



Transfer di ramo del radiale di ECRL pro ramo motore del muscolo brachiale: uno studio anatomico

Radial Nerve Branch to the Extensor Carpi Radialis Longus (ECRL) Transfer to the Motor Branch of the Brachialis Muscle: An Anatomical Study

Monica Maurina, Alessandro Crosio, Silvia Ferrandi (foto), Paolo Titolo

Unità di Microchirurgia Ricostruttiva, Dipartimento di Ortopedia, C.T.O., Università di Torino, Torino

Corrispondenza:

Silvia Ferrandi

E-mail: silvia.ferrandi@unipr.it

Conflitto di interessi

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

Come citare questo articolo: Maurina M, Crosio A, Ferrandi S, Titolo P. Transfer di ramo del radiale di ECRL pro ramo motore del muscolo brachiale: uno studio anatomico. Rivista Italiana di Chirurgia della Mano 2026;63:3-8. <https://doi.org/10.53239/2784-9651-2026-4>

© 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

Il ripristino della flessione del gomito è un obiettivo primario nella ricostruzione del plesso brachiale e nervi donatori alternativi possono essere utili quando le opzioni standard non sono disponibili. Questo studio su cadavere mira a (1) determinare la prevalenza e le caratteristiche anatomiche del ramo del nervo radiale per il muscolo brachiale, (2) valutare se sia realizzabile una coaptazione termino-terminale senza tensione con il ramo del nervo radiale per l'estensore radiale lungo del carpo (ERLC) e (3) confrontare i nostri risultati con la letteratura per valutare, applicando i criteri del transfer nervoso, se questa ricostruzione possa rappresentare un'opzione chirurgica praticabile. Sono stati sezionati sei arti superiori di cadaveri freschi: il ramo radiale per il brachiale era presente in tutti i campioni (100%); in tutti i casi, il ramo per l'ECRL poteva essere mobilizzato a sufficienza per consentire una sutura senza tensione senza innesti, con diametri grossolanamente compatibili. Sebbene anatomicamente fattibile, questo trasferimento non sembra offrire vantaggi rispetto alle tecniche consolidate per ripristinare la flessione del gomito e dovrebbe essere considerato solo come opzione ausiliaria o come procedura di salvataggio.

Parole chiave nervo radiale, flessione del gomito, transfer nervoso, estensore ulnare lungo del carpo, muscolo brachiale

Summary

Restoration of elbow flexion is a primary goal in brachial plexus reconstruction, and alternative donor nerves may be valuable when standard options are unavailable. This cadaveric study aimed to (1) determine the prevalence and anatomical characteristics of the radial nerve branch to the brachialis muscle, (2) assess the feasibility of a tension-free end-to-end coaptation with the radial nerve branch to the extensor carpi radialis longus (ECRL), and (3) compare our findings with the existing literature to evaluate, according to the principles of nerve transfer surgery, whether this reconstruction could represent a viable surgical option. Six fresh-frozen upper limbs were dissected. The radial nerve branch to the brachialis muscle was identified in all specimens (100%). In every case, the ECRL branch could be sufficiently mobilized to allow tension-free coaptation without the need for nerve grafts, and the donor and recipient nerve diameters were grossly compatible. Although anatomically

feasible, this nerve transfer does not appear to offer advantages over established techniques for restoring elbow flexion and should be considered only as an adjunctive option or as a salvage procedure.

Key words: radial nerve, elbow flexion, nerve transfer, extensor carpi radialis longus (ECRL), brachialis muscle

Introduzione

Il ripristino della flessione del gomito rimane un obiettivo centrale nel trattamento della paralisi del plesso brachiale superiore e di altre lesioni complesse dei nervi periferici, poiché è necessario per quasi tutte le attività. L'estensione del gomito è facilitata dalla gravità ed è quindi più facile da ottenere. I principali muscoli coinvolti nella flessione del gomito sono il bicipite brachiale, il brachiale (considerato componente principale in termini di forza) e il brachioradiale. Il brachiale è generalmente innervato da due nervi: il muscolo-cutaneo, che è ritenuto il suo principale nervo motore, e il nervo radiale, che innerva una porzione laterale variabile del muscolo.

Diversi transfer nervosi, come quelli di fasci del nervo mediano al ramo motore per il brachiale, fasci del nervo ulnare per il ramo motore del bicipite, trasferimenti di nervi intercostali ed i transfer del nervo spinale accessorio, hanno dimostrato risultati affidabili e sono diventati opzioni ricostruttive standard¹.

Tuttavia, determinati scenari clinici o quadri lesionali atipici possono richiedere l'impiego di nervi donatori meno convenzionali. Il nervo radiale, a livello del braccio, fornisce molteplici branche motorie sacrificabili, tra cui il ramo destinato al muscolo estensore radiale lungo del carpo (ECRL).

Il nervo radiale attraversa il setto intermuscolare laterale circa 7,5 cm prossimalmente alla superficie articolare; decorre quindi tra il muscolo brachiale e il brachioradiale (anteriormente all'epicondilo laterale), dove solitamente origina la branca motoria per l'ERLC prima della sua biforcazione nel ramo sensitivo superficiale e nel ramo profondo (nervo interosseo posteriore).

Inoltre, è stata documentata, con prevalenza variabile, una duplice innervazione del muscolo brachiale da parte del nervo muscolo-cutaneo (C5-C7) e del nervo radiale (C5-C8 e T1), fattore che ha destato crescente interesse verso le strategie di trasferimento nervoso dal nervo radiale al brachiale. In particolare, il muscolo brachiale risulta innervato dalle radici nervose spinali C5-C7, mentre l'ERLC da C6 e C7. La comprensione dell'anatomia è essenziale per la valutazione della potenziale compatibilità ricevente-donatore.

Gli obiettivi del presente studio sono stati i seguenti: (1) determinare la prevalenza e le caratteristiche anatomiche del ramo del nervo radiale per il muscolo brachiale in arti superiori di cadavere; (2) valutare la fattibilità di una coaptazione

termino-terminale senza tensione tra il ramo motorio per l'estensore radiale lungo del carpo (ERLC) e il ramo motorio per il muscolo brachiale, senza uso di innesti; (3) confrontare i risultati ottenuti con i dati presenti in letteratura al fine di verificare, sulla base di criteri consolidati per il trasferimento nervoso, se tale ricostruzione possa rappresentare un'opzione chirurgica praticabile.

Materiali e metodi

In primo luogo, è stata condotta una revisione strutturata della letteratura finalizzata al raggiungimento di tre obiettivi specifici:

(1) identificare i parametri chiave ritenuti essenziali per il successo dei trasferimenti nervosi – quali la ridondanza del donatore, la compatibilità dei tipi di fibre, la sinergia, il conteggio assonale, la distanza dal ricevente e la variabilità anatomica – al fine di valutare la validità della nostra proposta di *nerve transfer*;

(2) valutare la prevalenza e la variabilità anatomica riportate in letteratura relativamente alle branche motorie del radiale per il muscolo brachiale;

(3) individuare le tecniche di trasferimento nervoso attualmente impiegate per il ripristino della flessione del gomito e, infine, confrontare tali metodiche con il potenziale ruolo del trasferimento della branca motoria dell'ECRL (*Extensor Carpi Radialis Longus*) verso la branca motoria del brachiale, oggetto del presente studio.

Le ricerche sono state effettuate tramite le banche dati PubMed e Scopus, utilizzando termini di ricerca quali: *brachialis innervation, radial nerve branch, ECRL nerve, nerve transfer elbow flexion e cadaveric study brachialis*. Gli articoli clinici, anatomici e su cadavere di rilevanza scientifica sono stati inclusi e confrontati con i risultati del presente studio.

Nel corso dello studio anatomico, sono stati sottoposti a dissezione sei arti superiori provenienti da cadaveri adulti freschi. Non sono state riscontrate alterazioni traumatiche o chirurgiche visibili nella regione del braccio.

Tecnica di dissezione: è stata eseguita un'incisione longitudinale lungo la faccia antero-laterale del braccio. Il nervo radiale è stato esposto sviluppando il piano tra i muscoli brachiale e brachioradiale, al fine di identificare e isolare la branca motoria del nervo radiale per il muscolo brachiale, la

branca motoria del nervo radiale per il muscolo brachioradiale e la branca motoria del nervo radiale per l'ECRL. Per ogni preparato sono stati registrati: la presenza o assenza della branca motoria del radiale per il brachiale e la possibilità di ottenere una coaptazione priva di tensione (*tension-free*) tra la branca donatrice (ECRL) e quella ricevente (brachiale). È stata inoltre effettuata la massima mobilizzazione prossimale e distale per determinare la fattibilità di una sutura diretta *end-to-end* senza l'impiego di innesti.

Risultati

Per ottenere una reinnervazione muscolare ottimale, la letteratura identifica i seguenti capisaldi nei trasferimenti nervosi motori: prossimità del nervo donatore alle placche motorie bersaglio, al fine di minimizzare la distanza e i tempi di rigenerazione; sacrificabilità del donatore (principio della ridondanza); natura motoria pura del nervo donatore (compatibilità del tipo di fibre); corrispondenza di calibro tra donatore e ricevente; sinergia funzionale tra donatore e ricevente per facilitare la riabilitazione post-operatoria ^{14,15}. Secondo la letteratura, i donatori attualmente più impiegati per il ripristino della flessione del gomito includono, in ordine decrescente di preferenza: fascicoli dei nervi ulnare e mediano (tecnica di Oberlin modificata, doppio trasferimento fascicolare ai muscoli bicipite brachiale e brachiale), rami del nervo pettorale mediale, nervo toracodorsale, porzione distale del nervo accessorio e nervi intercostali. Tali tecniche sono associate a risultati da buoni a eccellenti, in particolare il doppio trasferimento di Oberlin e il transfer di due nervi intercostali (che appaiono significativamente correlati a maggiori probabilità di raggiungere un grado > M4). Inoltre, il doppio trasferimento di Oberlin risulta associato a una minore variabilità degli esiti ¹. Precedenti studi cadaverici riportano una prevalenza variabile del ramo del nervo radiale per il muscolo brachiale, con percentuali comprese tra il 41% e il 100% in base all'etnia della popolazione studiata ²⁻¹¹. Tale nervo presenta inoltre un'elevata variabilità nel numero di rami diretti al muscolo brachiale, oscillante da 1 a 3 (Tab. I). Gaur et al. hanno documentato nel loro studio una lunghezza media del ramo del nervo radiale per il brachiale pari a 9,17 mm. La distanza media dal sito di emergenza all'epicondilo laterale dell'omero è risultata essere di 6,54 cm in direzione prossimale ⁵. Ilayperuma et al. hanno riscontrato l'innervazione del muscolo brachiale da parte del nervo radiale in 191 su 240 arti superiori (83,33%) ma fornendo innervazione esclusivamente alla porzione profonda, perforando il muscolo nel suo terzo inferiore nell'82% dei campioni ⁶. Durante la dissezione anatomica, la branca del nervo radiale diretta al muscolo brachiale è stata identificata in tutti i

Tabella I. dati della letteratura della prevalenza del ramo dal nervo radiale al muscolo brachiale.

Cadaveric studies	Nr. arms dissected	Nationality of cadavers	Prevalence of radial nerve branch to brachialis
J. Yan et al. 1998	16	Japanese	100%
Kumari J et al. 2009	50	Indian	72%
Gaur NL et al. 2020	62	Indian	87%
Blackburn SC et al. 2007	42	UK Caucasian	67%
Sawyer FK et al. 2020	35	North American	60%
Chiarapattanakom P. 1998	56	Thai	65%
Leonello DT et al. 2007	32	North American	62%
Bertelli JA. 2024	34	South American	41%
Ilayperuma et al. 2019	240	Sri Lankan	83.3%

sei arti superiori esaminati (100%) con un'origine costante, prossimale alla linea intercondiloidea dell'omero, nel piano compreso tra i muscoli brachiale e brachioradiale, e sempre prossimale rispetto alle branche del nervo radiale destinate al brachioradiale e all'estensore radiale lungo del carpo (ECRL). In nessun preparato è stata riscontrata l'assenza del ramo o pattern di ramificazione anomali che potessero ostacolare l'identificazione o la mobilizzazione. Anche la branca donatrice dall'ECRL è risultata presente in tutti i campioni. In seguito a una neurolisi completa in senso prossimale e distale, in ogni preparato è stato possibile eseguire una coaptazione termino-terminale diretta tra le due branche, senza tensione e senza necessità di innesti nervosi. I diametri macroscopici sono apparsi compatibili in tutti i casi; inoltre, non sono state rilevate strutture compressive, vincoli anatomici o distanze eccessive che impedissero l'approssimazione dei capi nervosi. Rispetto ai transfer nervosi già consolidati per il ripristino della flessione del gomito, il trasferimento ECRL pro brachiale appare anatomicamente fattibile, sebbene il suo ruolo possa essere considerato supplementare piuttosto che primario.

Discussione

Il ramo per il muscolo brachiale è stato identificato in tutti

i sei campioni, confermandone la presenza statisticamente rilevante nel nostro studio; tuttavia, precedenti studi anatomici presenti in letteratura riportano un intervallo di prevalenza molto ampio, con valori minimi del 41% e una notevole variabilità nel numero di rami, compresi tra uno e tre. Inoltre, il ramo del radiale innerva tipicamente solo una porzione minore del muscolo brachiale, fattore che influenza significativamente l'esito funzionale atteso di un transfer nervoso motorio basato su questo ramo. In sostanza, l'eterogeneità anatomica riportata in letteratura ne riduce l'affidabilità come tecnica riproducibile.

Sebbene la coaptazione sia risultata tecnicamente fattibile e realizzabile in assenza di tensione in tutti i preparati cadaverici, la fattibilità tecnica non implica necessariamente l'idoneità clinica. Nella valutazione di un potenziale trasferimento nervoso, devono essere considerati molteplici parametri, tra cui la sinergia tra donatore e ricevente, il carico assonale, la compatibilità motorio-sensoriale, la corrispondenza del diametro nervoso, la distanza tra il sito di coaptazione e il muscolo target, la variabilità anatomica e la ridondanza del nervo donatore.

Il transfer del nervo per il muscolo estensore radiale lungo del carpo (ECRL) al ramo del radiale per il brachiale soddisfa alcuni di questi criteri (distanza e sacrificabilità del donatore), ma presenta al contempo diverse limitazioni. Il calibro ridotto e il limitato contributo motorio del ramo ricevente suggeriscono che il trasferimento garantirebbe probabilmente la reinnervazione di una porzione ristretta del brachiale; ciò potrebbe determinare un recupero della flessione del gomito subottimale rispetto a procedure consolidate, quali i trasferimenti fascicolari dal nervo ulnare o mediano, i trasferimenti dei nervi intercostali o la tecnica di Oberlin. Inoltre, il muscolo donatore non è sinergico, il che comporta un percorso riabilitativo più complesso e prolungato.

Ciononostante, questo trasferimento potrebbe rappresentare un'opzione ausiliaria in casi selezionati, ad esempio qualora i donatori motori primari non fossero disponibili. Da questo punto di vista, il nostro studio ha mostrato risultati incoraggianti. In particolare, tale tecnica potrebbe rivelarsi utile nei casi in cui gli estensori del polso siano preservati a fronte di un indebolimento dei flessori, evitando così di compromettere ulteriormente la flessione del polso. Inoltre, lo studio apre la strada a ulteriori ipotesi: si potrebbe configurare, ad esempio, una variante procedurale che preveda il trasferimento nervoso diretto dall'ECRL al brachiale con decorso profondo rispetto al bicipite. Qualora futuri studi anatomici ne confermassero l'affidabilità, il trasferimento ECRL-brachiale potrebbe essere preso in considerazione nell'ambito di procedure di salvataggio.



Figura 1. Dissezione arto superior 1. Sono evidenziate le branche per il brachiale, brachioradiale e ECRL.

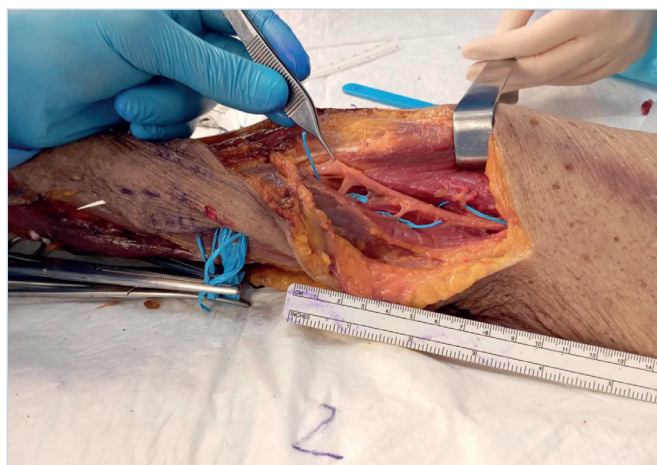


Figura 2. Dissezione arto superior 2. Sono evidenziate le branche per il brachiale, brachioradiale e ECRL.

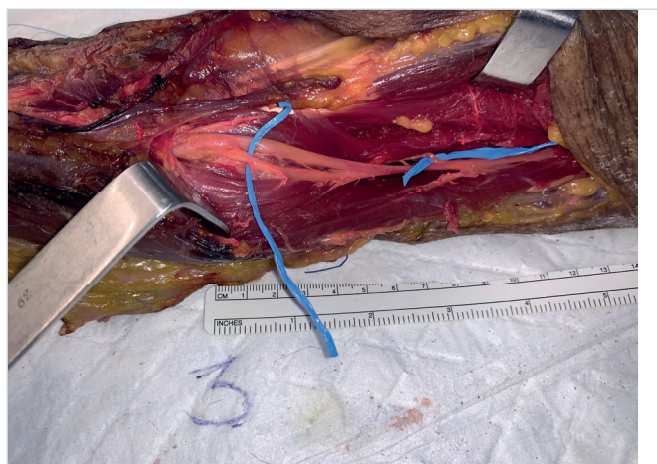


Figura 3. Dissezione arto superior 3. Evidenziate le branche per il brachiale e ECRL.



Figura 4. Dissezione arto superior 4. Evidenziate le branche per il brachiale, brachioradiale e ECRL.

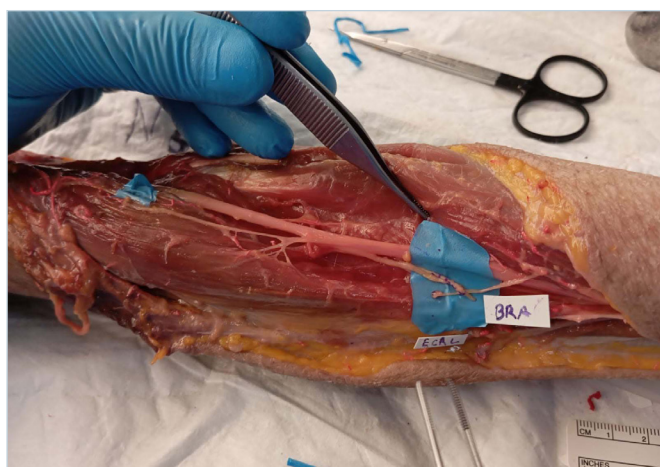


Figura 5. Dissezione arto superior 5. Evidenziate le branche per il brachiale e ECRL approssimate senza tensione.



Figura 6. Dissezioze arto superior 6. Evidenziate le branche per il brachiale e ECRL approssimate senza tensione.

Conclusioni

Il trasferimento del ramo del nervo radiale dal muscolo estensore radiale lungo del carpo (ECRL) al muscolo brachiale risulta anatomicamente realizzabile e attuabile in assenza di tensione su preparati cadaverici. Tuttavia, a causa delle ridotte dimensioni e della prevalenza variabile del ramo per il muscolo brachiale, del suo verosimile apporto limitato alla funzione motoria e delle caratteristiche subottimali se valutato secondo i criteri standard per il trasferimento nervoso, tale procedura non deve essere considerata un'opzione di prima linea per il ripristino della flessione del gomito. Al contrario, essa può rivestire un valore come tecnica complementare o di salvataggio in contesti clinici accuratamente selezionati.

Nel complesso, il presente lavoro evidenzia come la competenza microchirurgica, coniugata a una profonda conoscenza anatomica e al rispetto dei principi fondamentali dei trasferimenti nervosi, offra un'ampia flessibilità nella pianificazione ricostruttiva. Anche rami anatomicamente modesti possono ampliare l'armamentario chirurgico qualora i nervi donatori convenzionali risultino insufficienti o non disponibili.

Bibliografia

- 1 Lee CYV, Cochrane E, Chew M, et al. The effectiveness of different nerve transfers in the restoration of elbow flexion in adults following brachial plexus injury: a systematic review and meta-analysis. *J Hand Surg Am.* 2023;48(3):236-244. <https://doi.org/10.1016/j.jhsa.2022.11.013>
- 2 Sawyer FK, Stefanik JJ, Lufner RS. The branching and innervation pattern of the radial nerve in the forearm: clarifying the literature and understanding variations and their clinical implications. *Diagnostics (Basel).* 2020;10(6):366.
- 3 Prakash, Kumari J, Singh N, et al. A cadaveric study in the Indian population of the brachialis muscle innervation by the radial nerve. *Rom J Morphol Embryol.* 2009;50(1):111-114.
- 4 Blackburn SC, Wood CP, Evans DJ, et al. Radial nerve contribution to brachialis in the UK Caucasian population: position is predictable based on surface landmarks. *Clin Anat.* 2007;20(1):64-67.
- 5 Gaur NL, Soni JS, Gaur S. The innervation of brachialis muscle by radial nerve in Gujarat region: a human cadaveric study. *Int J Anat Res.* 2020;8(1.2):7328-7332. <https://doi.org/10.16965/ijar.2019.369>
- 6 Ilayperuma I, Uluwitiya SM, Nanayakkara BG, et al. Re-visiting the brachialis muscle: morphology, morphometry, gender diversity, and innervation. *Surg Radiol Anat.* 2019;41(4):393-400. <https://doi.org/10.1007/s00276-019-02182-2>
- 7 Chiarapattanakom P, Leechavengvongs S, Witoonchart K, et al. Anatomy and internal topography of the radial nerve: a study of 56 cadavers. *Anat Rec.* 1998;251(4):653-660. [https://doi.org/10.1016/S0363-5023\(98\)80122-6](https://doi.org/10.1016/S0363-5023(98)80122-6)
- 8 Leonello DT, Galley IJ, Bain GI, et al. Brachialis muscle anatomy:

- a study in cadavers. *Clin Anat.* 2007;20(7):815-820. <https://doi.org/10.1002/ca.20519>
- ⁹ Yan J, Aizawa Y, Honma S, et al. Re-evaluation of the human brachialis muscle by fiber analysis of supply nerves. *Kaibogaku Zasshi.* 1998;73(3):247-258.
- ¹⁰ Bertelli JA, Tacca CP, Mira J, et al. Fresh cadaver study on the innervation of human brachialis muscle: revisiting musculocutaneous nerve branch predominance and analyzing myelinated fiber counts. *Clin Anat.* 2024;37(2):214-223.
- ¹¹ Bertelli JA, Mira J, Ghizoni MF. Myelinated fiber counts of motor branches to radial nerve targets: brachialis, brachioradialis, and extensor carpi radialis longus. *Neurosurgery.* 2024.
- ¹² Abrams RA, Ziets RJ, Lieber RL, et al. Anatomy of the radial nerve motor branches in the forearm. *J Hand Surg Am.* 1997;22(2):232-237.
- ¹³ Martinez Collado P, Tarnawski Español GJ, Fornieles Espine A. Anatomic study of the innervation of extensor carpi radialis longus and extensor carpi radialis brevis: interest in nerve transfers. 2022. <https://doi.org/10.21203/rs.3.rs-1883284/v1>
- ¹⁴ Abdelsalam AE, Ghaith MA, Alqathafi AM, et al. Principles of tendon transfer and neurotization in radial nerve palsy: review article. *Egypt J Hosp Med.* 2023;90(2):3323-3326. <https://doi.org/10.21608/ejhm.2023.291350>
- ¹⁵ Tung TH, Mackinnon SE. Nerve transfers: indications, techniques, and outcomes. *J Hand Surg Am.* 2010;35(2):332-341. <https://doi.org/10.1016/j.jhssa.2009.12.002>