

Suture nervose termino-laterali. Principi di base ed applicazioni cliniche

End-to-side nerve suture. Basic principles and clinical applications

B. Battiston
S. Artiaco¹
P. Tos
S. Geuna²
L.G. Conforti

UOD Microchirurgia Ricostruttiva, Dipartimento di Ortopedia e Traumatologia A.O. CTO-CRF-"M. Adelaide", Torino; ¹ UOA Ortopedia e Traumatologia, "M. Adelaide", Dipartimento di Ortopedia e Traumatologia A.O. CTO-CRF-"M. Adelaide", Torino; ² Dipartimento di Scienze Cliniche e Biologiche, Università di Torino

Indirizzo per la corrispondenza:
 Dott. Stefano Artiaco
 UOA Ortopedia e Traumatologia
 Istituto Chirurgico Ortopedico
 "Regina Maria Adelaide"
 lungodora Firenze 87
 10153 Torino
 Tel. +39 011 6937312
 Fax +39 011 6937313

Ricevuto il 1 aprile 2008
Accettato il 14 aprile 2008

RIASSUNTO

Introduzione. Le suture nervose termino-laterali furono descritte per la prima volta da Letievant nel 1876. Dopo un'iniziale fase di utilizzo furono abbandonate per un lungo periodo di tempo e nuovamente utilizzate da Viterbo a partire dal 1992. Questa neurografia si può definire come la sutura di un moncone di un nervo lesionato all'epinevrio di un nervo donatore intatto. Gli assoni del nervo donatore non sono sezionati, eccetto per il danno non intenzionale determinato dalla sutura e, se eseguita, dall'apertura di una finestra epineurale. Le esperienze cliniche con impiego di neurografie termino-laterali sono limitate. Abbiamo pertanto riportato la nostra esperienza con questo tipo di tecnica nel trattamento delle lesioni del plesso brachiale e dei nervi collaterali digitali ed effettuato una revisione della letteratura sull'argomento.

Metodi. Dal 2002 al 2006 abbiamo eseguito 18 suture nervose termino-laterali per lesioni del plesso brachiale (11 casi) e dei nervi collaterali digitali (7 casi). Dal punto di vista tecnico, dopo identificazione e preparazione del nervo donatore, il moncone distale del nervo lesionato è stato suturato in termino-laterale con punti epineurali staccati alla finestra epineurale del nervo donatore. La valutazione dei risultati è stata eseguita clinicamente mediante valutazione secondo scala del *British Medical Research Council* per le lesioni del plesso brachiale e con test di discriminazione due punti statico secondo scala del *British Medical Research Council* modificata da Mackinnon-Dellon per il recupero della sensibilità digitale.

Risultati e conclusioni. Nel trattamento delle lesioni del plesso brachiale i risultati sono stati considerati stabilizzati in 8 degli 11 pazienti che avevano un follow-up minimo di 2 anni. In questi casi abbiamo ottenuto un recupero dell'abduzione attiva della spalla pari a M4 in 2 casi, M3 in 4 casi e M2 in 1 caso e M1 in 1 caso. Il recupero motorio della funzione di flessione del gomito è stato pari a M4 in 2 casi, M3 in 1 caso ed assente in 5 casi. I risultati osservati appaiono incostanti ma confermano le potenzialità della tecnica in associazione alle tradizionali metodiche di trattamento mediante neurotizzazione da nervi donatori intraplessuali ed extraplessuali.

Nel trattamento delle lesioni nervose digitali abbiamo osservato in tutti i pazienti della nostra casistica un recupero della sensibilità pari a grado S3+. La distanza media al test di discriminazione 2 punti (m2pd) è stata pari a 12,5 mm (range 8-15 mm). I risultati osservati sono favorevoli e simili a quelli riportati con tubulizzazione biologica e sintetica e con innesto nervoso autologo.

Parole chiave: suture nervose termino-laterali, plesso brachiale, nervi collaterali digitali

SUMMARY

Background. An end-to-side nerve suture was first described by Letievant in 1876. After an initial period of use they were neglected for a long time and newly utilised by Viterbo since 1992. This neurorraphy may be defined as the suture of an injured nerve stump to the epinevrium of an intact donor nerve. Donor nerve axons are not sectioned except for the non intentional damage caused by the suture and by the opening of an epineural window. There are few clinical studies concerning end-to-side nerve suture. Therefore we reviewed the literature and reported our experience in the treatment of brachial plexus and collateral digital nerve injuries with this technique.

Methods. From 2002 to 2006 we performed 18 termino-lateral nerve sutures for injuries of brachial plexus (11 cases) and collateral digital nerves (7 cases). After identification and preparation of the donor nerve, the distal injured nerve stump was end-to-side sutured to the epineural window of the donor nerve by means of microsurgical technique. Clinical evaluation of results was performed according to the British Medical Research Council for brachial plexus injuries and by means of two-point discrimination test according to the British Medical Research Council scale modified by Mackinnon-Dellon for digital sensory recovery.

Results and conclusion. In brachial plexus surgery the results were considered stable in 8 out of 11 patients with a minimum follow-up of 2 years. In these cases we observed a recovery of active shoulder abduction stated as M4 in 2 cases, M3 in 4 cases, M2 in 1 case and M1 in 1 case. The recovery of active elbow flexion was M4 in 2 cases, M3 in 1 case and M0 in 5 cases. The results observed seem to be incostant but they confirm the potential of the termino-lateral nerve suture in association to the standard treatment performed by means of neurotization with intraplexual and extraplexual donor nerves. In all the patients treated for digital nerve repair we observed a functional recovery of sensibility S3+. The mean distance in two-point discrimination test was 12.5 mm (range 8-15). The results observed are favourable and similar to those reported by means of biologic and synthetic tubulization and by means of nerve autografts.

Key words: end-to-side nerve suture, brachial plexus, collateral digital nerves

INTRODUZIONE E PRINCIPI DI BASE

L'origine delle suture nervose termino-laterali risale alla fine del XIX secolo. La prima descrizione della procedura come opzione di trattamento delle lesioni nervose fu pubblicata nel 1873 ad opera di Letievant nel *Traité des Sections Nerveuses*^{1,2}. Tuttavia, l'idea originale della sutura nervosa termino-laterale sarebbe da attribuire a Denonvilliers secondo quanto riportato da Duplay³. Questa neurorrafia si può definire come la sutura di un moncone di un nervo lesionato all'epinevrio di un nervo donatore intatto (Fig. 1). Gli assoni del nervo donatore non sono sezionati, eccetto per il danno non intenzionale determinato dalla sutura e, se eseguita, dall'apertura di una finestra epineurale. Nel 1876 Despres per primo applicò la tecnica in un caso di lesione del nervo mediano suturando il moncone distale del nervo mediano al nervo ulnare². Le successive applicazioni cliniche riguardarono il trattamento di lesioni del nervo facciale^{4,5} e del plesso brachiale⁶. Dopo queste esperienze iniziali, sebbene ne fossero state intuite le potenzialità, la tecnica fu quasi del tutto abbandonata ed occasionalmente riportata in letteratura per il trattamento di lesioni del nervo ulnare^{7,8}. In questi studi il nervo ulnare era stato suturato al mediano ottenendo risultati contrastanti: favorevoli nel caso descritto da Sachs e negativi, per mancanza di recupero ed interferenza funzionale del donatore, nella serie di 7 casi descritta da Platt. Solo a distanza di molti anni, a partire dal 1992, grazie a Viterbo⁹ fu riaperto un nuovo corso di studi sperimentali e clinici sulle suture nervose termino-laterali che hanno permesso di chiarire molti aspetti biologici del processo di riparazione nervosa e di ampliare progressivamente il campo di utilizzo della metodica. Come riportato da



Fig. 1. Sutura nervosa termino-laterale del nervo mediano su ulnare. Aspetto macroscopico a 6 mesi in animale da esperimento.

Zhang¹⁰ esistono tre elementi chiave che caratterizzano le suture nervose termino-laterali: (1) l'induzione di uno *sprouting* collaterale dagli assoni dal nervo donatore (2) la capacità degli assoni collaterali di penetrare gli strati connettivali perineurali e reinnervare il nervo ricevente e (3) la plasticità funzionale e la capacità di riadattamento dei motoneuroni nell'adozione di nuove unità motorie.

Lo *sprouting* collaterale può avvenire a partire dai nodi di Ranvier di assoni indenni sotto l'induzione di fattori rilasciati dalle cellule di Schwann del segmento nervoso ricevente¹¹⁻¹³ (Fig. 2b). Questi includono fattori di crescita come il *Nerve Growth Factor*, il *Ciliary Neurotrophic Factor*, il *Basic Fibroblast Growth Factor* e glicoproteine di supporto per la crescita assonale come la fibronectina, la laminina e le N-Cam. Un'altra possibilità è che la penetrazione assonale nel nervo ricevente avvenga a seguito del danno causato alle fibre del nervo donatore dal Chirurgo al momento dell'incisione epineurale attraverso un meccanismo di *sprouting* terminale¹⁴ (Fig. 2a). Il processo di *sprouting* può essere limitato dalla presenza dell'epinervio e del perinervio che agiscono da barriera al passaggio assonale. Contrariamente a quanto ritenuto in principio da Viterbo, dagli studi di Noah¹⁵ su modelli in vivo di suture termino-laterali è stato dimostrato che l'esecuzione di finestre epi-perineurali nel nervo donatore favorisce l'invasione dello strato epineurale da parte delle cellule di Schwann e permette una penetrazione assonale quantitativamente maggiore nel nervo ricevente. La mancanza di cellule di Schwann è ritenuta quindi la causa dell'assenza di *sprouting* collaterale assonale in modelli sperimentali di neurotubuli sintetici in silicone fissati sul lato di nervi sani¹⁶. Nonostante il crescente interesse e le numerose pubblicazioni sperimentali sull'argomento, il numero degli studi clinici sull'impiego delle suture nervose termino-laterali resta esiguo e relativo ad un numero limitato di pazienti tranne che per le serie con 53 casi di Mennen¹⁷ e con 20 casi di Pienaar¹⁸. Attualmente le applicazioni cliniche della sutura nervosa termino-laterale per il trattamento di patologie dell'arto superiore includono:

- lesioni estese non riparabili del nervo ulnare e mediano¹⁷⁻²²;
- neuromi dolorosi di rami sensitivi del nervo radiale¹⁶;
- lesioni nervose del plesso brachiale^{17 18 23};
- lesioni dei nervi collaterali digitali della mano^{17 24-26}.

Abbiamo pertanto deciso di riportare la nostra esperienza clinica sull'argomento valutando i risultati ottenuti con questa metodica nel trattamento delle lesioni del plesso brachiale e delle lesioni dei nervi collaterali digitali.

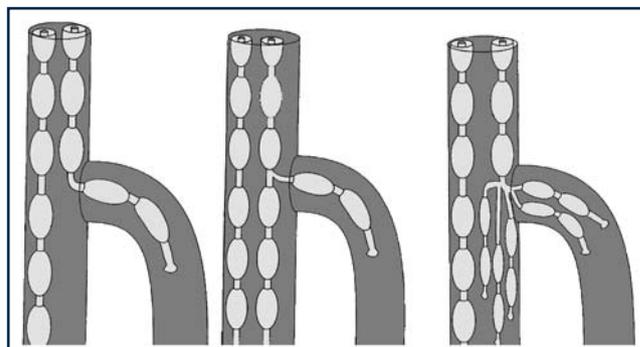


Fig. 2a-c. Meccanismi di *sprouting* assonale nelle suture nervose termino-laterali (2a-terminale, 2b-collaterale, 2c-collaterale a coni di crescita multipli).

MATERIALI E METODI

Presso il nostro Centro ospedaliero nel periodo compreso tra il 2001 ed il 2006 sono stati sottoposti a suture nervose termino-laterali 11 pazienti con lesioni traumatiche del plesso brachiale (Gruppo I) e 7 pazienti con lesioni dei nervi collaterali digitali (Gruppo II) per un totale di 18 suture.

La sutura termino-laterale è stata condotta con mezzi ottici di ingrandimento seguendo i principi riportati da Mennen¹⁷:

- il moncone distale del nervo leso è identificato e preparato rimuovendo segmenti sottili fino a raggiungere tessuto di aspetto normale alla sezione;
- il moncone è delicatamente mobilizzato sino a raggiungere il nervo sano donatore evitando torsioni e trazioni;
- il nervo donatore è sezionato in modo da accogliere nello stesso piano e senza tensione il nervo ricevente;
- si crea una finestra epineurale nel nervo donatore con una incisione longitudinale di lunghezza sufficiente ad accogliere il moncone distale del nervo ricevente;
- l'incisione è allargata creando una finestra alla quale il moncone nervoso sarà suturato;
- viene eseguita la sutura nervosa termino-laterale abitualmente con filo di sutura 8/0 o 9/0;
- chiusura della ferita ed immobilizzazione minima di tre settimane;
- al termine dell'immobilizzazione deve essere eseguita una riabilitazione precoce attiva con esercizi di contrazione muscolare e rieducazione sensoriale allo scopo di sviluppare e migliorare la plasticità cerebrale.

Gruppo I. Lesioni del plesso brachiale

Il Gruppo I comprende 10 uomini ed 1 donna con età media pari a 30,3 anni (range 16-55 anni).

Relativamente all'eziologia della lesione del plesso brachiale, in tutti i pazienti questa era stata determinata da incidente stradale secondo la seguente distribuzione: 9 casi di incidente motociclistico, 1 caso di incidente automobilistico, 1 caso di investimento. Tutti i pazienti presentavano una lesione chiusa del plesso brachiale (4 a destra – 7 a sinistra). In 6 casi era presente una lesione completa ed in 5 casi una lesione incompleta (2 casi C5-C6 – 2 casi C5-C6-C7 – 1 caso C6-C7-C8-T1). Il periodo medio intercorso tra il trauma e l'intervento chirurgico di riparazione del plesso brachiale è stato di 3,5 mesi con un intervallo compreso tra 2 e 6 mesi. I risultati sono stati considerati stabilizzati a 24 mesi dal trattamento chirurgico e riportati per gli 8 pazienti che avevano raggiunto tale periodo di follow-up. In tutti i casi sono stati eseguiti interventi associati di neurotizzazione e di neurorrafia termino-laterale. Relativamente alle suture nervose sono stati utilizzati come nervi donatori:

- nervo frenico in 8 casi (4 casi con interposizione di innesto nervoso autologo di surale da 4 a 14 cm);
- nervo ipoglosso 1 caso;
- radice C5 1 caso;
- radice C7 1 caso.

Come nervi riceventi sono stati scelti:

- nervo sovrascapolare (3 casi);
- nervo circonflesso (2 casi);
- Tronco Primario Medio (1 caso);
- Tronco Primario Superiore (1 caso);
- Tronco Secondario Laterale (1 caso);
- Tronco Secondario Posteriore (1 caso);
- Tronco Secondario Posteriore + Tronco Secondario Mediale (1 caso);
- radice C6 (1 caso).

Nel complesso la scelta di selezione dei nervi donatore e riceventi da impiegare per le neurotizzazioni dirette o mediante suture termino-laterali è stata dettata dalla tipologia di lesione e dal capitale nervoso residuo. Quando possibile si è cercato di rispettare nelle suture nervose termino-laterali il principio di nervo donatore singolo-nervo ricevente singolo. In genere il ricorso a suture termino-laterali è secondario e subordinato alle abituali neurotizzazioni. Nelle lesioni di plesso brachiale come obiettivi funzionali primari sono stati considerati il recupero dell'abduzione della spalla e della flessione del gomito. Per il ripristino funzionale dell'abduzione di

spalla si è fatto ricorso in prima istanza a neurotizzazioni del sovrascapolare con l'accessorio spinale. In seconda istanza si è fatto ricorso a suture termino laterali aventi come nervi riceventi il sovrascapolare, il circonflesso o tronchi primari e secondari. Per il ripristino funzionale della flessione del gomito si è fatto ricorso in prima istanza a neurotizzazioni del muscolocutaneo con intercostali o funicoli del nervo ulnare secondo Oberlin e secondariamente a suture nervose termino-laterali del frenico su tronchi primari e secondari.

La valutazione clinica dei risultati sul recupero motorio è stata eseguita facendo riferimento ai parametri del *British Medical Research Council – Highet*²⁷.

Gruppo II. Lesioni dei nervi collaterali digitali

Il gruppo II comprende 4 uomini e 3 donne con età media pari a 42 anni (20-62) operati per lesioni dei nervi collaterali digitali. Due lesioni erano localizzate ai nervi collaterali digitali del pollice e 5 ai nervi collaterali delle dita lunghe della mano. Il livello di lesione nervosa era in 4 casi (1 pollice – 3 dita lunghe) la puleggia A1, in 2 casi la F2 di dita lunghe ed in 1 caso la IF del pollice. Quattro interventi sono stati effettuati in pazienti giunti alla nostra osservazione per il trattamento di lesione nervosa di natura iatrogena in esiti di interventi di tenolisi dei flessori per dito a scatto. In 3 casi invece la lesione era stata determinata da ferite complesse con perdita di sostanza delle dita.

Nei 4 pazienti trattati per lesioni iatrogene l'intervento è stato eseguito ad un tempo medio di 5,5 mesi (range 2-10 mesi) dalla lesione nervosa. Due pazienti erano stati precedentemente sottoposti senza successo ad interventi di ricostruzione nervosa con utilizzo di Neurotube® (1 caso) e Neurolac® (1 caso). In entrambi i casi la mancata guarigione del nervo era associata alla formazione di un neuroma doloroso. Per quanto riguarda le lesioni traumatiche 2 pazienti sono stati trattati in urgenza. Nel terzo caso la neurorrafia termino-laterale è stata effettuata presso il nostro Centro a distanza di 6 mesi dalla lesione precedentemente non trattata. La ricostruzione primaria con sutura termino-laterale è stata scelta nei 3 casi di lesione traumatica per l'ampiezza della perdita di sostanza nervosa ed in 2 casi di lesione iatrogena dopo fallimento del trattamento con Neurotube®. Negli altri 2 casi di lesione iatrogena la scelta della metodica di ricostruzione nervosa è stata discussa con i pazienti e scelta in alternative alle altre metodiche possibili (tubulizzazione biologica e sintetica – innesto nervoso autologo).

La valutazione dei risultati è stata eseguita clinicamente mediante il test di discriminazione due punti statico e il recupero della sensibilità digitale riferito alla scala di Highet del *British Medical Research Council* modificata da Mackinnon-Dellon²⁸. Il periodo medio di follow-up è stato pari a 14 mesi (range 6-24). Il risultato è stato considerato stabilizzato a 2 anni dall'intervento. I pazienti che hanno raggiunto questo follow-up non hanno più effettuato controlli clinici di routine.

RISULTATI

Gruppo I. Lesioni del plesso brachiale

Il recupero funzionale motorio secondo la scala del *British Medical Research Council* è stato valutato a livello della spalla e del gomito nei pazienti con follow-up minimo di 2 anni dall'intervento. A livello della spalla tranne che in un caso la valutazione selettiva dei recuperi dei singoli muscoli dati dalle suture nervose termino-laterali non è stata possibile per la concomitanza di neurotizzazioni e suture termino-laterali sui muscoli abduttori della spalla. Il recupero motorio della funzione di abduzione della spalla è stato pari a M4 in 2 casi, M3 in 4 casi e M2 in 1 caso e M1 in 1 caso (Tab. I). A livello del gomito il recupero motorio della funzione di flessione del gomito è stato pari a M4 in 2 casi, M3 in 1 caso, M1 in 1 caso ed assente in 4 casi.

Gruppo II

Secondo la scala di Mackinnon-Dellon abbiamo osservato in tutti i pazienti un recupero della sensibilità pari a grado S3+. La distanza media al test di discriminazione 2 punti (m2pd) è stata pari a 12,5 mm (range 8-15 mm). Non sono stati riscontrati deficit funzionali a carico del nervo donatore. Una paziente è stata sottoposta a distanza di 14 mesi dall'intervento ricostruttivo ad una seconda operazione per il trattamento di un neuroma doloroso del moncone prossimale del nervo collaterale leso per cui è stata effettuata, dopo asportazione del neuroma, una cauterizzazione progressiva secondo Gosset²⁹.

DISCUSSIONE

Le ricerche condotte sulla base degli studi sperimentali di Viterbo^{9,30-32} hanno permesso negli ultimi anni di comprendere molti meccanismi biologici che avvengono nel processo di riparazione delle lesioni nervose dopo sutura termino-laterale del moncone distale di un nervo leso su di un nervo donatore sano. Questa procedura comporta un danno assonale limitato a carico del nervo donatore che non subisce alterazioni significative a lungo termine della struttura e della funzione³³. Resta invece controversa sulla base degli studi sperimentali l'importanza della scelta del nervo donatore ai fini del risultato^{34,35}.

Relativamente al trattamento delle lesioni del plesso brachiale con suture nervose termino-laterali i risultati riportati in letteratura appaiono contrastanti. Mennen¹⁷ ha riportato in una casistica di 8 pazienti, 7 dei quali controllati con follow-up di 18-36 mesi, dei risultati complessivamente soddisfacenti sul recupero motorio e sensitivo secondo le scale del MRC (5 favorevoli, 2 non favorevoli). Risultati simili non sono stati confermati nello studio di Pienaar¹⁸. L'Autore ha riportato 9 casi di lesione di plesso brachiale di cui 7 controllati con follow-up medio di 16 mesi. In nessuno dei pazienti valutati era stato riscontrato un recupero motorio e solo in 2 si era verificato un parziale recupero della sensibilità.

I risultati ottenuti nella riparazione del plesso brachiale appaiono nella nostra casistica parzialmente soddisfacenti in particolare per il recupero funzionale dell'abduzione della spalla. Rispetto alle due casistiche precedentemente

Tab. I. Procedure chirurgiche e risultati clinici gruppo I secondo scala *Medical Research Council*.

Caso-Età	Lesione	Sutura termino-laterale	Neurotizzazioni	Risultato
1-29a	C5-C6-C7	ascellare su frenico + innesto	XI su SSC – Oberlin	S1-G4
2-16a	C5-C6	C6 su C7	XI su SSC	S4-G3
3-20a	Completa	SSC su ipoglosso	C1-C2 su TPS	S3-G0
4-21a	Completa	TPM su frenico	XI su SSC – 2 IC su MC	S3-G0
5-31a	Completa	SSC su frenico	XI su TPS – 2 IC su MC	S4-G0
6-17a	C5-C6	TPS su frenico	XI su SSC	S3-G4
7-41a	C5-C6-C7	TSL su frenico	Oberlin	S-G
8-33a	Completa	SSC su frenico + innesto	XI su TSP – 2 IC su MC	S3-G0
9-26a	Completa	TSP su frenico	XI su SSC – 2 IC su MC	S2-G1
10-45a	Completa	ascellare su frenico + innesto	XI su SSC – SCM su MC	S-G
11-55a	C6-C7-C8-T1	TSP-TSL su C5 + innesto	XI su SSC – frenico su TSM	S-G

S = spalla; G = gomito; casi 7-10-11 con follow-up inferiore a 24 mesi

citare la nostra serie appare inoltre più omogenea quanto a scelta del nervo donatore (nervo frenico in 8 casi su 11) ed a procedure associate di neurotizzazione di altri rami del plesso condotte utilizzando in via elettiva l'accessorio spinale. L'associazione di neurotizzazioni e neurorrafie termino-laterali rende difficile la valutazione del valore specifico della neurorrafia termino-laterale nel complesso della funzione generale della spalla. Tuttavia, in un paziente con lesione completa del plesso brachiale la neurorrafia termino-laterale isolata (sovrascapolare su ipoglosso) ha sicuramente consentito il recupero della funzione di abduzione attiva della spalla con risultato discreto (M3).

Nei casi di trattamento delle lesioni dei nervi collaterali digitali i risultati sul recupero sensitivo sono stati positivi e simili per categoria funzionale a quelli riscontrati in un nostro precedente studio comparativo sulle ricostruzioni nervose digitali mediante tubulizzazione biologica (muscolo in vena – m2pd medio 8,61 mm) e sintetica (Neurotube® – m2pd medio 9,57 mm). Peraltro, i risultati ottenuti con tutte le precedenti metodiche non presentano differenze significative con quelli riportati nelle ricostruzioni nervose digitali mediante l'utilizzo di innesti nervosi autologhi come la branca dorsale sensitiva del nervo ulnare, il nervo cutaneo mediale dell'avambraccio ed il nervo surale³⁶⁻³⁸. Rispetto a quest'ultima metodica, la riparazione dei nervi digitali con tubulizzazione o sutura termino-laterale è a nostro avviso da preferire in quanto non determina morbidità del sito donatore dell'innesto nervoso.

CONCLUSIONI

Per quanto concerne l'applicazione delle suture nervose termino-laterali nel trattamento delle lesioni del plesso brachiale l'esiguo numero di pazienti esaminati nella nostra casistica e di quelle riportate in letteratura non permette di trarre delle conclusioni definitive sulle possibilità ed i limiti della tecnica. I risultati ottenuti, sebbene incostanti, ne confermano tuttavia le potenzialità. Attualmente nella chirurgia primaria delle lesioni traumatiche del plesso brachiale consideriamo ragionevole l'impiego di questa tecnica in associazione alle tecniche convenzionali di neurotizzazione con funzione di ausilio quando altre possibilità tecniche non sono disponibili. Relativamente al trattamento delle lesioni dei nervi collaterali digitali le suture nervose termino-laterali hanno for-

nito nella nostra esperienza clinica ed in quelle riportate in letteratura risultati largamente favorevoli. L'indicazione a questa metodica è rappresentata dal trattamento delle lesioni acute o differite di un nervo collaterale digitale in cui sia difficile una ricostruzione per l'ampiezza della perdita di sostanza. In questi casi la neurorrafia termino-laterale può essere un'efficace alternativa alle metodiche di ricostruzione con tubulizzazione biologica (innesto autologo di muscolo in vena) o sintetica (Neurotube® o Neurolac®). La metodica dovrebbe inoltre essere considerata come opzione di trattamento in caso di fallimento di precedenti riparazioni con differenti metodiche.

BIBLIOGRAFIA

- 1 Letievant E. *Traité des Sections Nerveuses*. Paris: Baillière Ed. 1873.
- 2 Papalia I, Geuna S, Stagno d'Alcontres F, Tos P. *Origin and history of end-to-side neurorrhaphy*. *Microsurgery* 2007;27:56-61.
- 3 Duplay S, Reclus P. *Trattato di Chirurgia. Edizione Italiana*. Torino: UTET Ed. 1893.
- 4 Kennedy R. *Suture of brachial plexus in birth paralysis of the upper extremity*. *Br Med J* 1903;1:298-301.
- 5 Ballance C, Colledge L, Bailey L. *Further results of nerve anastomosis*. *Br J Surg* 1926;13:533-58.
- 6 Harris W, Law VW. *On the importance of accurate muscular analysis in lesions of brachial plexus; and the treatment of Erb's palsy and infantile paralysis of the upper extremity by cross-union of nerve roots*. *Br Med J* 1903;2:1035-7.
- 7 Sachs E, Malone JY. *An experimental study on the methods for bridging nerve defects*. *Arch Surg (Chicago)* 1922;5:314-33.
- 8 Platt H, Bristow WR. *The remote results of operation for injuries of peripheral nerves*. *Br J Surg* 1924;11:535-67.
- 9 Viterbo F, Trindade JC, Hoscino K, Mazzoni Neto A. *Latero-terminal neurorrhaphy without removal of epineural sheath. Experimental study in rats*. *Sao Paulo Med J* 1992;110:267-75.
- 10 Zhang F, Fischer KA. *End-to-side neurorraphy*. *Microsurgery* 2002;22:122-7.
- 11 Lundborg G, Zhao Q, Kanje M, Danielsen N, Kerns JM. *Can sensory and motor collateral sprouting be induced by intact peripheral nerve by end-to-side anastomosis?* *J Hand Surg* 1992;19B:277-82.
- 12 Matsumoto M, Hirata H, Nishiyama M. *Schwann cells can induce collateral sprouting from intact axons*. *J Reconstr Microsurg* 1999;15:281-6.
- 13 Isaacson LG, Saffran BN, Crutcher KA. *Nerve growth factor-induced sprouting of mature uninjured sympathetic axons*. *J Comp Neurol* 1992;326:327-36.
- 14 Rowan PR, Chen LE, Urbaniak JR. *End-to-side nerve repair: a review*. *Hand Clin* 2000;16:151-9.

- ¹⁵ Noah EM, Williams A, Jorgenson C. *End-to-side neurorrhaphy: A histologic and morphometric study of axonal sprouting into a end-to-side nerve graft*. J Reconstr Microsurg 1997;13:99-106.
- ¹⁶ Al-Qattan MM. *Terminolateral neurorrhaphy: review of experimental and clinical studies*. J Reconstr Microsurg 2001;17:99-108.
- ¹⁷ Mennen U. *End-to-side nerve suture in clinical practice*. Hand Surg 2003;8:33-42.
- ¹⁸ Pienaar C, Swan MC, De Jager W, Solomons M. *Clinical experience with end-to-side nerve transfer*. J Hand Surg Br 2004;29-B5:438-43.
- ¹⁹ Luo YX. *Preliminary investigation of treatment of ulnar nerve defect by end-to-side neurorrhaphy*. Plast Reconstr Surg 1998;102:25-8.
- ²⁰ Frey M, Giovanoli P, Girsch W. *Clinical application of end-to-side nerve coaptation for sensory and motor reinnervation*. J Hand Surg Br 1999;24-B(Suppl):9.
- ²¹ Kostakoglu N. *Motor and sensory reinnervation after end-to-side median to ulnar nerve coaptation in the forearm*. Br J Plast Surg 1999;52:402-7.
- ²² Ogun TC, Ozdemir M, Senaran H, Ustun ME. *End-to-side neurorrhaphy as a salvage procedure for irreparable nerve injuries*. J Neurosurg 2003;99:180-5.
- ²³ 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.
- ²⁴ Frey M, Giovanoli P. *End-to-side neurorrhaphy of sensory nerves*. Eur J Plast Surg 2003;26:85-8.
- ²⁵ Pelissier P, Rihai R, Casoli V, Martin D, Baudet J. *Les anastomoses nerveuses terminolaterales. Rapport clinique a propos de dix cases*. Ann Chir Plast Esthet 2001;46:129-33.
- ²⁶ Voche P, Ouattara D. *End-to-side neurorrhaphy for defects of palmar sensory digital nerves*. Br J Plast Surg 2005;58:239-44.
- ²⁷ Hight WB. *Peripheral nerve injuries*. London: Seddon Ed. Her Majesty's Stationary Office, Medical Research Council 1954, p. 282.
- ²⁸ Mackinnon SE, Dellon AL. *Two-point discrimination tester*. J Hand Surg 1985;10-A:906-7.
- ²⁹ Gosset J, Andre P, Levame M. *The prevention of amputation neuromas of the fingers and of amputation neuromas in general*. Mem Acad Chir (Paris) 1962;88:548-50.
- ³⁰ Papalia I, Geuna S, Tos P, Boux E, Battiston B, Stagno d'Alcontres F. *Morphologic and functional study of rat median nerve repair by terminolateral neurorrhaphy of the ulnar nerve*. J Reconstr Microsurg 2003;19:257-63.
- ³¹ Zhao JZ, Chen ZW, Chen TY. *Nerve regeneration after terminolateral neurorrhaphy: experimental study in rats*. J Reconstr Microsurg 1997;13:31-7.
- ³² 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;52:381-8.
- ³³ Cederna PS, Kalliainen LK, Urbanchek MG, Rovak JM, Kuzon WM. *Donor muscle structure and function after end-to-side neurorrhaphy*. Plast Reconstr Surg 2001;107:789-96.
- ³⁴ Lutz BS, Chuang DC, Hsu JC, Ma SF, Wei FC. *Selection of donor nerves: an important factor in end-to-side neurorrhaphy*. Br J Plast Surg 2000;53:149-54.
- ³⁵ Papalia I, Cardaci A, d'Alcontres FS, Lee JM, Tos P. *Selection of donor nerve for end-to-side neurorrhaphy*. J Neurosurg 2007;107:378-82.
- ³⁶ Dumontier C, Kloos M, Dap F, Merle M. *Nerve graft of collateral branches of fingers. Report of a series of 16 reviewed cases*. Rev Chir Orthop Reparatrice Appar Mot 1990;76:311-6.
- ³⁷ Greene TL, Steichen JB. *Digital nerve grafting using the dorsal branch of the ulnar nerve*. J Hand Surg Br 1985;10:37-40.
- ³⁸ Kallio PK. *The results of secondary repair of 254 digital nerves*. J Hand Surg Br 1993;18:327-30.