of ankle valgus after vascularized fibular grafts in children. *Clin Orthop* 2003;**408**:245–51.
- [26] Chou LB, Mann RA, Coughlin MJ, McPeake 3rd WT, Mizel MS. Stress fracture as a complication of autogenous bone graft harvest from the distal tibia. *Foot Ankle Int* 2007;**28**:199–201.
- [27] Albert A, Leemrijse T, Druetz V, Delloye C, Cornu O. Are bone autografts still necessary in 2006? A three-year retrospective study of bone grafting. *Acta Orthop Belg* 2006;**72**:734–40.
- [28] Eriwan R, Villatte G, Ollivier M, Descamps S, Boisgard S. Update on the supply and use of allografts in locomotor system pathologies in France. *Orthop Traumatol Surg Res* 2018;**104**:1125–30.
- [29] European Union. Directive 2004/23/EC of the European parliament and of the council of 31 March 2004 on setting standards of quality and safety for the donation, procurement, testing, processing, preservation, storage and distribution of human tissues and cells. *Off J Eur Union* 2004;**L102**:48–58.
- [30] Delloye C. Tissue allografts and health risks. *Acta Orthop Belg* 1994;**60**:62–7.
- [31] Eastlund T. Bacterial infection transmitted by human tissue allograft transplantation. *Cell Tissue Bank* 2006;**7**:147–66.
- [32] Schubert T, Bigaré E, Van Isacker T, Gigi J, Delloye C, Cornu O. Analysis of predisposing factors for contamination of bone and tendon allografts. *Cell Tissue Bank* 2012;**13**:421–9.
- [33] Pauli G. Tissue safety in view of CJD and variant CJD. *Cell Tissue Bank* 2005;**6**:191–200.
- [34] Ireland L, Spelman D. Bacterial contamination of tissue allografts - experiences of the donor tissue bank of Victoria. *Cell Tissue Bank* 2005;**6**:181–9.
- [35] Dufrane D. Impact of age on human adipose stem cells for bone tissue engineering. *Cell Transplant* 2017;**26**:496–504.
- [36] Cornu O, Bavadekar A, Godts B, Van Tomme J, Delloye C, Banse X. Impaction bone grafting with freeze-dried irradiated bone. Part I. Femoral implant stability: cadaver experiments in a hip simulator. *Acta Orthop Scand* 2003;**74**:547–52.
- [37] Sohn HS, Oh JK. Review of bone graft and bone substitutes with an emphasis on fracture surgeries. *Biomater Res* 2019;**23**:9.
- [38] Docquier P, Delloye C. Treatment of aneurysmal bone cysts by introduction of demineralized bone and autogenous bone marrow. *J Bone Joint Surg Am* 2005;**87**:2253–8.
- [39] Innocenti M, Abed YY, Beltrami G, Delcroix L, Manfrini M, Capanna R. Biological reconstruction after resection of bone tumors of the proximal tibia using allograft shell and intramedullary free vascularized fibular graft: long-term results. *Microsurgery* 2009;**29**:361–72.
- [40] Errani C, Ceruso M, Donati DM, Manfrini M. Microsurgical reconstruction with vascularized fibula and massive bone allograft for bone tumors. *Eur J Orthop Surg Traumatol* 2019;**29**:307–11.
- [41] Vander Griend RA. The effect of internal fixation on the healing of large allografts. *J Bone Joint Surg Am* 1994;**76**:657–63.
- [42] Delloye C, van Cauter M, Dufrane D, Francq BG, Docquier PL, Cornu O. Local complications of massive bone allografts: an appraisal of their prevalence in 128 patients. *Acta Orthop Belg* 2014;**80**:196–204.
- [43] Delloye C, de Nayer P, Allington N, Munting E, Coutelier L, Vincent A. Massive bone allografts in large skeletal defects after tumor surgery: a clinical and microradiographic evaluation. *Arch Orthop Trauma Surg* 1988;**107**:31–41.
- [44] Cascio BM, Thomas KA, Wilson SC. A mechanical comparison and review of transverse, step-cut, and sigmoid osteotomies. *Clin Orthop* 2003;**411**:296–304.
- [45] Wang JW, Shih CH. Allograft transplantation in aggressive or malignant bone tumors. *Clin Orthop* 1993;**297**:203–9.
- [46] Berrey Jr BH, Lord CF, Gebhardt MC, Mankin HJ. Fractures of allografts. Frequency, treatment, and end-results. *J Bone Joint Surg Am* 1990;**72**:825–33.
- [47] Thompson Jr RC, Garg A, Clohisy DR, Cheng EY. Fractures in large segment allografts. *Clin Orthop* 2000;**370**:227–35.
- [48] Ippolito JA, Martinez M, Thomson JE, Willis AR, Beebe KS, Patterson FR, et al. Complications following allograft reconstruction for primary bone tumors: considerations for management. *J Orthop* 2018;**16**:49–54.
- [49] Aponte-Tinco LA, Ayerza MA, Muscolo DL, Farfalli GL. Should fractures in massive

- intercalary bone allografts of the lower limb be treated with ORIF or with a new allograft? *Clin Orthop* 2015;**473**:805–11.
- [50] Delloye C, Simon P, Nyssen-Behets C, Banse X, Bresler F, Schmitt D. Perforations of bone allografts improve their incorporation. *Clin Orthop* 2002;**396**:240–7.
- [51] Wheeler DL, Enneking WF. Allograft bone decreases in strength in vivo over time. *Clin Orthop* 2005;**435**:36–42.
- [52] Gerrard CH, Griffin AM, Davis AM, Gross AE, Bell RS, Wunder JS. Large segment allograft survival improved with intramedullary cement. *J Surg Oncol* 2003;**84**:198–208.
- [53] Delloye C, Cornu O. Incorporation of massive bone allografts: can we achieve better performance? *Acta Orthop Belg* 2003;**69**:104–11.
- [54] Delloye C, Suratwala SJ, Cornu O, Lee FY. Treatment of allograft nonunions with recombinant human bone morphogenetic proteins (rhBMP). *Acta Orthop Belg* 2004;**70**:591–7.
- [55] Aponte-Tiniao LA, Ayerza MA, Muscolo DL, Farfalli GL. What are the risk factors and management options for infection after reconstruction with massive bone allografts? *Clin Orthop* 2016;**474**:669–73.
- [56] Mankin HJ, Hornicek FJ, Raskin KA. Infection in massive bone allografts. *Clin Orthop* 2005;**432**:210–6.
- [57] Witsø E, Persen L, Benum P, Bergh K. Cortical allograft as a vehicle for antibiotic delivery. *Acta Orthop* 2005;**76**:481–6.
- [58] Buttaro M, Comba F, Piccaluga F. Vancomycin-supplemented cancellous bone allografts in hip revision surgery. *Clin Orthop* 2007;**461**:74–80.
- [59] Evrard R, Schubert T, Paul L, Docquier PL. Resection margins obtained with patient-specific instruments for resecting primary pelvic bone sarcomas: a case-control study. *Orthop Traumatol Surg Res* 2019;**105**:781–7.
- [60] Judet T, Richard L, Arnault O, De Thomasson E, Boury G. Treatment of tibial pseudarthrosis using Robert Judet's method of osteoperiosteal decortication. *Acta Orthop Belg* 1992;**58**(Suppl. 1):182–6.
- [61] Lucarelli E, Fini M, Beccheroni A, Giavaresi G, Di Bella C, Aldini NN, et al. Stromal stem cells and platelet-rich plasma improve bone allograft integration. *Clin Orthop* 2005;**435**:62–8.
- [62] Muschler GF, Boehm C, Easley K. Aspiration to obtain osteoblast progenitor cells from human bone marrow: the influence of aspiration volume. *J Bone Joint Surg Am* 1997;**79**:1699–709.
- [63] Yandow SM, Van de Velde SK, Siebert J, Perkins SL. The influence of aspiration volume on the number of osteoblastic progenitors obtained from bone marrow in children. *J Pediatr Orthop* 2017;**39**:382–6.
- [64] Hernigou P, Poignard A, Beaujean F, Rouard H. Percutaneous autologous bone-marrow grafting for nonunions. Influence of the number and concentration of progenitor cells. *J Bone Joint Surg Am* 2005;**87**:1430–7.
- [65] Green E, Hinton C, Triffitt JT. The effect of decalcified bone matrix on the osteogenic potential of bone marrow. *Clin Orthop* 1986;**205**:292–8.
- [66] Tiedeman JJ, Garvin KL, Kile TA, Connolly JF. The role of a composite, demineralized bone matrix and bone marrow in the treatment of osseous defects. *Orthopedics* 1995;**18**:1153–8.
- [67] Vidal J, Buscayret C, Finzi M, Melka J. Tibio-fibular graft as a treatment of nonunion of the tibia. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 1982;**68**:123–32.
- [68] Foster MJ, O'Toole RV, Manson TT. Treatment of tibial nonunion with posterolateral bone grafting. *Injury* 2017;**48**:2242–7.
- [69] Ryzewicz M, Morgan SJ, Linford E, Thwing JJ, de Resende GV, Smith WR. Central bone grafting for nonunion of fractures of the tibia: a retrospective series. *J Bone Joint Surg Br* 2009;**91**:522–9.
- [70] Papineau LJ, Alfageme A, Dalcourt JP, Pilon L. Chronic osteomyelitis: open excision and grafting after saucerization. *Int Orthop* 1979;**3**:165–76.
- [71] Fleischmann W, Suger G, Kinzl L. Treatment of bone and soft tissue defects in infected nonunion. *Acta Orthop Belg* 1992;**58**(Suppl. 1):227–35.
- [72] Archdeacon MT, Messerschmitt P. Modern papineau technique with vacuum-assisted closure. *J Orthop Trauma* 2006;**20**:134–7.
- [73] Masquelet AC, Fitoussi F, Begue T, Muller GP. Reconstruction of the long bones by the induced membrane and spongy autograft. *Ann Chir Plast Esthet* 2000;**45**:346–53.
- [74] Ghanem I, Haddad E, Haidar R, Haddad-Zebouni S, Aoun N, Dagher F, et al. Lateral shelf acetabuloplasty in the treatment of Legg-Calvé-Perthes disease: improving mid-term outcome in severely deformed hips. *J Child Orthop* 2010;**4**:13–20.
- [75] Yoo WJ, Choi IH, Cho TJ, Chung CY, Shin YW, Shin SJ. Shelf acetabuloplasty for children with Perthes' disease and reducible subluxation of the hip: prognostic factors related to hip remodelling. *J Bone Joint Surg Br* 2009;**91**:1383–7.
- [76] Fawzy E, Mandellos G, De Steiger R, McLardy-Smith P, Benson MK, Murray D. Is there a place for shelf acetabuloplasty in the management of adult acetabular dysplasia? A survivorship study. *J Bone Joint Surg Br* 2005;**87**:1197–202.
- [77] Marti RK, Kloen P. Chronic recurrent posterior dislocation of the hip after a Pipkin fracture treated with intertrochanteric osteotomy and acetabuloplasty. A case report. *J Bone Joint Surg Am* 2000;**82**:867–72.
- [78] Boileau P, Thélu CÉ, Mercier N, Ohl X, Houghton-Clemmey R, Carles M, et al. Arthroscopic Bristow-Latarjet combined with bankart repair restores shoulder stability in patients with glenoid bone loss. *Clin Orthop* 2014;**472**:2413–24.
- [79] Parratte S, Argenson JN, Flecher X, Aubaniac JM. Acetabular revision for aseptic loosening in total hip arthroplasty using cementless cup and impacted morselized allograft. *Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot* 2007;**93**:255–63.
- [80] Kerboull L, Hamadouche M, Kerboull M. Impaction grafting in association with the Charnley-Kerboull cemented femoral component: operative technique and two-to 16-year follow-up results. *J Bone Joint Surg Br* 2009;**91**:304–9.
- [81] Cornu O, Schubert T, Libouton X, Manil O, Godts B, Van Tomme J, et al. Particle size influence in an impaction bone grafting model. Comparison of fresh-frozen and freeze-dried allografts. *J Biomech* 2009;**42**:2238–42.
- [82] Schwab JH, Healey JH, Athanasian EA. Wide en bloc extra-articular excision of the elbow for sarcoma with complex reconstruction. *J Bone Joint Surg Br* 2008;**90**:78–83.
- [83] Weber KL, Lin PP, Yasko AW. Complex segmental elbow reconstruction after tumor resection. *Clin Orthop* 2003;**415**:31–44.
- [84] Donati D, Giacomini S, Gozzi E, Di Bella C, Mercuri M. The results of the surgical treatment of bone tumors using massive homoplastic grafts. *Chir Organi Mov* 2003;**88**:115–22.
- [85] Rydholm A. Reconstruction after resection of the proximal ulna. Report of a case of chondrosarcoma. *Acta Orthop Scand* 1987;**58**:671–2.
- [86] Saini R, Bali K, Bachhal V, Mootha AK, Dhillon MS, Gill SS. En bloc excision and autogenous fibular reconstruction for aggressive giant cell tumor of distal radius: a report of 12 cases and review of literature. *J Orthop Surg Res* 2011;**6**:14.
- [87] Anract P, Tomeno B. Résections-reconstructions pour tumeurs osseuses malignes du membre supérieur. *EMC - Techniques chirurgicales - Orthopédie-Traumatologie* 2005;1–15 [Article 44-097].
- [88] Dubousset J, Missenard G, Kalifa C. Management of osteogenic sarcoma in children and adolescents. *Clin Orthop* 1991;**270**:52–9.
- [89] Gilbert NF, Yasko AW, Oates SD, Lewis VO, Cannon CP, Lin PP. Allograft-prosthetic composite reconstruction of the proximal part of the tibia. An analysis of the early results. *J Bone Joint Surg Am* 2009;**91**:1646–56.
- [90] Enneking WF, Dunham WK. Resection and reconstruction for primary neoplasms involving the innominate bone. *J Bone Joint Surg Am* 1978;**60**:731–46.
- [91] Delloye C, Banse X, Brichard B, Docquier PL, Cornu O. Pelvic reconstruction with a structural pelvic allograft after resection of a malignant bone tumor. *J Bone Joint Surg Am* 2007;**89**:579–87.
- [92] Hart RA, Daniels AH, Bahnney T, Tesar J, Sales JR, Bay B. Relationship of donor variables and graft dimension on biomechanical performance of femoral ring allograft. *J Orthop Res* 2011;**29**:1840–5.
- [93] Frank RM, Cotter EJ, Strauss EJ, Gomoll AH, Cole BJ. The utility of biologics, osteotomy, and cartilage restoration in the knee. *J Am Acad Orthop Surg* 2018;**26**:e11–25.
- [94] Shapiro F, Koide S, Glimcher MJ. Cell origin and differentiation in the repair of full-thickness defects of articular cartilage. *J Bone Joint Surg Am* 1993;**75**:532–53.
- [95] Knutsen G, Drogset JO, Engebretsen L, Grøntvedt T, Ludvigsen TC, Løken S, et al. A randomized multicenter trial comparing autologous chondrocyte implantation with microfracture: long-term follow-up at 14 to 15 years. *J Bone Joint Surg Am* 2016;**98**:1332–9.
- [96] Gudas R, Gudaite A, Pocius A, Gudiene A, Cekanauskas E, Monastyreckiene E, et al. Ten-year follow-up of a prospective, randomized clinical study of mosaic osteochondral autologous transplantation versus microfracture for the treatment of osteochondral defects in the knee joint of athletes. *Am J Sports Med* 2012;**40**:2499–508.
- [97] Cole BJ, Pascual-Garrido C, Grumet RC. Surgical management of articular cartilage defects in the knee. *Instr Course Lect* 2010;**59**:181–204.
- [98] Pylawka TK, Wimmer M, Cole BJ, Viridi AS,

- Williams JM. Impaction affects cell viability in osteochondral tissues during transplantation. *J Knee Surg* 2007;**20**:105–10.
- [99] Ding L, Zampogna B, Vasta S, Jang KW, De Caro F, Martin JA, et al. Why do osteochondral allografts survive? Comparative analysis of cartilage biochemical properties unveils a molecular basis for durability. *Am J Sports Med* 2015;**43**:2459–68.
- [100] Acosta CA, Izal I, Ripalda P, Forriol F. Cell viability and protein composition in cryopreserved cartilage. *Clin Orthop* 2007;**460**:234–9.
- [101] Pearsall 4th AW, Tucker JA, Hester RB, Heitman RJ. Chondrocyte viability in refrigerated osteochondral allografts used for transplantation within the knee. *Am J Sports Med* 2004;**32**:125–31.
- [102] Pylawka TK, Virdi AS, Cole BJ, Williams JM. Reversal of suppressed metabolism in prolonged cold preserved cartilage. *J Orthop Res* 2008;**26**:247–54.
- [103] Paul L, Docquier PL, Cartiaux O, Cornu O, Delloye C, Banse X. Selection of massive bone allografts using shape-matching 3-dimensional registration. *Acta Orthop* 2010;**81**:250–5.
- [104] Docquier PL, Paul L, Cartiaux O, Delloye C, Banse X. Computerassisted resection and reconstruction of pelvic tumorsarcoma. *Sarcoma* 2010;**12010**:125162.
- [105] Bellanova L, Paul L, Docquier PL. Surgical guides (patient-specific instruments) for pediatric tibial bone sarcoma resection and allograft reconstruction. *Sarcoma* 2013;**12013**:787653.
-