

NEUROMI DIGITALI: RECUPERO DELLA SENSIBILITÀ MEDIANTE ANASTOMOSI TERMINO-LATERALE

I. MARCOCCIO, R. ADANI¹

Centro di Chirurgia della Mano e Microchirurgia Ortopedica, Istituto Clinico Città di Brescia, Brescia

¹ Dipartimento Integrato di Emergenza-Urgenza, Clinica Ortopedica e Traumatologica,
Università degli Studi di Modena e Reggio Emilia, Policlinico di Modena, Modena

Digital neuromas: sensation recovery through termino-lateral nerve repair

SUMMARY

Aim: Digital neuroma is one of the most frequent event in hand surgery and various treatment techniques have been proposed in the literature. Some digital nerve reconstruction techniques after neuroma removal include nerve grafts, synthetic conduits and venous conduits alone or filled with muscle. The advent of termino-lateral nerve repair has opened a new frontier in peripheral nerve reconstructive surgery. The aim of this study is to present a preliminary experience in the treatment of painful digital neuromas with neuroma removal and termino-lateral anastomosis to restore fingertip sensation. **Material and Method:** Between 2001 and 2005, 5 patients were treated for painful digital neuroma. In all cases the neuroma was removed and the proximal nerve stump was imbedded within the muscle belly, whereas the distal nerve stump was sutured termino-laterally to the adjacent digital nerve to restore fingertip sensation. All patients returned for follow-up at 24 months from surgery. **Results:** There were no recurrence of neuroma and sensation recovery ranged between 12 and >15 mm (2SpD), with only one patient complaining of cold intolerance. **Conclusions:** Termino-lateral nerve repair represents a simple, quick technique, without needing to sacrifice a healthy nerve and effective for both pain control and prevention of neuroma formation at the site of the suture. Riv Chir Mano 2008; 1: 64-71

KEY WORDS

Digital neuroma, termino-lateral nerve repair

RIASSUNTO

Scopo: I neuromi digitali sono una delle evenienze più frequenti nella chirurgia della mano; diverse sono le metodiche di trattamento proposte in letteratura. Per le ricostruzioni dei nervi digitali dopo escissione del neuroma, sono stati impiegati: innesti nervosi, tubuli sintetici e tubuli di vena con o senza la presenza di muscolo all'interno. Il recente utilizzo delle anastomosi nervose termino-laterali ha aperto "nuove direzioni" nella chirurgia ricostruttiva dei nervi periferici. Lo scopo di questo lavoro è presentare un'esperienza preliminare nel trattamento dei neuromi digitali mediante asportazione del neuroma e anastomosi termino-laterale al fine di ripristinare la sensibilità pulpare. **Materiali e Metodi:** Nel periodo 2001-2005 sono stati trattati 5 pazienti con presenza di neuroma digitale doloroso. In tutti i casi si è proceduto alla asportazione del neuroma e al suo infossamento all'interno del muscolo e alla successiva anastomosi termino-laterale tra il moncone digitale distale e il nervo digitale adiacente al fine di ripristinare la sensibilità pulpare. Tutti e cinque i pazienti sono stati valutati ad una distanza di 24 mesi dall'intervento chirurgico. **Risultati:** Non si sono verificate recidive del neuroma e la ripresa della sensibilità a livello pulpare è risultata compresa tra 12 e >15 mm (2SpD), un solo paziente ha lamentato intolleranza al freddo. **Conclusioni:** la neuroraffia termino-laterale rappresenta una metodica semplice, veloce, senza sacrificio di un nervo sano ed efficace sia nel controllo del dolore che nella prevenzione del neuroma a livello del sito di sutura.

PAROLE CHIAVE

Neuroma digitale, neuroraffia termino-laterale

INTRODUZIONE

La mano è esposta a numerosi traumi, alcuni di questi (lesioni da taglio, da punta, da schiacciamento e da trazione) possono causare la lesione parziale o totale di uno o più nervi digitali, che possono esitare nella formazione di un neuroma d'amputazione (1).

Nel corso degli ultimi 50 anni sono comparse in letteratura numerose metodiche per il trattamento dei neuromi, basti pensare che già nel 1965 Snyder e Knowle (2) descrissero ben oltre 150 diversi tipi di trattamenti. La letteratura riporta *tecniche non-invasive* (massaggi, ultrasuoni, tens, etc...), *tecniche semi-invasive* (agopuntura, infiltrazioni steroidee, etc...) e *tecniche invasive* (neurolisi, resezione del neuroma e innesti nervosi, condotti nervosi, venous wrapping, lembi muscolari, rilocalizzazione del moncone prossimale nell'osso o nel muscolo, nerve stripping, lembi cutanei, rivestimenti di silicone, etc...) (3-7).

I molti lavori scientifici presenti sull'argomento riflettono la mancanza di un accordo generale su una metodica universalmente riconosciuta come gold standard per la prevenzione e il trattamento di questa patologia (8, 9).

Dellon e Mackinnon (10) considerano il trattamento di un neuroma doloroso una problematica multifattoriale, dove giocano un ruolo chiave sia la risposta al dolore da parte del paziente, sia la scelta del trattamento chirurgico. Quest'ultimo differisce a seconda della localizzazione del neuroma (polso, stiloide radiale, regione palmo-metacarpale, falangi).

Il *trattamento ideale per un neuroma*, dovrebbe soddisfare due fondamentali criteri: il moncone nervoso sensitivo deve essere posizionato senza tensione e soprattutto lontano da traumi e stimolazioni meccaniche evitando quindi le regioni sottocutanee e/o di tessuto cicatriziale/fibroso (10).

Il posizionamento del moncone nervoso all'interno del tessuto muscolare soddisfa i sopraccitati criteri, in quanto il nervo è circondato da tessuto ben vascolare che lo "protegge" da traumi esterni.

Per il ripristino della sensibilità digitale si è utilizzata una metodica recentemente rivalutata, la neurografia termino-laterale.

Scopo di questo lavoro è presentare la nostra esperienza preliminare nel trattamento dei neuromi digitali dolorosi con perdita della sensibilità polpale mediante resezione del neuroma, rilocalizzazione del moncone nervoso prossimale all'interno del vicino muscolo lombricale e successiva neurografia termino-laterale tra moncone nervoso distale adiacente al nervo digitale sano al fine di ripristinare la sensibilità.

MATERIALI E METODI

Nel periodo compreso tra il 2001 e il 2005 sono stati trattati 5 pazienti (2M-3F; età media di 32,8 anni) che presentavano neuromi d'amputazione di cui 4 localizzati ai nervi collaterali digitali e uno al nervo digitale comune. In tutti i pazienti si registrava una perdita variabile della sensibilità polpale maggiore di 15 mm al S2pD test, dolore alla pressione in corrispondenza della lesione cutanea e segno di Tinel positivo irradiato distalmente lungo il decorso del nervo.

Il tempo trascorso dalla lesione al trattamento chirurgico è stato in media di 100 giorni (Tab. 1). In tutti i casi si è proceduto alla resezione del neuroma e al posizionamento del moncone nervoso prossimale all'interno del muscolo lombricale vicino al fine di prevenirne la recidiva. Sono state eseguite 6 neurografie termino-laterali: in 4 casi tra il moncone nervoso digitale distale (ricevente) e l'adiacente nervo collaterale digitale sano (donatore), mentre nel caso n° 2 (Tab. 1) è stata eseguita una doppia neurografia utilizzando come nervo donatore il 3° nervo collaterale digitale radiale e il 4° nervo collaterale digitale ulnare (Fig. 1).

In tutti i casi la neurografia termino-laterale è stata eseguita sotto l'ausilio del microscopio operatorio. Si è sempre effettuata l'incisione del perinervio longitudinalmente al maggior asse del nervo ponendo particolare attenzione a non ledere i sottostanti fascicoli e previa preparazione del moncone distale del nervo digitale abbiamo avvicinato quest'ultimo al nervo donatore (Fig. 2). Al fine di evitare tensione ai capi nervosi abbiamo preferito eseguire la sutura microchirurgica a dito completa-

Tabella 1. *Valutazione preoperatoria*

Caso n.	Sesso	Età	Nervo interessato	Intervento: NTL	Tempo trascorso dalla lesione	Segno di Tinel	Sensibilità (S2PD)
1	M	35	3° NDCU	3° NDCR	128	+	>15
2	F	48	3° NDC	3° NDCR 4° NDCU	152	+	>15
3	M	28	1° NDCU	1° NDCR	98	+	>15
4	F	23	4° NDCR	4° NDCU	45	+	>15
5	F	30	2° NDCR	2° NDCU	78	+	>15

NDCU: nervo digitale collaterale ulnare; NDC: nervo digitale comune; NDCR: nervo digitale collaterale radiale
NTL: neurografia termino-laterale

mente esteso. Il filo di sutura utilizzato è stato il nylon 9/0.

Al termine dell'intervento si è applicata una stecca al dito per 20 giorni, seguita da rieducazione funzionale.

RISULTATI

Tutti i pazienti sono stati controllati ad una distanza dall'intervento chirurgico di 24 mesi. In tutti i casi si è registrata una diminuzione della sintomatologia dolorosa e in nessun caso si è avuta la recidiva del neuroma (Tab. 2). Solo un paziente (n° 2) ha continuato a riferire intolleranza al freddo.

Nessuno dei pazienti ha riferito riduzione della sensibilità all'emipolpastrello donatore.

Durante i movimenti di presa e/o a seguito di urti accidentali, i pazienti 2,3 e 5 hanno riferito una sensazione dolorosa accompagnata talvolta da

deboli parestesie in corrispondenza del sito di sutura.

Per la misurazione della sensibilità ci si è avvalsi del S2pD test Statico e Dinamico confrontando i risultati tra l'emipolpastrello sano (donatore) con quello leso (ricevente), registrando rispettivamente alle prove statiche una media di 8,66 mm (range 7-11 mm) e 5,16 mm (range 4-5 mm), mentre alle prove dinamiche rispettivamente una media di 7,55 mm (range 6-9 mm) e 4,5 mm (range 4-5 mm) (Tab. 2).

DISCUSSIONE

L'idea di utilizzare per la ricostruzione nervosa la sutura termino-laterale nasce dall'esigenza di trovare un'alternativa microchirurgica all'utilizzo sia dei neurotubi che all'innesto nervoso tradizionale, soprattutto nei casi in cui il gap nervoso è troppo

Tabella 2. *Valutazione Post-operatoria*

Caso n.	Static 2PD (mm)		Moving 2PD (mm)		Intolleranza al freddo	Scala Viso-Analogica del Dolore (SVA)
	Ricevente	Donatore	Ricevente	Donatore		
1	9	5	8	4	no	3
2	10	6	9	5	no	3
	11	6	9	5	si	6
3	8	4	7	4	no	5
4	7	5	6	4	no	3
5	7	5	6	5	no	4
Media	8,66	5,16	7,5	4,5	/	4

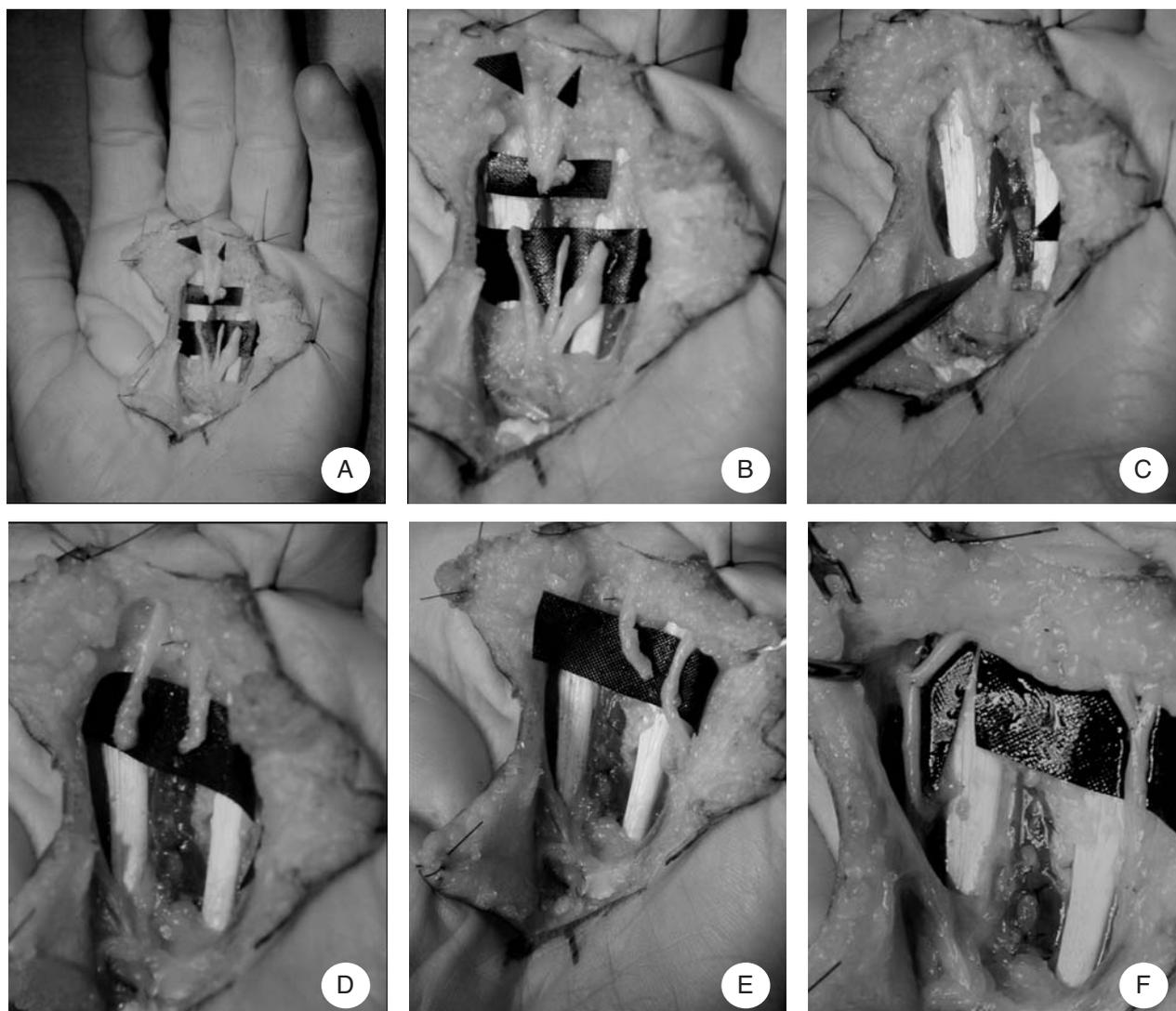


Figura 1. Immagine intraoperatoria – caso n. 2. A, B) Panoramica e particolare della lesione al palmo della mano – in basso da sn. a dx l'arteria, la vena e il 3° nervo digitale comune che presenta un voluminoso neuroma in continuità – in alto i due monconi nervosi digitali distali per il 3° e 4° dito. C) Asportato il neuroma, il nervo digitale comune viene posizionato all'interno del vicino muscolo lombricale e assicurato con punti di sutura. D) In evidenza i due monconi distali dei nervi digitali radiale del 3° dito e ulnare del 4° dito. E, F) Preparazione, accostamento e sutura termino-laterale dei due nervi digitali agli adiacenti nervi sani.

elevato (11-14) o il moncone prossimale non utilizzabile (15).

Pioniere di questa metodica è Ballance (16) che nel 1903 eseguì sull'uomo la prima *anastomosi termino-laterale* tra il moncone prossimale del nervo facciale e il vicino nervo accessorio ottenendo allora buoni risultati clinici. Negli anni seguenti questa tecnica venne abbandonata a favore dell'innesto

nervoso tradizionale, che divenne il gold standard per la ricostruzione nervosa (17).

Nel 1992 Viterbo (18, 19) riprese i lavori di 90 anni prima dando nuova luce a questa metodica, sia in campo clinico che sperimentale.

Le basi biologiche della neuroraffia termino-laterale rispecchiano le capacità adattative del sistema nervoso a stimoli perturbanti (neuroplasticità)

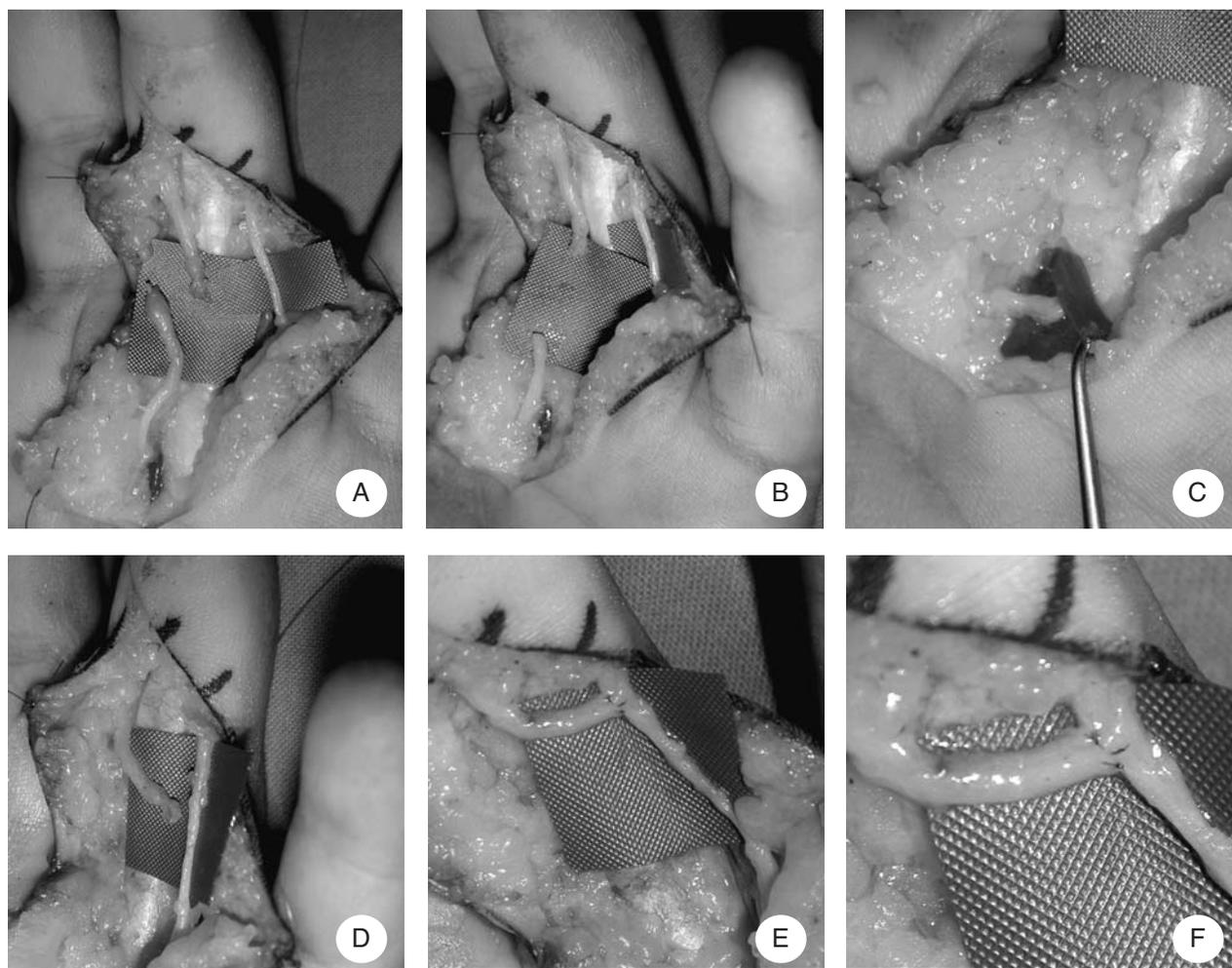


Figura 2. Immagine intraoperatoria – caso n. 4. *A) Lesione del nervo digitale radiale del 4° dito con neuroma al moncone prossimale. B, C) Asportazione del neuroma e posizionamento del moncone prossimale all'interno muscolo lombricale. D, E, F) Accostamento e sutura termino-laterale del moncone distale del nervo digitale radiale al vicino nervo digitale ulnare intatto.*

(20) e si fondano sulla possibilità di riparare un nervo leso “*prendendo in prestito*” assoni dal vicino nervo sano attraverso un processo dinamico che viene definito *collateral axonal sprouting* (rigenerazione assonale collaterale) (21).

La rigenerazione assonale collaterale ha tre possibili origini: 1) il reale collateral axonal sprouting dai nodi di Ranvier (nodal sprouting) dal nervo donatore al nervo ospite 2) l'axonotomia accidentale (danno iatrogeno) ai fascicoli del nervo donatore durante le procedure microchirurgiche di apertura della finestra epineurale; 3) la contaminazione assonale da parte del moncone prossimale verso il distale (15, 17, 22). Quest'ultima, sebbene descritta e

verificata in sede sperimentale, nella pratica clinica partecipa al processo della rigenerazione nervosa in misura trascurabile e solo in alcune particolari circostanze. Riguardo l'*axonotomia accidentale ai fascicoli del nervo donatore* durante l'esecuzione della anastomosi termino-laterale rimane ancora oggetto di dibattito e studio. Alcuni autori (23) dubitano persino della reale esistenza del “collateral axonal sprouting” sostenendo che, durante la procedura microchirurgica di apertura della finestra epineurale, sia inevitabile ledere in modo variabile gli assoni del nervo donatore, ciò produce assoni rigeneranti dall'estremità lesa che non danno vita al *collateral axonal sprouting*, bensì al *terminal axonal sprouting*.

Infatti, l'axonotomia accidentale così prodotta, oltre a causare la degenerazione walleriana del segmento nervoso a valle della lesione con danno inevitabile di entità variabile al nervo donatore stesso, innesca un processo rigenerativo che prosegue verso due direzioni: una componente riabilita il moncone distale precedentemente leso, un'altra parte invece si dirige verso il nervo ricevente accostato con sutura microchirurgica termino-laterale, con meccanismo del tutto simile a quello della *rigenerazione assonale termino-terminale* che differisce in maniera sostanziale dalla reale rigenerazione assonale collaterale (collateral axonal sprouting).

Il reale *collateral axonal sprouting* invece, è il vero processo alla base della rigenerazione nervosa nella sutura termino-laterale ed è caratterizzato dalla produzione di gemme assonali a partenza dai nodi di ranvier (nodal sprouting), perpendicolari all'asse dell'*assone sano* (24-26), verso un segmento di nervo adiacente ricevente; l'ambiente perilesionale (cellule di schwann, muscolo denervato, moncone nervoso distale degenerato) fornisce un importante stimolo bioumorale e chemiotattico alla rigenerazione nervosa (15).

Altro fattore da prendere in considerazione praticando la neuroraffia termino-laterale è la modalità dell'accostamento e sutura dei monconi nervosi. La necessità di praticare o meno una *finestra epineurale* al nervo donatore per molto tempo è stata oggetto di dibattito (17, 21, 27, 28-30). Sebbene sia dimostrato (31) che la rigenerazione assonale possa avvenire anche senza apertura della finestra epineurale, molti esperimenti hanno affermato che in presenza di questa la rigenerazione assonale è maggiore (20, 22, 32-34), così facendo aumenta però il rischio di lesione *accidentale* ai fascicoli del nervo donatore, anche se nella pratica clinica questo aspetto è marginale e senza compromissioni funzionali al nervo donatore (35).

Per la sutura microchirurgica alcuni autori sostengono che il semplice accostamento dei monconi (senza l'apertura della finestra epineurale) e l'utilizzo di colla di fibrina siano sufficienti per garantire stabilità ed efficienza all'innesto. Altri invece sostengono che la colla di fibrina, interponendosi tra i fascicoli nervosi ostacoli la rigenerazione assonale.

La neuroraffia termino-laterale presenta alcuni limiti d'impiego. Sebbene alcuni studi clinici (36-39) abbiano dimostrato che la reinnervazione motoria sia possibile dopo neuroraffia termino-laterale, si preferisce limitare l'impiego clinico di questa metodica alla riparazione di nervi sensitivi (20). Inoltre, se paragonata con la rigenerazione assonale termino-terminale, quella termino-laterale è più lenta, giustificando lo scarso risultato talvolta ottenuto nella pratica clinica (20, 40).

Questa metodica rappresenta sicuramente una tecnica semplice, veloce che evita il prelievo di tessuto nervoso donatore, inoltre i risultati non sono influenzati dalla lunghezza del gap nervoso.

In ambito clinico, per la ricostruzione di perdite di sostanza nervosa, l'utilizzo dell'innesto tradizionale costituisce a tutt'oggi la metodica più diffusa, anche se altre tecniche, come il "muscolo in vena" (12) o i neurotubuli (biologici e non) rappresentano, soprattutto in ambito superspecialistico, metodiche in crescente sviluppo (6) tanto che la recente letteratura, per difetti nervosi compresi tra i 3 e 5 cm, fornisce risultati paragonabili con entrambe le tecniche (41).

Nella valutazione dei pazienti operati per questo studio, abbiamo notato che tre di loro lamentavano dolorabilità al dito operato durante la presa di oggetti. Ciò può essere messo in relazione alla tecnica chirurgica utilizzata, infatti il nervo ricevente per raggiungere l'adiacente nervo donatore, attraversa la regione volare del dito ed essendo solamente protetto dalla cute, diviene vulnerabile a traumi anche di lieve entità. Questo rappresenta sicuramente un limite nell'utilizzo della neuroraffia termino-laterale in caso di lesione di un nervo digitale.

La scelta di utilizzare questa metodica risiede comunque nella sua semplicità di esecuzione, permettendo quindi ridotti tempi chirurgici, evitando il sacrificio di un nervo sano, dimostrandosi inoltre efficace sia nel controllo del dolore che nella prevenzione del neuroma a livello del sito di sutura (17). I risultati ottenuti sono paragonabili a quelli riportati in letteratura utilizzando i condotti venosi anche se tempi di follow-up più lunghi e una casistica maggiore sono necessari al fine di confermare questi iniziali buoni risultati.

BIBLIOGRAFIA

1. Rose J, Belsky MR, Millender LH, Feldon P. Intrinsic muscle flaps: the treatment of painful neuromas in continuity. *J Hand Surg* 1996; 21A: 671-4.
2. Snyder EC, Knowle RP. Traumatic neuromas. *J Bone J Surg* 1965; 47A: 641-3.
3. Molander H, Olsson Y, Engkvist O, et al. Regeneration of peripheral nerve through a polyglactin tube. *Muscle Nerve* 1982; 5: 54-7.
4. Lundborg G, Dahlin LB, Danielson N, et al. Nerve regeneration in silicone chambers: influence of gap length and of distal stump components. *Exp Neurol* 1982; 76: 361-75.
5. Mackinnon SE, Dellon AL. Clinical nerve reconstruction with bioabsorbable polyglycolic acid tube. *Plast Reconstr Surg* 1990; 85: 419-24.
6. Chiu DTW. Autogenous venous nerve conduits. *Hand Clin* 1999; 15: 667-71.
7. Strauch B, et al. Determining the maximal length of a vein conduit used as an interposition graft for nerve regeneration. *J Reconstr Surg* 1996; 12: 521-7.
8. Herndon JH, Eaton RG, Littler JW. Management of painful neuroma in the hand. *J Bone J Surg* 1976; 58A: 369-73.
9. Goldstein SA, Sturim HS. Intraosseous nerve transposition for treatment of painful neuromas. *J Hand Surg* 1985; 10A: 270-4.
10. Dellon AL, Mackinnon SE. Treatment of the painful neuroma by neuroma resection and muscle implantation. *Plast Reconstr Surg* 1986; 77: 427-38.
11. Chiu DTW, Strauch B. A prospective clinical evaluation of autogenous vein grafts used as a nerve conduit for distal sensory nerve defects of 3 cm or less. *Plast Reconstr Surg* 1990; 86: 928-34.
12. Brunelli A, Battiston B, Viggasio A, Brunelli G, Marocolo M. Bridging nerve defects with combined skeletal muscle and vein conduits. *Microsurgery* 1993; 14: 247-51.
13. Tang JB. Vein Conduits with interposition of nerve tissue for peripheral nerve defects. *J Reconstr Microsurg* 1995; 11: 21-6.
14. Strauch B. Use of nerve conduits in peripheral nerve repair. *Hand Clin* 2000; 16: 123-130.
15. Zhang F, Fischer KA. End-to-side neurorrhaphy. *Microsurgery* 2002; 22: 122-7.
16. Balance CA, Balance HA, Stewart P. Remarks on the operative treatment of chronic facial palsy of peripheral origin. *Br J Med* 1903; 1: 1009-13.
17. Al-Qattan MM. Termino-lateral neurorrhaphy: review of experimental and clinical studies. *J Reconstr Microsurg* 2001; 17: 99-108.
18. Viterbo F, Trinidad JC, Hoshino K, et al. Lateroterminal neurorrhaphy without removal of epineural sheath: experimental study in rats. *Sao Paulo Med J* 1992; 110: 267-75.
19. Viterbo F, Trinidad JC, Hoshino K et al. End-to-side neurorrhaphy with removal of epineural sheath: an experimental study in rats. *Plast Reconstr Surg* 1994; 94: 1038-47.
20. Geuna S, Papalia I, Tos P. End-to-side (terminolateral) nerve regeneration: A challenge for neuroscientists coming from an intriguing nerve repair concept. *Brain Res Rev* 2006; 52: 381-388.
21. Noah EM, Williams A, Jorgenson C, Skoulis TG, Terzis JK. End-to-side neurorrhaphy: an histological and morphometric study of axonal sprouting into an end-to-side nerve graft. *J Reconstr Microsurg* 1997; 13: 99-106.
22. Rowan PR, Chen LE, Urbaniak JR. End-to-side nerve repair. *Hand Clin* 2000; 16: 151-9.
23. Rovak JM, Cederna PS, Kuzon WM. Termino-lateral neurorrhaphy: a review of the literature. *J Reconstr Microsurg* 2001; 17: 615-24.
24. Buehler JR, Seaber AV, Urbaniak JR. The relationship of functional return to varying methods of nerve repair. *J Reconstr Microsurg* 1990; 6: 61-9.
25. Al-Qattan MM, Al-Thunyan A. Variables affecting axonal regeneration following end-to-side neurorrhaphy. *Br J Plast Surg* 1998; 51: 238-42.
26. Zhang F, Cheng C, Chin B, et al. Results of termino-lateral neurorrhaphy to original and adjacent nerves. *Microsurgery* 1998; 18: 276-81.
27. Liu K, Chen LE, Seaber AV, Goldner RV, Urbaniak JR. Motor functional and morphological findings following end-to-side neurorrhaphy in the rat model. *J Orthop Res* 1999; 17: 293-300.
28. Okajima S, Terzis JK. Ultrastructure of early axonal regeneration in an end-to-side neurorrhaphy model. *J Reconstr Microsurg* 2000; 16: 313-23.
29. Yan JG, Matloub HS, Sanger JR, Zhang LL, Riley DA, Jaradeh SS. A modified end-to-side method for peripheral nerve repair: large epineurial window helicoid technique versus small epineurial window standard end-to-side technique. *J Hand Surg* 2002; 27A: 484-92.
30. Zhang Z, Johnson EO, Vekris MD, et al. Long-term evaluation of rabbit peripheral nerve repair with end-to-side neurorrhaphy in rabbits. *Microsurgery* 2006; 26: 262-7.
31. Matsumoto M, Hirata H, Nishiyama M, Morita A, Sasaki H, Uchida A. Schwann cells can induce collateral sprouting from intact axons: experimental study of end-to-side neurorrhaphy using a Y-chamber model. *J Reconstr Microsurg* 1999; 15: 281-6.
32. Papalia I, Lacroix C, Brunelli F, Stagno d'Alcontres F. Direct muscle neurotization after end-to-side-neurorrhaphy. *J Reconstr Microsurg* 2001; 17: 237-46.
33. Zhang Z, Soucacos PN, Beris AE, Bo J, Ioachim E, John-

- son EO. Long-term evaluation of rat peripheral nerve repair with end-to-side neurorrhaphy. *J Reconstr Microsurg* 2000; 16: 303-11.
34. Marcoccio I. End-to-side neurorrhaphy of the median nerve on the ulnar nerve in the rat comparing two different nerve coaptation techniques: with epineural windows *vs* without epineural windows. Preliminary report of functional and morphological evaluation. Mémoire de Diplôme Universitaire de techniques microchirurgicales. Ecole de Chirurgie de Paris, 20 Giugno 2007.
35. Walker JC, Brenner MJ, Mackinnon SE, Winograd JM, Hunter DA. Effect of perineurial window size on nerve regeneration, blood-nerve barrier integrity, and functional recovery *J Neurotrauma* 2004; 21: 217-27.
36. Amr SM, Moharram AN. Repair of brachial plexus lesions by end-to-side side-to-side grafting neurorrhaphy: experience based on 11 cases. *Microsurgery* 2005; 25: 126-46.
37. Gould JS. Treatment of the painful injured nerve-in-continuity. In: Gelberman ed. RH, *Operative nerve repair and reconstruction*. Philadelphia: JB Lippincott, 1991: 1541-50.
38. Tham SK, Morrison WA. Motor collateral sprouting through an end-to-side nerve repair. *J Hand Surg* 1998; 23A: 844-51.
39. Mennen U. End-to-side nerve suture in clinical practice. *Hand Surg* 2003; 8: 33-42.
40. Weber RV, Mackinnon SE. Bridging the neural gap. *Clin Plast Surg* 2005; 32: 605-16.
41. Voche P, Ouattara D. End-to-side neurorrhaphy for defects of palmar sensory digital nerves. *Br J Plast Surg* 2005; 58: 239-44.