



PREMIO MIGLIOR TESI CORSI SICM

L'innesto osseo vascolarizzato dal radio distale basato sull'arteria interossea posteriore per il trattamento delle pseudoartrosi di radio: studio anatomico del PIA-DRG

Posterior interosseous artery distal radius graft for radial nonunion: Anatomical study of PIA-DRG

Antonio Kory¹, Alessia Pagnotta²

¹ Azienda Ospedaliera per l'Emergenza Cannizzaro, Catania; ² Ospedale Israelitico - Roma

Corrispondenza:

Antonio Kory
antonio.kory@gmail.com

Conflitto di interessi

Gli Autori dichiarano di non avere alcun conflitto di interesse con l'argomento trattato nell'articolo.

Come citare questo articolo:

Kory A, Pagnotta A. L'innesto osseo vascolarizzato dal radio distale basato sull'arteria interossea posteriore per il trattamento delle pseudoartrosi di radio: studio anatomico del PIA-DRG. Rivista Italiana di Chirurgia della Mano 2023;60:123-128. <https://doi.org/10.53239/2784-9651-2023-20>

© Copyright by Pacini Editore Srl



OPEN ACCESS

L'articolo è OPEN ACCESS e divulgato sulla base della licenza CC BY-NC-ND (Creative Commons Attribuzione - Non commerciale - Non opere derivate 4.0 Internazionale). L'articolo può essere usato indicando la menzione di paternità adeguata e la licenza; solo a scopi non commerciali; solo in originale. Per ulteriori informazioni: <https://creativecommons.org/licenses/by-nc-nd/4.0/deed.it>

Riassunto

Le pseudoartrosi dell'avambraccio rappresentano una sfida clinica complessa e spesso portano a dolore, limitazioni funzionali e disabilità. Il trattamento della pseudoartrosi dell'avambraccio richiede un'approfondita valutazione dei fattori associati al paziente, delle caratteristiche della frattura e delle opzioni chirurgiche disponibili. Gli innesti ossei vascolarizzati sono emersi come *gold standard* per il trattamento del mancato processo di guarigione ossea, offrendo una soluzione promettente per le pseudoartrosi atrofiche. L'obiettivo di questo studio è ampliare le indicazioni all'utilizzo dell'innesto osseo vascolarizzato basato sull'arteria interossea posteriore del radio distale (PIA-DRG) per il trattamento della pseudoartrosi diafisarie di radio. Questo innesto a flusso anterogrado, con il suo lungo peduncolo e ampio arco di rotazione, può raggiungere agevolmente sia la diafisi ulnare che quella radiale. Durante lo studio anatomico è stata valutata la lunghezza del peduncolo vascolare ed il diametro interno del vaso. L'innesto osseo vascolarizzato offre diversi vantaggi, tra cui un approccio limitato all'avambraccio e al radio distale senza morbidità a differenti siti donatori. A differenza degli innesti non vascolarizzati, che possono richiedere diversi mesi per guarire, il PIA-DRG, grazie al suo ricco apporto vascolare diretto, ha il potenziale per una guarigione rapida. Sebbene i trapianti vascolarizzati offrano tassi di unione più elevati e tempi di guarigione più rapidi, si tratta comunque di una procedura complessa che richiede una pianificazione e un'esecuzione meticolosa. In conclusione, il PIA-DRG rappresenta una preziosa alternativa alle procedure tradizionali di innesto osseo non vascolarizzato per casi selezionati di pseudoartrosi dell'avambraccio. Lo studio dimostra che può offrire una soluzione più efficiente e di successo per casi con piccoli difetti ossei, scarsa vascolarizzazione o insuccesso di trattamenti precedenti. Tuttavia, la dimensione del trapianto e la possibilità di danni vascolari in caso di precedenti interventi chirurgici devono essere presi in considerazione nella scelta di questa tecnica.

Parole chiave: innesto osseo vascolarizzato, pseudoartrosi di avambraccio, studio anatomico, posterior interosseous artery distal radius graft, dissezione.

Summary

Forearm pseudoarthrosis represents a complex clinical challenge and often leads to pain, functional limitations, and disability. The treatment of forearm pseudoarthrosis requires a thorough evaluation of patient-related factors, fracture characteristics, and available surgical options. Vascularized bone grafts have emerged as the gold standard for treating failed bone healing, offering a promising solution for atrophic pseudoarthrosis. The aim of this study is to expand the indications for the use of vascularized bone graft based on the posterior interosseous artery of the distal radius (PIA-DRG) for the treatment of diaphyseal radial pseudoarthrosis. This anterograde flow graft, with its long pedicle and wide rotational arc, can readily reach both the ulnar and radial diaphysis. During the anatomical study, the length of the vascular pedicle and the internal vessel diameter were assessed. Vascularized bone grafting offers several advantages, including a limited approach to the forearm and distal radius with no morbidity at different donor sites. In contrast to non-vascularized grafts, which may take several months to heal, the PIA-DRG, thanks to its rich direct vascular supply, has the potential for rapid healing. Although vascularized grafts offer higher union rates and faster healing times, it remains a complex procedure that requires meticulous planning and execution. In conclusion, the PIA-DRG represents a valuable alternative to traditional non-vascularized bone graft procedures for selected cases of forearm pseudoarthrosis. The study demonstrates that it can offer a more efficient and successful solution for cases with small bone defects, poor vascularization, or previous treatment failures. However, the graft's size and the possibility of vascular damage in cases of previous surgeries should be taken into consideration when choosing this technique.

Key words: vascularized bone graft, forearm non union (pseudoarthrosis), anatomical study, posterior interosseous artery distal radius graft, cadaveric dissection

Introduzione

Le pseudoartrosi dell'avambraccio rappresentano un problema clinico complesso che può causare oltre che dolore, limitazioni funzionali e disabilità. Questa condizione si sviluppa tipicamente a seguito di una mancata guarigione ossea di una frattura per un insieme di condizioni biologiche e meccaniche. La pseudoartrosi può essere classificata in due categorie: ipertrofica e atrofica. La non unione ipertrofica è caratterizzata dalla presenza di un callo ben definito, ma esuberante ed inadeguato a garantire stabilità alla frattura ed adeguata guarigione. La motivazione principale dello sviluppo di questa forma di pseudoartrosi è dovuta a problematiche di natura meccanica come per esempio una sintesi non sufficiente stabile per garantire la guarigione ossea. Mentre la non unione atrofica è caratterizzata dalla mancanza di formazione del callo la cui causa risiede in problematiche di natura biologica legate sia all'individuo che alle caratteristiche della frattura e della scarsa vascolarizzazione del sito di frattura ¹.

Il trattamento della pseudoartrosi dell'avambraccio è complesso e richiede una attenta valutazione dei fattori del paziente, delle caratteristiche della frattura, delle cause alla base e delle opzioni chirurgiche. Il trattamento non operativo, come l'immobilizzazione, l'aumento della stabilità del costrutto di osteosintesi e la stimolazione elettrica, può essere efficace per alcuni casi di pseudoartrosi ipertrofica, ma è generalmente meno efficace per le atrofiche che richiedono invece un trattamento chirurgico con stimolazione biologica utilizzando innesti ossei ².

L'utilizzo di innesti ossei rappresenta il *gold standard* nel trattamento di mancata guarigione ed in particolare gli innesti vascolarizzati costituiscono una promettente opzione

di trattamento nei casi di pseudoartrosi atrofica. L'innesto osseo vascolarizzato fornisce un ricco apporto di sangue al sito di pseudoartrosi, il che favorisce una stimolazione biologica della guarigione ossea volta a ripristinare l'integrità strutturale dell'osso stesso ³.

In generale, i tassi di non unione per le fratture diafisarie di radio sono relativamente bassi, con tassi segnalati che variano dal 2% al 10% ⁴. Tuttavia, alcuni fattori possono aumentare il rischio di pseudoartrosi, come fratture esposte, trattamento ritardato o inadeguato e il fumo.

L'obiettivo di questa tesi è quello di ampliare le indicazioni all'utilizzo dell'innesto osseo vascolarizzato basato sull'arteria interossea posteriore del radio distale (PIA-DRG) per il trattamento delle pseudoartrosi diafisarie di radio. Il lungo peduncolo e l'ampio arco di rotazione consentono all'innesto di raggiungere l'intera diafisi ulnare come descritto in letteratura, ma anche l'intera diafisi radiale.

Materiali e metodi

L'innesto osseo vascolarizzato prelevato dal radio distale può essere basato sull'arteria carpica volare, sull'arteria intercompartimentale sovra-retinacolare 1-2 (ICSRA), sull'arteria del quarto e quinto compartimento estensore (ECA) ed è indicato nella pseudoartrosi dello scafoide, nella malattia di Preiser e nella malattia di Kienböck ⁵.

L'innesto con PIA-DRG è indicato per il trattamento della non unione della diafisi ulnare in presenza di piccoli difetti ossei (massimo 2 cm). La selezione attenta dei pazienti è fondamentale, in particolare se è stata eseguita una precedente chirurgia con la possibilità di lesioni vascolari al sito donatore ⁶.

L'anatomia chirurgica del distretto del radio distale oltre che la tecnica chirurgica del PIA-DRG è stata dettagliatamente descritta da Pagnotta et al per le non-union di ulna. Quattro vasi forniscono arterie nutrienti al radio: 2 dei vasi sono superficiali, situati sulla superficie dorsale del retinacolo degli estensori tra il primo e il secondo e tra il secondo e il terzo compartimento dorsale (ICSRA 1,2 e ICSRA 2,3, rispettivamente), mentre 2 vasi sono profondi, situati sul pavimento dei compartimenti dorsali del quarto e del quinto (ECA quarto e ECA quinto, rispettivamente).

L'ECA quarto si trova direttamente adiacente al nervo interosseo posteriore sul lato radiale del quarto compartimento estensore. Il vaso può anche essere trovato all'interno del setto tra il terzo e il quarto compartimento per la maggior parte del suo percorso, come descritto in precedenza. Prossimalmente, questa arteria ha origine dall'arco anastomotico tra la divisione posteriore dell'arteria interossea anteriore (pAIA) e la PIA. Forma una anastomosi distale con l'arco intercarpale dorsale e anche con l'arco radiocarpale dorsale. L'ECA quarto è la fonte di numerose arterie nutrienti per la metafisi distale del radio; il suo diametro interno medio è riportato essere di 0,38 mm⁵.

La tecnica di prelievo utilizzata se eseguita su vivente va svolta con loupes e con controllo dell'emostasi tramite fascia ischemica ma senza esanguinare l'arto con fascia di Esmarch, in modo che i piccoli vasi rimangano visibili.

Viene effettuata un'incisione a forma di L, partendo da circa 5-10 mm prossimale al tubercolo di Lister, raggiungendo l'articolazione radio-ulnare distale e proseguendo longitudinalmente e prossimalmente tra il radio e l'ulna per esporre il radio distale, la membrana interossea, la PIA e il sito di pseudoartrosi. Successivamente, vengono aperti i compartimenti estensori quarto e quinto e i tendini estensori vengono retratti ulnarmente per esporre la metafisi radiale distale. Viene segnato e sollevato un blocco osseo di 2x2 cm a 10-15 mm dall'articolazione radiocarpica, includendo le ramificazioni periostali e l'ECA quarto, evitando danni alle connessioni periostali. Successivamente, vengono identificate le connessioni tra il quarto compartimento estensore, l'ECA quinto, la pAIA e la PIA sulla membrana interossea, la pAIA viene legata prossimalmente e l'ECA quinto distalmente, per avere un flusso diretto verso l'innesto osseo basato sulla PIA⁶.

Infine, il blocco osseo viene sollevato e la PIA viene dissezionata prossimalmente, sviluppando un peduncolo da 3 a 15 cm, secondo necessità per ruotare il trapianto osseo nel difetto radiale nel caso descritto. Grande importanza si pone alla bonifica del sito di non unione per eliminare eventuali tessuti necrotici o fibrosi fino ad ottenere tessuto osseo vitale. Si procede poi inserendo il PIA-DRG nel sito ricevente, creando una stabile osteosintesi mediante placca e viti a stabilità angolare.

Una volta che l'innesto osseo è libero sul suo peduncolo, il laccio emostatico può essere brevemente allentato per dimostrare il sanguinamento presso il VBG.

Sono stati valutati durante lo studio anatomico la lunghezza che il peduncolo vascolare può raggiungere per colmare gap a livello del radio ed il diametro interno dell'ECA quarto.

Discussione

L'innesto osseo vascolarizzato consente al tessuto osseo vitale di essere trasferito in una posizione adiacente o a distanza e di sopravvivere grazie al mantenimento o al ripristino del flusso sanguigno. L'incorporazione di un innesto osseo non vascolarizzato avviene attraverso la creeping substitution, un processo di crescita vascolare graduale, riassorbimento e sostituzione dell'osso necrotico andando a svolgere attività prevalentemente di scaffold e di osteoconduttività⁷. Nel VBG, il processo di incorporazione dell'innesto osseo attraverso la sostituzione graduale viene eluso. Il risultato finale è una guarigione più rapida, l'ipertrofia ossea in risposta allo stress applicato può verificarsi in tempi brevi e l'incidenza delle fratture da stress è inferiore rispetto ai trapianti ossei autologhi o allogenici non vascolarizzati. L'idea che il VBG offra proprietà biologiche e meccaniche superiori rispetto al trapianto osseo non vascolarizzato è stata ampiamente accettata in pubblicazioni precedenti⁸.

In questo articolo, descriviamo un VBG dal radio distale incanalato sulla PIA per la pseudoartrosi radiale dopo che esso è stato già descritto per la pseudoartrosi ulnare. La lunghezza del peduncolo (fino a 15 cm) consente all'innesto di raggiungere l'intera diafisi ulnare e radiale. Dallo studio anatomico eseguito su cadaveri iniettati durante le 3 settimane del corso di dissezione anatomica della SICM abbiamo osservato che il diametro interno dell'ECA 4 è risultato circa 0.10 mm più grande di quanto descritto in letteratura avendo osservato un diametro medio di 0,48 mm (range 0,27 e 0,69) e che in caso di peduncolo di lunghezza superiore a 9 cm ci sia un aumento alla tendenza di kinking del peduncolo il che potrebbe ridurre l'apporto vascolare alla zona di pseudoartrosi. Questo lembo ha un flusso anterogrado ed è una modifica del lembo ECA quarto e quinto a flusso inverso descritto da Moran et al per il trattamento della malattia di Kienböck. Il flusso retrogrado dall'ECA quinto viene convertito in direzione opposta nell'ECA quarto mediante legatura della pAIA. Tra i vantaggi del PIA-DRG per il trattamento delle fratture di avambraccio riscontriamo un approccio limitato all'avambraccio e al radio distale e l'assenza di morbilità a differenti siti donatori come la cresta iliaca o il perone.

L'innesto non vascolarizzato è una soluzione tradizionale per i difetti ossei di varia natura, ma il processo di guarigione nella pseudoartrosi di avambraccio potrebbe richiedere

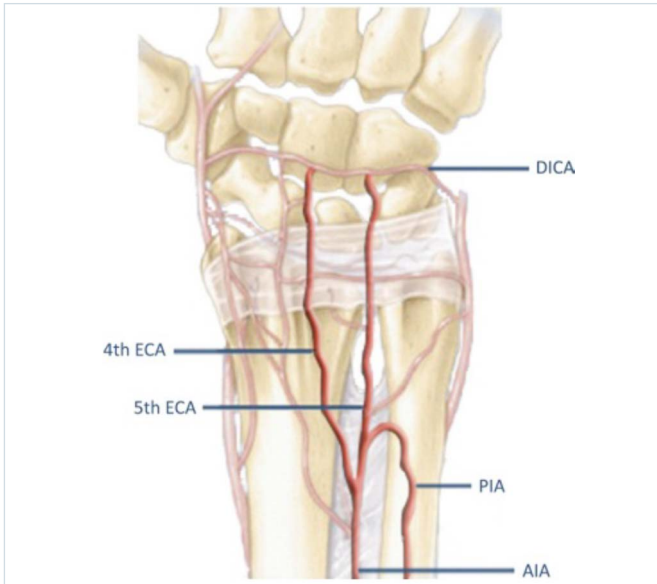


Figure 1. anatomia vascolare regione dorsale del polso.

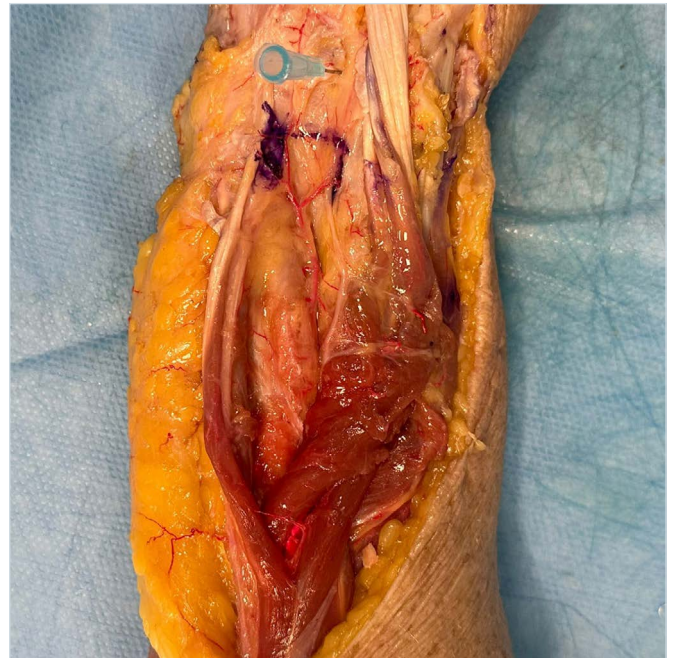


Figure 3. Identificazione e demarcazione innesto basato sulla ECA quarto.



Figure 2. Innesto osseo su gap di 2x2 cm.



Figure 4. Dissezione dell'arteria interossea posteriore.



Figure 5. Dettaglio della rotazione del peduncolo vascolare.

tempi lunghi da 4 a 6 mesi. Essendo il PIA-DRG vascolarizzato da un flusso diretto e abbondante, ha il potenziale biologico per ottenere una rapida guarigione, grazie al suo apporto intrinseco. L'innesto osseo vascolarizzato da radio distale quindi rappresenta una soluzione promettente per la pseudoartrosi con piccoli difetti ossei in presenza di necrosi, vascolarità inadeguata dei tessuti circostanti o insuccesso di un precedente innesto.

Tuttavia il principale svantaggio della procedura è la piccola dimensione dell'innesto (lunghezza massima 2-3 cm, in base all'anatomia del radio), che ne limita le indicazioni per la perdita ossea di piccole dimensioni. Inoltre, la vascolarizzazione dell'innesto può essere danneggiata da precedenti interventi chirurgici. Dovrebbero essere considerate diverse procedu-

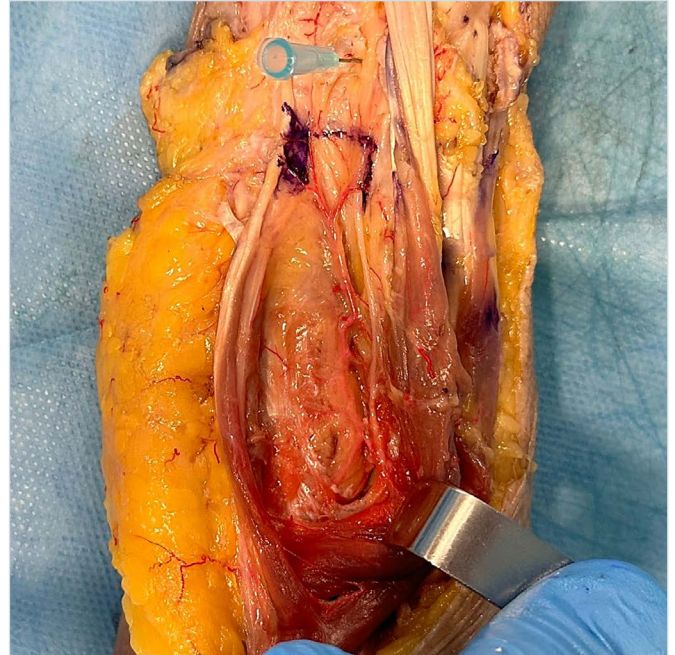


Figure 6. Template innesto a 10-15 mm dall'articolazione radio-carpica.

re in tutti quei casi per esempio in un cui è stata eseguita una sintesi del radio distale per via dorsale o accessi posteriori al carpo.

In generale, è stato dimostrato che l'innesto osseo vascolarizzato (VBG) presenta tassi di unione più elevati e tempi di guarigione più rapidi rispetto alle tecniche tradizionali di innesto osseo non vascolarizzato. Ad esempio, una revisione sistematica e meta-analisi pubblicata nel 2023 ha riscontrato che il VBG aveva un tasso di unione significativamente più elevato (85,4%) rispetto alle tecniche di innesto osseo non vascolarizzato (75,5%)⁹. Un altro studio pubblicato nel 2019 ha evidenziato che il VBG aveva un tasso di unione più elevato e tempi di guarigione più rapidi rispetto alle tecniche di innesto osseo non vascolarizzato per le non-unioni dello scafoide¹⁰.

Tuttavia, è importante notare che il VBG è una tecnica chirurgica complessa e impegnativa che richiede una pianificazione e un'esecuzione attente. Il successo della procedura dipende da diversi fattori, tra cui la competenza e l'esperienza del chirurgo, lo stato di salute generale del paziente e gli obiettivi funzionali, nonché le caratteristiche specifiche della non-unione o del difetto osseo in trattamento. Possiamo concludere affermando che il PIA-DRG può essere utilizzato con successo per gestire casi selezionati di pseudoartrosi di avambraccio sia di radio che di ulna. Questo VBG è una valida alternativa alle procedure tradizionali di innesto osseo non vascolarizzato e innesto osseo vascolarizzato libero.

Bibliografia

- ¹ Jayakumar P, Jupiter JB. Non-union in forearm fractures. *Acta Chir Orthop Traumatol Cech.* 2014;81:22-32.
- ² Rosacker JA, Kopta JA. Both bone fractures of the forearm: a review of surgical variables associated with union. *Orthopedics.* 1981;4:1353-1356. <https://doi.org/10.3928/0147-7447-19811201-04>
- ³ De Smet L. Treatment of non-union of forearm bones with a free vascularised corticoperiosteal flap from the medial femoral condyle. *Acta Orthop Belg* 2009;75:611-615.
- ⁴ Boussakri H, Elibrahimi A, Bachiri M, et al. Nonunion of Fractures of the Ulna and Radius Diaphyses: Clinical and Radiological Results of Surgical Treatment. *Malays Orthop J.* 2016;10:27-34. <https://doi.org/10.5704/MOJ.1607.006>
- ⁵ Moran SL, Cooney WP, Berger RA, et al. The use of the 4+5 extensor compartmental vascularized bone graft for the treatment of Kienböck's disease. *J Hand Surg* 2005;30A:50-58. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2004.10.002>
- ⁶ Pagnotta A, Taglieri E, Molayem I, Sadun R. Posterior interosseous artery distal radius graft for ulnar nonunion treatment. *J Hand Surg Am.* 2012;37:2605-2610. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2012.09.004>
- ⁷ de Boer HH, Wood MB. Bone changes in the vascularized fibular graft. *J Bone Joint Surg* 1989;71B:374-378. <https://doi.org/10.1302/0301-620X.71B3.2722923>
- ⁸ Goldberg VM, Shaffer JW, Field G, Davy DT. Biology of vascularized bone grafts. *Orthop Clin North Am* 1987;18:197-205.
- ⁹ Ebad Ali SM, Razak S, Khan WF, et al. Outcomes of reconstruction with vascularized vs non vascularized bone graft after resection of bone tumours - a systematic review and meta-analysis. *J Ayub Med Coll Abbottabad.* 2023;35:307-312. <https://doi.org/10.55519/JAMC-02-11511>
- ¹⁰ Smeraglia F, Basso MA, Fonzone Caccese A, et al. Volar distal radius vascularized bone graft vs non-vascularized bone graft: a prospective comparative study. *J Biol Regul Homeost Agents.* 2020;34:115-120. *Advances in musculoskeletal diseases and infections - SOTIMI* 2019.