



**UNIVERSITÀ DEGLI STUDI DI MILANO – BICOCCA**

**FACOLTA' DI MEDICINA E CHIRURGIA**

**Corso di Laurea Specialistica in Medicina e Chirurgia**

**LA FUNZIONE DELLA MANO  
NEI SOGGETTI CON TETRAPLEGIA MEDIA  
( LIVELLO C6-C7)**

Relatore: Ch.mo Prof. Cesare Cerri  
Correlatore: Ing. Rune Thorsen

Tesi di Laurea di:  
Luca Binda  
Matr. n. 036632

**Anno Accademico 2005/ 2006**

**INTRODUZIONE**

Una lesione del midollo spinale cervicale<sup>1</sup> ha ripercussioni gravi sulla vita della persona e sul contesto in cui la persona stessa è inserita. La paralisi della muscolatura degli arti e del tronco, la perdita della sensibilità, le disfunzioni respiratorie, cardiocircolatorie, vescicali, genitosessuali e intestinali, le possibili complicanze invalidanti a carico di molti

---

<sup>1</sup> *Paraplegia e tetraplegia sono condizioni in cui vengono a trovarsi ogni anno in Italia circa 1000 persone, che vanno ad aggiungersi ai circa 80000 già esistenti. Si stima che negli Stati Europei si verifichino circa 11000 nuovi casi/anno, che vanno ad aggiungersi ai 350000 già presenti. Secondo la Campagna Internazionale per la Cura della Paralisi da Lesione Spinale, ogni anno circa 92000 persone aggiuntive sopravvivono ad una lesione spinale.*

organi e apparati (ulcere da decubito, rigidità articolari, calcolosi urinaria, insufficienza renale, ecc.) possono stravolgere gli equilibri psico-fisici della persona conducendola a una condizione cronica di abbandono e di prostrazione.

Nonostante la tetraplegia da lesione midollare sia una delle condizioni più devastanti che una persona possa sperimentare, è tuttavia ancora possibile il raggiungimento di uno stato di salute soddisfacente, pur in presenza di una paralisi permanente, e il ritorno a una vita attiva e produttiva, se si riesce da un lato a curare in modo adeguato le disfunzioni psico-organiche che alla lesione conseguono, dall'altro ad aiutare il paziente a ritrovare se stesso come persona consapevole, responsabile e determinata a "ricostruirsi" una nuova identità bio-psico-sociale adeguata alla condizione in cui si è venuta a trovare.

Tutto questo è quanto che si propone di fare la riabilitazione, l'insieme di interventi medici e sociali altamente intergrati, fatti di terapia (la cura degli organi colpiti nella loro funzione dalla lesione midollare; la fisioterapia e la rieducazione funzionale per il recupero della massima indipendenza nello svolgimento delle attività della vita quotidiana), di educazione (aiutare la persona a diventare persona autonoma capace di autogestione e autodeterminazione; aiutare il contesto familiare e sociale a riorganizzare l'ambiente adattandolo alle esigenze del disabile) e di assistenza (il prendersi cura della persona per garantirne il massimo benessere e prevenirne il degrado psicofisico, senza con questo favorirne la passivizzazione e la dipendenza).

Nel contesto della riabilitazione globale della persona con tetraplegia, il recupero di una mano funzionale in grado di espletare ancora il suo ruolo prensile e manipolativo, relazionale ed esplorativo, costituisce uno degli obiettivi fondamentali su cui paziente ed équipe riabilitativa investono maggiormente.

"Se non il cammino, almeno la mano" è una frase che ci si sente ripetere dalle persone tetraplegiche. E alla mano è doveroso allora dedicare studi e risorse.

L'elaborato che segue si propone di analizzare le abilità prensili nei soggetti tetraplegici a distanza di tempo dall'evento acuto (almeno un anno) e di passare in rassegna i diversi interventi messi in atto per promuoverne l'ottimizzazione (fisioterapia, ergoterapia, chirurgia, FES). **Ampio spazio sarà dedicato alla valutazione, nell'ambito della quale verrà presentato un test funzionale elaborato dalla nostra équipe, attualmente in fase di validazione, e allo studio sperimentale in corso sull'utilizzo della FES.**

Abbiamo limitato lo studio ai soli soggetti con tetraplegia media (livello neurologico C6-C7) costituendo questi ultimi una categoria particolarmente suscettibile di miglioramento funzionale a seguito di adeguati interventi terapeutici.

## **CAP. 1      CONSEQUENZE DELLA LESIONE MIDOLLARE: LA SINDROME MIDOLLARE**

**In caso di sezione trasversa completa** (Fig. 1), il midollo spinale posto al di sotto del livello di lesione, superato un primo periodo (fase di shock spinale) caratterizzato dalla soppressione di tutte le funzioni sue proprie (funzioni riflesse), è in grado di funzionare in maniera autonoma. Poiché la funzione specifica del midollo spinale è di tipo riflesso, dopo una sezione trasversa completa del midollo spinale avremo, a livello dei distretti dipendenti dal midollo sottolesionale, la sola presenza di movimenti riflessi<sup>23 34</sup>. Questi sono quasi sempre di intensità elevata a causa della perdita del controllo su di essi da parte dei centri superiori

Accanto alla presenza di riflessi accentuati (**spasticità**) vi è sempre, nei distretti dipendenti dal midollo sottolesionale (se la lesione interessa una intera sezione trasversa del midollo):

- assenza di movimenti volontari, o comunque di movimenti elaborati a livello dei centri sopraspinali (anche se non strettamente volontari), compresi quelli interessanti la muscolatura del cuore e dei visceri (**paralisi**), a causa della perdita dei collegamenti tra centri programmatori del movimento (cervello) e motoneuroni periferici (neuroni diretti alla muscolatura periferica striata e liscia e decorrenti all'interno dei nervi periferici)

---

<sup>23</sup> **Riflesso**: risposta muscolare contrattile (o di rilasciamento, a seconda dei casi) incosciente, rapida e stereotipata a una stimolazione sensoriale. Tale definizione può essere valida se si considera il riflesso allo "stato puro", cioè sganciato completamente dal controllo da parte dei centri superiori (in realtà, anche il riflesso midollare può in parte adattarsi allo stimolo, modificandosi in rapporto alle caratteristiche di questo). Se invece si considera il riflesso come parte di un sistema organizzativo più complesso, come in effetti è in condizioni normali, questo diventa una struttura flessibile, regolata dai Centri superiori, che si modifica e si adatta in rapporto ai programmi motori e alle condizioni dell'ambiente interno ed esterno.

I riflessi si suddividono, a seconda della stimolazione periferica che ad essi dà origine, in :

- **esterocettivi** (scatenati da stimoli tattili, termici, dolorifici, gustativi, olfattivi, visivi);
- **propriocettivi** (scatenati da stimoli provenienti dai propriocettori);
- **enterocettivi** (scatenati da stimoli provenienti dai visceri).

A seconda del numero di sinapsi in gioco si suddividono in:

- **monosinaptici** (non vi sono interneuroni tra il neurone in entrata e quello in uscita);
- **plurisinaptici** (tra il neurone in entrata e quello in uscita sono interposti interneuroni).

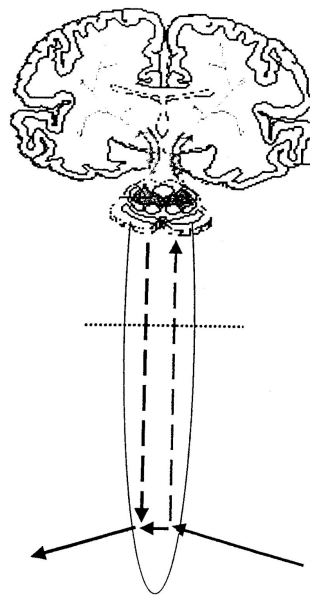
<sup>34</sup> **Riflesso da stiramento**: unico riflesso monosinaptico presente nell'uomo. Consiste in una contrazione del muscolo in risposta al suo stiramento.

Alla base di questo riflesso vi è un circuito monosinaptico costituito da:

- a) un organo recettore, il fuso neuromuscolare, che viene attivato da uno stiramento del muscolo;
- b) un neurone sensitivo;
- c) un neurone motore diretto al muscolo da cui è partito lo stimolo afferente.

Questo riflesso può essere messo in evidenza mobilizzando velocemente un arto o percuotendo con il martelletto il tendine di un muscolo; consiste in una contrazione rapida del muscolo immediatamente successiva allo stiramento subito per effetto della mobilizzazione passiva o della percussione del suo tendine.

- anestesia (**assenza di sensibilità cosciente**), a causa della interruzione delle vie che trasportano le informazioni sensitive ai Centri superiori per essere ivi elaborate.



*Fig.1 Dopo una sezione trasversale completa del midollo spinale, sono interrotti i collegamenti tra midollo sottolesionale e cervello. Per questo le sensazioni raccolte alla periferia non arrivano al cervello, e quindi non vengono portate a livello di coscienza (anestesia), e i comandi motori provenienti dal cervello non arrivano al midollo sottolesionale provocando paralisi (assenza di movimento volontario) nei distretti da questo dipendenti. Rimane invece funzionante l'arco riflesso a livello delle zone sottolesionali, responsabile della conservazione dei movimenti riflessi. Questi, sganciati da un controllo inibente da parte del cervello, risultano per lo più accentuati (spasticità, crisi disreflessiche, ecc.). A livello della zona midollare lesionata sono interrotti anche i neuroni facenti parte dell'arco riflesso (branca afferente, centro riflesso, branca efferente); per questo la muscolatura dipendente dal livello leso non si contrae né volontariamente né in via riflessa (flaccidità).*

### **Livello neurologico**

Gli assoni degli alfa e gamma motoneuroni a partenza dal midollo spinale (neuroni motori destinati ai muscoli del tronco e degli arti) originano nelle corna anteriori e raggiungono i muscoli decorrendo all'interno dei nervi periferici (un nervo periferico è quasi sempre di tipo misto, contiene cioè sia fibre motorie che fibre sensitive).

Ogni muscolo è innervato da un certo numero di assoni che originano a livello di uno o più segmenti midollari.

Le fibre sensitive che trasportano al midollo spinale le informazioni raccolte a livello della periferia recettoriale penetrano nel midollo spinale a livello di uno o più segmenti midollari, in corrispondenza di uno o più livelli.

***Il livello metamerico costituisce il segmento midollare da cui fuoriescono gli assoni motori diretti a ben determinati muscoli (miotomo) e a cui arrivano le fibre sensitive che trasportano la sensibilità di ben precise zone cutanee del tronco e degli arti (dermatomi).***

Vi sono tanti livelli metamerici (e tante radici spinali), quanti sono i forami intervertebrali che danno passaggio alle radici dei nervi spinali (31).

Da ciascun livello metamerico emergono un paio di radici anteriori, destra e sinistra (insieme degli assoni dei motoneuroni alfa e gamma) e un paio di radici posteriori, destra e sinistra (insieme dei prolungamenti centripeti delle cellule gangliari, pseudounipolari a T, situate in corrispondenza dei forami di uscita intervertebrali).

*Il livello metamerico C6, ad esempio, è il segmento midollare da cui originano gli assoni che escono con la radice C6 tra la quinta e la sesta vertebra cervicale e che poi si portano ai muscoli estensori del polso decorrendo all'interno del nervo radiale; ed è il livello in cui entrano i prolungamenti centrali dei neuroni sensitivi che trasportano la sensibilità della porzione laterale dell'avambraccio e della mano.*

Di fronte a una lesione midollare, per identificare il livello metamerico colpito, dovremo sempre, conoscendo il livello della lesione ossea, che non corrisponde in genere esattamente al livello di lesione midollare, andare a testare:

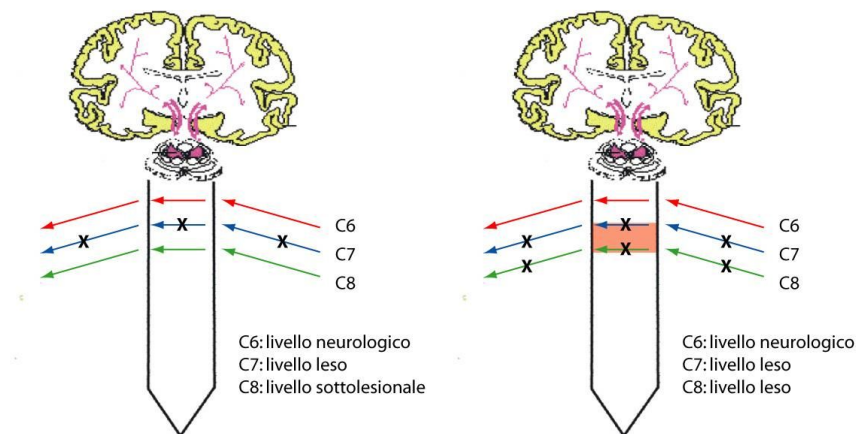
1. la muscolatura dipendente dai livelli metamerici che si suppongono essere sede di lesione;
2. la sensibilità nei distretti facenti capo ai livelli supposti lesi.

Per quanto riguarda il punto 1, da un esame muscolare evidenziante i muscoli funzionanti e quelli paralizzati, e tenendo presente la innervazione metamerica dei muscoli testati, si può risalire al livello di interessamento motorio: i muscoli dipendenti dal metamero posto immediatamente al di sopra della lesione sono normali, quelli dipendenti dai metameri posti al di sotto del livello di lesione possono ancora contrarsi, ma solo in via riflessa (paralisi spastica), quelli dipendenti dal metamero leso (o dai metameri lesi, nel caso di lesione multisegmentale) sono incapaci di contrarsi sia su comando volontario che in via riflessa (paralisi flaccida)<sup>4</sup>.

---

<sup>4</sup> Per distinguere se la paralisi di un muscolo è periferica o centrale è sufficiente stimolare il muscolo stesso a livello del punto motore, o direttamente il nervo motore ad esso diretto, con correnti di breve durata (0,5-1 msec). In generale, se la paralisi è di tipo periferico non vi è risposta contrattile, se è di tipo centrale vi è risposta contrattile, (nelle paralisi centrali di vecchia data, o in quelle in cui è presente un'atrofia muscolare importante e una sostituzione delle fibre muscolari con tessuto fibroconnettivale, la risposta contrattile alla stimolazione elettrica può tuttavia essere assente).

Per convenzione internazionale (vedi scala ASIA), in una lesione midollare, il livello di interessamento neurologico è riferito al segmento midollare più caudale con normali funzioni sensitive e motorie, da entrambi i lati del corpo (Fig.2). Poiché spesso il livello differisce tra sensitivo e motorio e tra destra e sinistra, si rende necessario individuare sia il livello motorio che quello sensitivo: il livello motorio è il segmento più caudale del midollo spinale con normale funzione motoria, da entrambi i lati del corpo (la normalità motoria è stata stabilita per convenzione come quella di un muscolo chiave con forza 3, qualora il livello soprastante abbia forza 5); il livello sensitivo è il segmento più caudale del midollo spinale con normale funzione sensitiva, da entrambi i lati del corpo.



*Fig.2 Livello neurologico e livello di lesione. Il livello neurologico è il livello più basso con conservate funzioni sensitivo-motorie; la muscolatura dipendente da questo livello è in grado di contrarsi sia volontariamente che in via riflessa (vedi scala ASIA). Il livello di lesione è il livello sede del danno biologico (interruzione delle vie di transito ascendenti e discendenti; lesione dei circuiti locali responsabili dell'innesco degli automatismi e dei riflessi midollari); la muscolatura dipendente da questo livello, che può comprendere uno o più segmenti midollari (lesione monosegmentale – lesione plurisegmentale), non è in grado di contrarsi né volontariamente né in via riflessa (paralisi flaccida). Il livello sottolesionale corrisponde alla porzione di midollo posta al di sotto della lesione; la muscolatura dipendente da questo livello, superata la prima fase di shock spinale, è in grado di contrarsi in via riflessa, ma non su comando volontario (paralisi spastica).*

Poiché il nostro studio è limitato ai soggetti con livello neurologico C6-C7 (tetraplegia media), di seguito vengono presi in considerazione i deficit e le possibilità funzionali presenti in questi soggetti con particolare attenzione alle funzioni di presa.

## Soggetti con livello neurologico C6



la funzionalità del fascio clavicario del gran

ccida) dei muscoli dipendenti dal livello leso e  
ndenti dal midollo sottolesionale (**vedi tabella**

**merica**). Anestesia sottolesionale (vedi dermatomi), cisto-rettoplegia,

nomici.

la funzionalità del diaframma, come pure quella di trapezio e  
nastoideo, la qual cosa rende possibile una respirazione autonoma, sia pure  
ssa riserva. Conservata la funzionalità dei muscoli sopraspinato (C5),  
(C5-C6), piccolo rotondo (C5-C6), grande rotondo (C5-C6), deltoide  
(C5-C6), sottoscapolare (C5-C6), romboidi (C5-C6), bicipite (C5-C6), brachiale (C5-C6),  
brachioradiale (C5-C6), estensori radiali lungo e breve del carpo (C6).

Conservata parzialmente la funzionalità dei muscoli gran dorsale (C6-C7-C8), gran  
pettorale (C5-C6-C7-C8-T1), pronatore rotondo (C6-C7), gran dentato (C5-C6-C7-C8).

Impossibile l'estensione attiva del gomito, la flessione attiva del polso e tutti i movimenti  
delle dita; la flessione delle dita, come vedremo più avanti, può compiersi passivamente  
in concomitanza con l'estensione attiva del polso per effetto tenodesi (aumento della  
tensione del muscolo a seguito del suo stiramento).

**Autonomia:** E' il livello più alto in cui, in alcuni casi, è consentito il raggiungimento di  
una completa autonomia nelle AVQ.

- Mobilità personale: può essere raggiunta una discreta autonomia nella mobilità a letto e  
nella automobilizzazione degli arti inferiori. Indipendenza nella spinta della carrozzina  
manuale su terreno piano e, per brevi tratti, su terreno con lieve pendenza. Possibile la  
guida di un'automobile adattata.

- Trasferimenti: possibile indipendenza nei trasferimenti tra superfici con dislivello  
nullo, per lo più con l'aiuto di una tavola di scivolamento (se l'estensione passiva dei  
gomiti è completa, è possibile sollevare le natiche bloccando i gomiti stessi in estensione  
e attivando i depressori delle scapole). Qualche paziente arriva anche a caricare  
autonomamente la carrozzina in automobile.

- Cura personale :

- Abbigliamento: possibile indipendenza, in genere con ausili o indumenti adattati.
- Alimentazione: possibile indipendenza, per lo più con ausili, o dopo chirurgia  
funzionale (trasferimenti tendinei finalizzati a migliorare la funzionalità delle mani  
e dei gomiti; neuroprotesi).

c) Cura della vescica e dell'intestino: in casi eccezionali, specie dopo chirurgia funzionale, indipendenza, con ausili e bagno adattato all'uso in carrozzina.

Assente la motricità attiva legata agli intrinseci della mano.

- Mobilità personale: può essere raggiunta una discreta autonomia nella mobilità a letto e nella automobilizzazione degli arti inferiori. Indipendenza nella spinta della carrozzina manuale su terreno piano e su terreno con lieve e media pendenza. Autonomia nella guida dell'automobile con comandi adattati.

- Cura personale :

- 8

## **CAP.2 LA FUNZIONE PRENSILE NEI SOGGETTI CON TETRAPLEGIA MEDIA**

Nei soggetti con tetraplegia media è presente una forte estensione attiva del polso mentre è assente la flessione attiva volontaria delle dita (nei soggetti con livello C7 è possibile una debole estensione delle dita e del pollice).

In questi soggetti è possibile raggiungere sia una presa **a pinza laterale “a chiave”**<sup>55</sup> (key grip) che una **presa palmare**<sup>66</sup> grazie alla tensione attiva (riflesso da stiramento) e tensione passiva (tensione elastica) dei muscoli motori estrinseci, poliarticolari, del pollice e delle dita, generata dalla flessione estensione del polso (effetto tendesi).

Mentre la flessione (passiva) del polso, mettendo in tensione gli estensori, provoca l'apertura della mano, la presa di contatto con l'oggetto e il suo rilascio, l'estensione (attiva) del polso, mettendo in tensione i flessori ne provoca l'afferramento e la tenuta<sup>7</sup>.

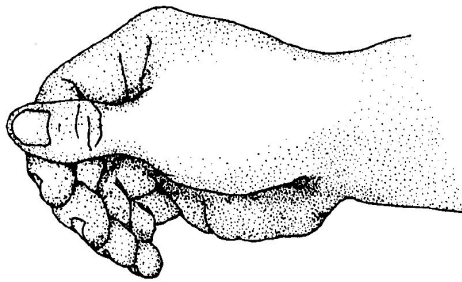
La presa laterale a chiave è la presa tra il polpastrello del pollice e la faccia laterale della seconda o terza falange dell'indice (Fig.4); la presa palmare, o a pieno palmo è la presa di forza per oggetti cilindrici (fig 5).

---

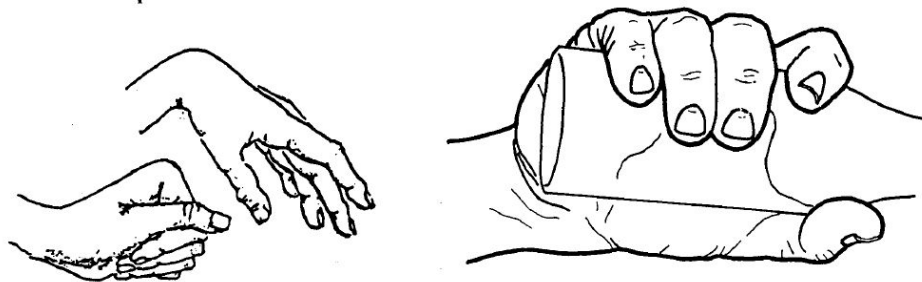
<sup>55</sup> E' la presa tra il polpastrello del pollice e la faccia laterale della seconda o terza falange dell'indice. In presenza di una paralisi dei muscoli normalmente implicati in questo tipo di presa, questa può essere resa possibile dalla tensione passiva e attiva (l'estensione del polso provoca, per effetto tenodesi, la flessione-adduzione del pollice e la pressione del polpastrello di questo dito contro la superficie radiale della prima o della seconda falange dell'indice) dei muscoli motori estrinseci, poliarticolari, del pollice e delle dita, generata dalla flessione estensione del polso: mentre la flessione del polso provoca l'apertura della pinza, l'estensione di questa articolazione ne provoca la chiusura.

<sup>66</sup> E' la presa di forza per oggetti di forma cilindrica (Fig.2). Nei soggetti privi di movimenti attivi volontari delle dita, questa presa può essere resa possibile sfruttando l'effetto tenodesi dei muscoli flessori ed estensori delle dita stesse: se è presente una completa articularità del polso e delle dita e una stiffness adeguata dei muscoli flessori ed estensori delle dita e del pollice (cosa possibile se i livelli segmentali da cui dipendono questi muscoli sono intatti, anche se sganciati dal controllo superiore), la flessione del polso, mettendo in tensione gli estensori, provoca l'apertura della mano e la presa di contatto con l'oggetto; l'estensione del polso, mettendo in tensione i flessori, provoca la presa e la tenuta dell'oggetto.

<sup>7</sup> Lo sviluppo di una certa tensione attiva nei muscoli flessori del pollice e delle dita (C8-T1) in risposta ai movimenti del polso, per effetto della risposta riflessa allo stiramento, è di fondamentale importanza per consentire una presa funzionale. In assenza del riflesso da stiramento dei muscoli suddetti (flaccidità), cosa che si verifica quando la lesione midollare coinvolge più livelli metamERICI (C7-C8-T1...), è invece assai improbabile che questi possano realizzare con la sola componente viscoelastica una tensione sufficiente a garantire una presa funzionale (il muscolo flaccido ha consistenza gelatinosa e la tensione passiva che è in grado di sviluppare è minima).

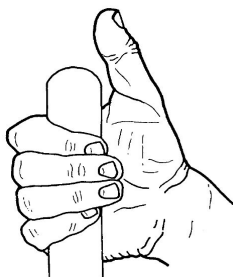


*Fig.4 Presa a pinza laterale. L'estensione del polso provoca, per effetto tenodesi, la flessione-adduzione del pollice e la pressione del polpastrello di questo dito contro la superficie radiale della prima o della seconda falange dell'indice.*

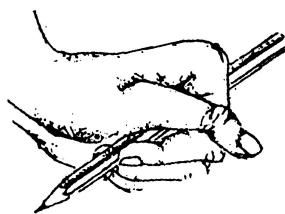


*Fig.5 Presa a pieno palmo ottenuta attraverso l'effetto tenodesi, in presenza di una forte estensione attiva volontaria del polso.*

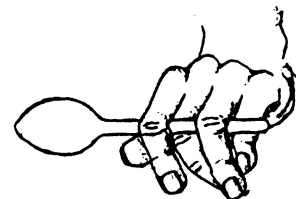
In alcuni casi i soggetti con tetraplegia media, utilizzano per la presa strategie alternative a quelle sopra descritte. Le figure che seguono illustrano alcune di queste strategie:



*Presa palmare "a uncino".<sup>87</sup>*  
*intrecciata*



*Presa interdigitale*

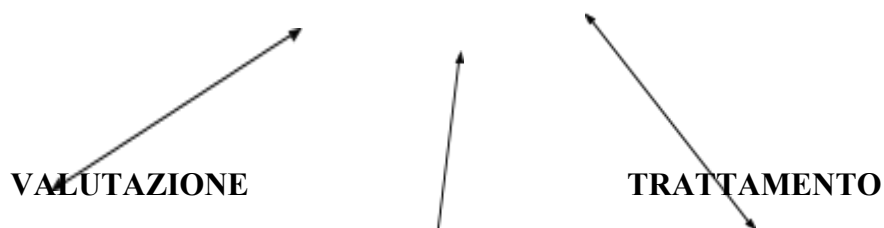


*Presa*

<sup>87</sup> E' una forma di presa digito-palmare senza intervento del pollice; utilizzata per manovrare una leva, tenere un volante, ecc. In presenza di un deficit dei muscoli motori delle dita, questa presa può essere realizzata per effetto tenodesi a seguito dei movimenti di flessione estensione del polso.

## LA VALUTAZIONE

### FORMULAZIONE OBIETTIVI

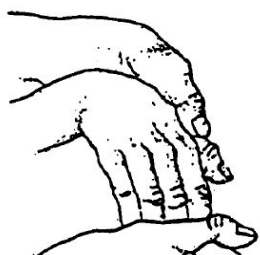


La valutazione, come illustrato nello schema rappresentato sopra, è un processo diacronico che viene messo in atto prima, durante e al termine dell'intervento terapeutico riabilitativo. Consente di formulare un'ipotesi prognostica, di definire gli obiettivi intermedi e finali del trattamento ed il tipo di trattamento da utilizzare, di valutarne i risultati, di correggere eventualmente il trattamento stesso qualora questo non sortisca gli effetti previsti, di ridefinire eventualmente gli obiettivi qualora questi si stiano dimostrando poco realistici.

La valutazione della funzione attuale e potenziale della mano della persona con tetraplegia comprende l'esame articolare, l'esame muscolare, l'esame del tono, l'esame della sensibilità, l'esame delle capacità di presa. Il tutto va integrato con un esame dell'equilibrio in posizione seduta, della funzione dei distretti prossimali dell'arto superiore, dello stato generale psicofisico della persona.

**Esame articolare.** Va esaminata la mobilità passiva delle articolazioni del polso e delle dita e quella delle articolazioni intermedia e prossimale dell'arto superiore (gomito e spalla) (Fig.12). Come meglio si vedrà più avanti, i requisiti per una presa efficace sono una sufficiente mobilità e una sufficiente stabilità articolare.

*Estensione delle dita*



*Flessione delle dita con polso in estensione*



*con polso in flessione*

*Fig... Esame articolare del polso e delle dita. Per evitare lo stiramento eccessivo dei muscoli flessori ed estensori delle dita, queste vanno sempre estese a polso flesso e flesse a polso esteso. Il pollice non viene in genere mobilizzato individualmente, ma insieme alle altre dita.*

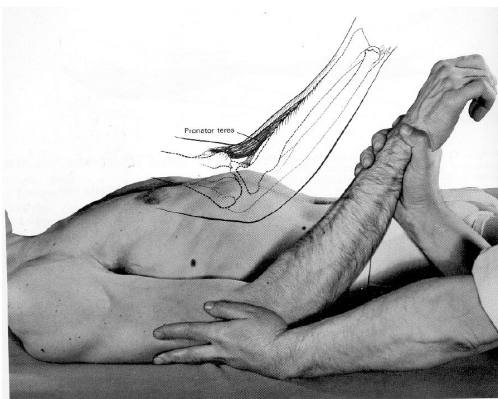
**Esame muscolare.** Per ogni livello neurologico è necessario esaminare in dettaglio alcuni muscoli chiave per la presa (vedi tabella e Fig 13; 14; 15; 16; 17; 18; 19).



*Fig.13 Test di forza dei muscoli estensori radiale lungo (ERLC) e breve (ERBC) del carpo. L'ERLC ha un livello metamerico più alto dell'ERBC. In presenza del solo ERLC, durante l'estensione attiva del polso, spesso incompleta, si ha una deviazione radiale di quest'ultimo.*



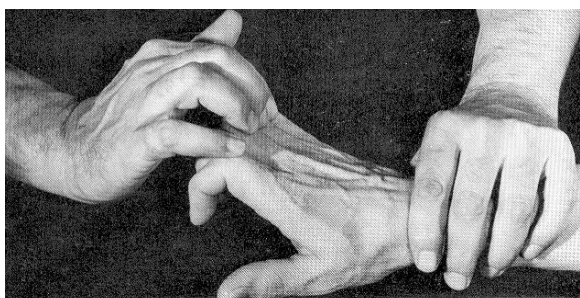
*Fig.14 Test di forza del brachioradiale (2/3 superiori della cresta sopracondiloidea laterale dell'omero-processo stiloideo del radio).*



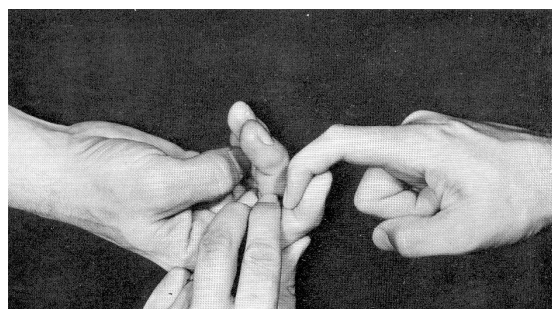
*Fig.15 Test di forza del pronatore rotondo*



*Fig.16 Test di forza del tricipite*



*Fig... Esame muscolare degli estensori delle dita e del pollice*



*Fig... Esame muscolare dei flessori delle dita.*

Sulla base dei risultati dell'esame muscolare è possibile classificare i pazienti con tetraplegia media secondo le categorie previste dalla scala di GIENS, e sulla base della categoria di appartenenza, risalire induttivamente al tipo di presa ipoteticamente raggiungibile.

Di seguito è presentata la classificazione di GIENS, proposta come sistema di valutazione ad uso chirurgico, secondo noi molto efficace a scopo prognostico anche quando si prevede il solo trattamento conservativo.

### Scala di GIENS (ICSHT Scale)

#### **TETRAPLEGIA ALTA**

| <b>Gruppi di appartenenza</b>                          | <b>Prognosi riguardo alla presa</b>             |
|--------------------------------------------------------|-------------------------------------------------|
| <b>G0 (C1-C4)</b>                                      | <b>Impossibilità di presa funzionale</b>        |
| <b>G1 (C5)</b><br>Brachioradiale                       | <b>Mano funzionale passiva</b>                  |
| <b>G2 (C5-C6)</b><br>Estensore Radiale Lungo del Carpo | <b>Mano funzionale passiva (a volte attiva)</b> |

#### **TETRAPLEGIA MEDIA**

| <b>Gruppi di appartenenza</b>                       | <b>Prognosi riguardo alla presa</b>                                                                                 |
|-----------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>G3 (C6)</b><br>Estensore Radiale Breve del Carpo | <br><b>Mano funzionale attiva</b> |
| <b>G4 (C6-C7)</b><br>Pronatore Rotondo              |                                                                                                                     |
| <b>G5 (C7)</b><br>Gran Palmare                      |                                                                                                                     |

#### **TETRAPLEGIA BASSA**

| <b>Gruppi di appartenenza</b> | <b>Prognosi riguardo alla presa</b> |
|-------------------------------|-------------------------------------|
|-------------------------------|-------------------------------------|

|                                                                                                                                                                            |                                                                                                                                                                                       |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|
| <b>G6 (C7-C8)</b><br>Estensore delle Dita<br><br><b>C7-C8)</b><br>Estensore del Pollice<br><br><b>G8 (C8)</b><br>Flessori delle Dita<br><br><b>G9</b><br>(mano intrinseca) | <p><b>Mano funzionale attiva</b></p> <p><b>Mano funzionale attiva</b></p>  <p><b>Mano attiva</b></p> |
|----------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|---------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------------|

Come anticipato nell'introduzione, in questo lavoro ci limiteremo allo studio della tetraplegia media. Questa, come si deduce dalla tabella, comprende i livelli C6 e C7 (classificazione ASIA) e le categorie G3,G4,G5.

**Esame del tono.** Riguarda, in particolare, i muscoli della mano dipendenti dai livelli C8, T1. Questi, a seconda dell'estensione della lesione midollare, possono essere spastici (se i livelli sotto C7 sono conservati), cosa positiva ai fini della presa passiva (purchè la spasticità non sia eccessiva), o flaccidi (se la lesione include i livelli C8- T1), e rendere quasi impossibile una presa per effetto tenodesi (vedi Fig.7).

**Esame della sensibilità.** Va esaminata in maniera specifica la sensibilità tattile discriminativa a livello dei polpastrelli di pollice e indice. Il test di Moberg (Moberg, 1990), il più utilizzato, valuta la capacità discriminativa tattile di due punti a una distanza inferiore a 10 mm. l'uno dall'altro: se positivo (capacità discriminativa tattile presente) il paziente potrà controllare la pinza servendosi della sola sensibilità tattile (nella classificazione GIENS verrà incluso nel gruppo Cu= cutaneous); se negativo, il paziente dovrà servirsi della vista (e, nella stessa classificazione, verrà incluso nel gruppo O = ocular visual control).

Nell'esame della sensibilità va sempre inclusa anche la rilevazione della eventuale presenza di parestesie, disestesie, dolori, per la interferenza che questi disturbi possono avere sulla funzionalità della mano.

**Valutazione delle modalità di presa utilizzata dal paziente.** Si analizzano le strategie utilizzate spontaneamente dal paziente per la presa e la manipolazione di oggetti: utilizzo efficace dell'effetto tenodesi, movimenti "trucco", ausili, ecc.

**Valutazione generale.** Poiché la mano costituisce l'anello terminale di una catena cinetica (arto superiore) dove il corretto funzionamento degli anelli prossimali è condizione necessaria per l'espletamento della sua funzione (il controllo della spalla è necessario per l'orientamento della mano nello spazio, il controllo del gomito per la regolazione delle distanze -flesso estensione- e per l'orientamento -prono supinazione), è indispensabile che la valutazione della mano venga sempre integrata con la valutazione della funzione di tutto l'arto superiore. Questa, a sua volta, non può prescindere da una

valutazione dell'equilibrio del tronco e degli aggiustamenti posturali (la semplice osservazione del comportamento spontaneo del paziente - postura, movimenti spontanei, ecc.- è spesso già in grado di fornirci alcuni dati fondamentali sulle capacità funzionali attuali e potenziali e sulle eventuali possibilità terapeutiche).

Ovviamente, la valutazione funzionale non può prescindere dalla valutazione della persona nei suoi aspetti psico-sociali (vissuti, aspettative, relazioni familiari e sociali, ecc.)

**Prognosi funzionale** Nella tetraplegia media, come abbiamo visto, è possibile raggiungere sia una presa a pinza laterale “a chiave” (key grip) che una presa palmare grazie alla tensione attiva (riflesso da stiramento) e passiva (tensione elastica) dei muscoli motori estrinseci, poliarticolari, del pollice e delle dita, generata dalla flessione estensione del polso. A differenza che nella tetraplegia alta, nella tetraplegia media l'estensione del polso può essere sempre effettuata attivamente (mano funzionale attiva); questo consente, anche grazie a una migliore fissazione prossimale, di afferrare gli oggetti tenendo l'avambraccio sia in pronazione che in supinazione. A seconda del livello neurologico interessato, nei soggetti con tetraplegia media possono essere o meno attivi il pronatore rotondo (C6-C7) e il tricipite (C7); la possibilità di attivazione volontaria di questi muscoli influenza ovviamente le possibilità motorie (in assenza del pronatore rotondo l'avambraccio è atteggiato, e nel tempo si può retrarre, in supinazione; in assenza del tricipite non possono essere raggiunti oggetti al di sopra della testa e non può essere arrestata la flessione del gomito nel gesto di portare la mano alla bocca, ecc. Vedremo più avanti come, a volte, interventi chirurgici di trasposizione tendinea possono consentire di recuperare alcuni di questi deficit e migliorare la funzione prensile).

Ovviamente, per una presa ottimale, è indispensabile una tensione ottimale dei muscoli implicati (presenza di una risposta allo stiramento “ottimale”).

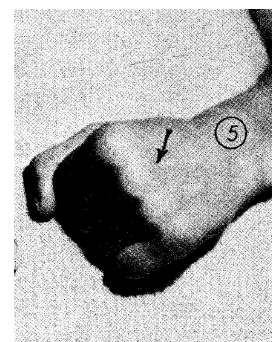
I problemi più frequenti che possono ostacolare la presa nei soggetti con tetraplegia media sono, per la presa a pinza laterale:

- Insufficiente estensione attiva e/o passiva del polso (deficit di forza degli estensori, rigidità articolare);
- insufficiente tensione dei muscoli motori del pollice (estrinseci, in particolare; questo si verifica più frequentemente in presenza di paralisi flaccida di questi muscoli secondaria a una lesione midollare plurisegmentaria;
- eccessiva tensione dei muscoli del pollice implicati nella chiusura della pinza (spasticità, retrazione) responsabile della eccessiva flessione, o flessoadduzione di questo dito (pollice in palmo, iperflessione della falange distale, ecc.)
- eccessiva tensione (spasticità, retrazione) degli estensori e dell'abdotto lungo del pollice, responsabile della mancata o insufficiente chiusura della pinza;
- instabilità della colonna del pollice (mano “piatta” da ipotonia-ipotrofia dei muscoli tenari conseguente a paralisi periferica degli stessi per lesione midollare plurisegmentale - iperlassità capsulo legamentosa);

- insufficiente stabilità – insufficiente flessione del II dito (da insufficiente stiffness dei flessori delle dita e degli intrinseci, frequente se il danno di questi muscoli è di tipo periferico);
- mancanza di sincronismo tra flessione-adduzione del pollice e flessione dell'indice, con difettosa presa di contatto tra le due dita;
- disturbi della sensibilità: la presenza di parestesie, disestesie, o dolori durante l'attività della mano provoca una inibizione dell'utilizzo della mano; l'ipoestesia e l'anestesia sono responsabili di una "paralisi afferente" (incapacità dell'utilizzo della mano per assenza dell'informazione sensitiva che fa da guida al movimento);
- disturbi di tipo percettivo - cognitivo o emozionale (intenzione, attenzione, memoria, inibizione, ecc.).

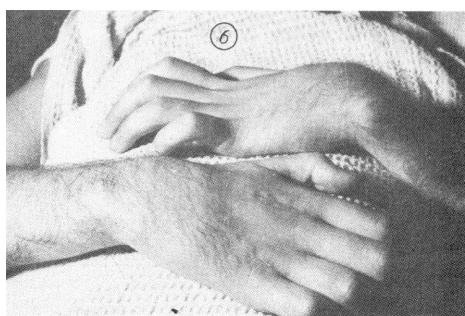
Per la presa palmare i principali ostacoli a una presa efficace sono:

- Insufficiente estensione attiva e/o passiva del polso (deficit di forza degli estensori, rigidità articolare);
- insufficiente stiffness dei muscoli flessori delle dita e/o del pollice (ipotonia-ipotrofia), frequente quando la lesione comprende più livelli metamERICI (vedi Fig.1), a volte iatrogena per eccessivo stiramento di questi muscoli (le manovre di estensione passiva contemporanea di polso e dita sono da proscrivere!) (Fig.7);
- spasticità e/o retrazione dei muscoli flessori ed estensori delle dita, che impediscono, rispettivamente, l'apertura e la chiusura delle dita stesse per prendere contatto con l'oggetto, per afferrarlo e trattenerlo (Fig.7, 8, 9);
- spasticità e/o retrazione degli intrinseci, responsabile di una deformità in flessione delle metacarpo falangee (deformità tipo intrinsic plus) (Fig.10);
- importante riduzione del range articolare del polso e/o delle dita conseguente a trauma, infiammazione, disturbi vascolari, ipo-immobilizzazione, spasticità, ecc. (se il polso non può essere esteso, i flessori delle dita non possono essere messi in grado di sviluppare una tensione sufficiente per consentire una presa adeguata; se non può essere flessione si possono creare problemi nell'apertura delle dita; se le dita non si estendono, è impossibile effettuare un'apertura adeguata per il contatto con l'oggetto; se non si flettono, è impossibile la presa e la tenuta, ecc.);
- disturbi della sensibilità (vedi sopra) (Fig.11);
- disturbi di tipo cognitivo o emozionale.

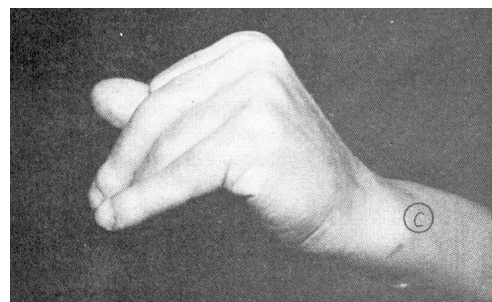


*Fig.7 Impossibilità di presa passiva (effetto tenodesi) per insufficiente stiffness dei muscoli flessori delle dita e del pollice*

*Fig.8 La eccessiva spasticità, o la retrazione dei muscoli flessori delle dita impedisce l'apertura della mano e la presa di contatto con l'oggetto.*



*Fig.10 Rigidità in estensione delle metacarpo falangee. Molte di queste deformità possono essere evitate con splint adeguati, Kinesiterapia e, in certi casi, con la chirurgia.*



*Fig.11 Caso raro di deformità tipo intrinsic plus da spasticità-retrazione dei muscoli intrinseci*

### **CBI- hand function evaluation**

Il test che viene illustrato nella parte che segue è quello che abbiamo utilizzato più frequentemente per la valutazione dei soggetti con tetraplegia media da noi esaminati. È stato proposto a pazienti in precedenza sottoposti a trattamento chirurgico, a pazienti trattati conservativamente e a pazienti in trattamento con FES (vedi oltre).

## **CAP.3 L'INTERVENTO TERAPEUTICO**

Alla valutazione e alla formulazione degli obiettivi perseguibili fa seguito l'intervento terapeutico.

Gli interventi previsti per la promozione di una mano funzionale nella tetraplegia media, dove per mano funzionale intendiamo una mano in grado di realizzare una presa soddisfacente attraverso l'utilizzo di compensi interni e/o esterni, sono la fisioterapia, la terapia occupazionale, la chirurgia funzionale, la FES.

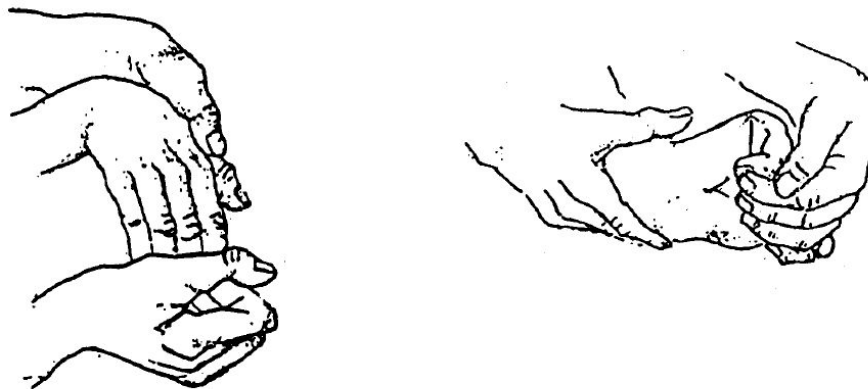
### **Fisioterapia e Terapia occupazionale**

La fisioterapia e la terapia occupazionale hanno come obiettivo la promozione dello sviluppo di una mano funzionale.

Il raggiungimento di questo obiettivo passa attraverso una serie di interventi finalizzati a:

- prevenire, contenere, correggere retrazioni e deformità articolari;
- rinforzare la muscolatura dell'arto superiore dipendente dai livelli sopralesionali, in particolare quella direttamente implicata nella funzione della mano, se presente (estensori del polso, innanzitutto; brachioradiale, pronatore rotondo, tricipite);
- promuovere lo sviluppo di una stiffness ottimale dei muscoli della mano implicati nella presa in modo da consentire prese passive efficaci;
- promuovere l'utilizzo di compensi interni ed esterni efficaci per lo svolgimento delle attività della vita quotidiana (AVQ).

*Fig.20 Mobilizzazione passiva del polso e delle dita. Per evitare lo stiramento eccessivo dei muscoli flessori ed estensori delle dita, queste vanno sempre estese a polso flessso e flesse a polso esteso. Il pollice non viene in genere mobilizzato individualmente, ma insieme alle altre dita.*



### **Prevenzione, contenimento, correzione retrazioni e deformità articolari.**

Retrazioni e deformità articolari possono costituire un ostacolo importante alla presa funzionale e vanificare qualsiasi intervento riabilitativo sulla mano. Per questo, salvo che nei casi in cui si rilevino essere funzionali in quanto facilitanti la presa passiva e stabilizzanti, vanno contrastate.

A scopo preventivo, in assenza di un ipertono importante e di disturbi vascolari e trofici (sindrome neuro-algodistrofica), è sufficiente una corretta mobilizzazione di tutte le articolazioni dell'arto superiore per 5 minuti due volte al giorno. Se vi è una tendenza allo sviluppo di retrazioni e deformità, i tempi di mobilizzazione vanno aumentati e adattati alle esigenze del singolo caso.

In associazione alla fisioterapia vengono spesso utilizzati splint di posizione con modalità e tempi variabili da caso a caso., Lo scopo di questi splints, come vedremo, è anche quello di promuovere lo sviluppo di una stiffness ottimale dei muscoli implicati nella presa.

Qualora si sia in presenza di retrazioni e/o deformità strutturate, è fondamentale una FKT più intensa<sup>9</sup>, associata eventualmente all'utilizzo di terapie fisiche, e l'applicazione di splint correttivi (Krajnik et al, 1992). Spesso è necessario ricorrere alla chirurgia.

### **Rinforzo muscolare.**

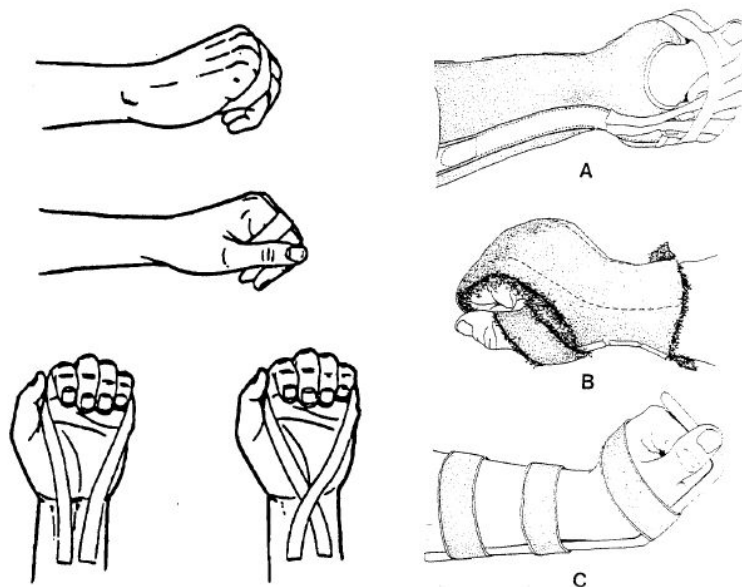
Viene effettuato mediante esercizio specifico a cui, eventualmente, può essere associata la elettroterapia stimolante.

### **Promozione dello sviluppo di una stiffness ottimale dei muscoli della mano in modo da consentire prese efficaci.**

---

<sup>9</sup> Per correggere (entro certi limiti) le retrazioni si utilizzano manovre di stiramento lento dei tessuti e applicazione di ortesi statiche contenitive e/o correttive. Lo stiramento, agendo essenzialmente sulla componente viscosa dei tessuti muscolo-articolari, consente di ottenere un loro allungamento senza incontrare le resistenze incontrate nel corso dello stiramento veloce e senza mettere a rischio l'integrità delle strutture (lo stiramento rapido e incontrollato di tessuti retratti potrebbe provocare strappi muscolari o capsulolegamentosi o, addirittura, fratture e/o lussazioni). L'immobilizzazione muscolo-articolare mediante l'applicazione di ortesi statiche in posizione tale da determinare uno stiramento dei tessuti agisce pure sulla componente viscosa degli stessi facilitando un loro allungamento graduale.

Oltre alla fisioterapia attiva e passiva, vengono utilizzati splints di posizione come quelli illustrati nella figura 21<sup>10</sup>



*Fig.21 Esempi di splint utilizzati per promuovere lo sviluppo di una tensione dei flessori delle dita e del pollice efficace per la presa. Questi splint, immobilizzando il pollice in posizione funzionale e le dita in flessione (MF 45°-90°; IFP: 45°-90°; IFD: 0°), oltre a prevenire rigidità in posizioni non funzionali, cosa peraltro abbastanza frequente, provocherebbero un aumento della stiffness dei flessori. I tempi di applicazione variano da soggetto a soggetto in base a diversi fattori individuali (spasticità, flaccidità, habitus costituzionale, disturbi trofici, ecc.).*

*A: posizionamento delle sole dita senza sostegno del polso (utilizzabile se la forza degli estensori del polso è 4 o 5)*

<sup>10</sup> Gli splints rappresentati nella figura 21 possono essere inadeguati, e a volte controindicati, in presenza di determinate complicanze (fratture, ustioni, algodistrofie, edema, rigidità articolari, retrazioni, allergie, ecc.). In questi casi si può provvedere al confezionamento di splints adeguati alle singole necessità (in caso di spasticità o retrazione dei flessori delle dita, ad esempio, spesso non è necessario, o addirittura può essere controindicato, l'utilizzo di uno splint che mantenga le dita in flessione; a volte può essere sufficiente una mobilizzazione corretta, a volte può essere indicato uno splint che spinga le dita in estensione).

*B: splint per posizionamento di polso (30° di estensione), pollice (MF: 0°- 30° di flex; IF:0°) e dita (MF e IFP: 45°-90°; IFD: 0°) (utilizzate quando la estensione del polso è debole).*

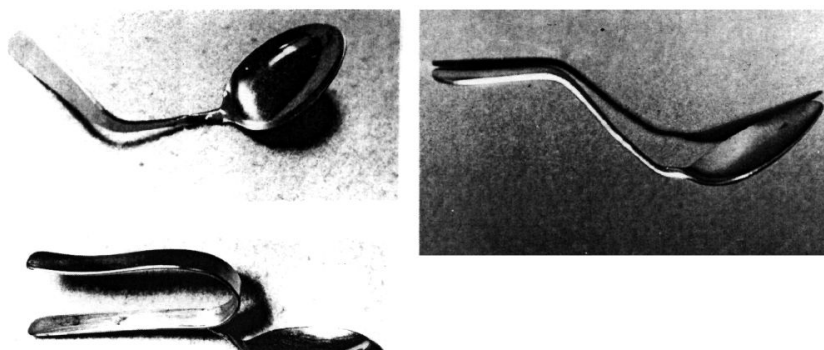
**Promozione dell'utilizzo di compensi interni ed esterni efficaci per lo svolgimento delle attività della vita quotidiana (AVQ).**

La traduzione delle risorse sensitivo motorie residue del soggetto in utilizzo funzionale costituisce l'obiettivo specifico della terapia occupazionale. Questa consiste nel condurre il soggetto all'esecuzione delle diverse AVQ (alimentazione, scrittura, igiene personale, cateterismo, vestirsi, trasferimenti, spinta della carrozzina, guida dell'automobile, ecc.) attraverso l'individuazione e la promozione dell'utilizzo delle risorse interne residue (compensi funzionali quali, ad esempio, lo sfruttamento dell'effetto tenodesi per la presa, ecc.) ed eventualmente, spesso, attraverso l'utilizzo di ausili<sup>14</sup>

Di seguito vengono illustrate alcune delle attività funzionali proposte al soggetto tetraplegico durante le sedute di terapia occupazionale e le possibili strategie utilizzate per farvi fronte (Fig.22; 23,24,25,26,27,28,29,30).

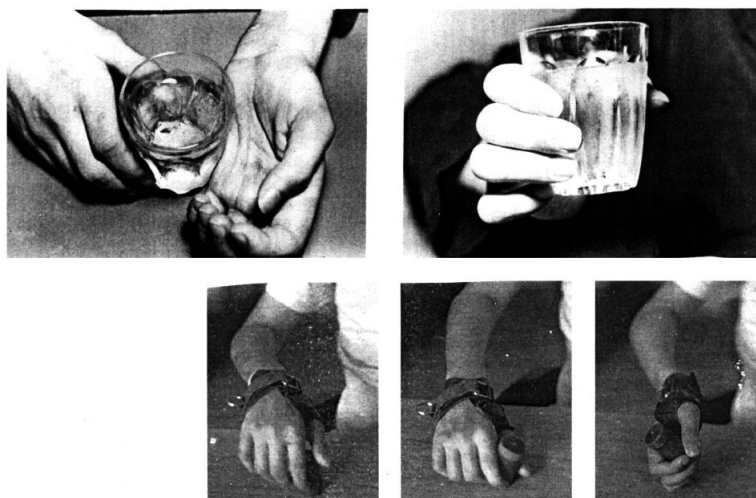


*Fig.22                    Polsiera  
utilizzabile dai        soggetti  
con livello neurologico C5  
per facilitare la presa  
passiva*

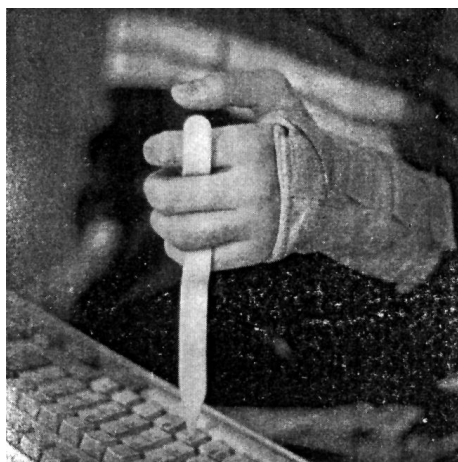


*manico del cucchiaino*

*Fig23 Adattamento del*



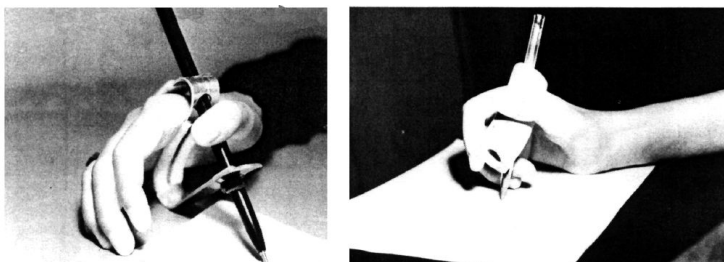
*Fig.24 Esercizi di presa*



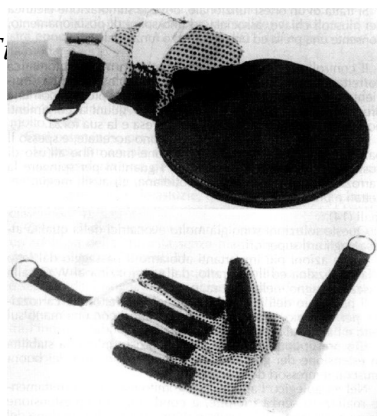
*Fig.25 Lavoro alla tastiera.*



*Fig.26 Ausilio in velcro per forchetta*



*Fig.*

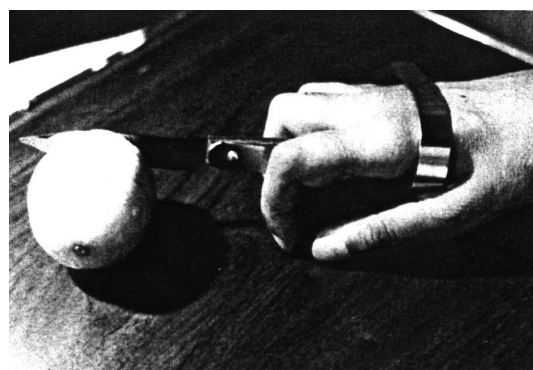


*Fig.29 Impugnatura per racchetta*

*Fig.30 mobilizzazione al letto*



*Fig.28 Adattamento del manico del coltello*



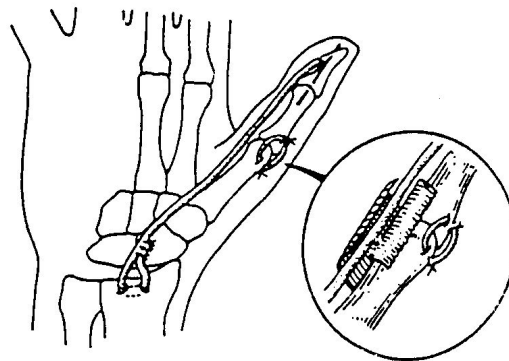
## **Interventi di chirurgia funzionale**

A volte per promuovere e/o migliorare l'efficacia della presa è possibile ricorrere alla chirurgia funzionale.

La chirurgia funzionale costituisce un importante strumento terapeutico che, inserito al momento giusto (vedi oltre) e con la giusta dosatura, può offrire un valido contributo al miglioramento della funzione prensile e manipolatoria. Si avvale essenzialmente dei seguenti interventi: tenodesi, artrodesi, artroresi, trasferimenti tendinei.

#### **a) Tenodesi dinamiche.**

Se l'effetto tenodesi spontaneo è insufficiente (lo è quasi sempre nella mano periferica, quando la lesione coinvolge più livelli metamerici al di sotto di C6), si possono praticare tenodesi chirurgiche aumentando la tensione passiva dei muscoli poliarticolari motori del pollice e delle dita. Un esempio di tenodesi chirurgica è illustrato nella figura 1.



*Fig.1 Tenodesi del flessore lungo del pollice al radio per facilitare la presa palmare. Questa tenodesi consente, a seguito dell'estensione del polso, di addurre parzialmente il primo metacarpo e flettere la falange distale del pollice contro la superficie radiale dell'indice determinando una presa a pinza laterale (da Zancolli, 1986)*

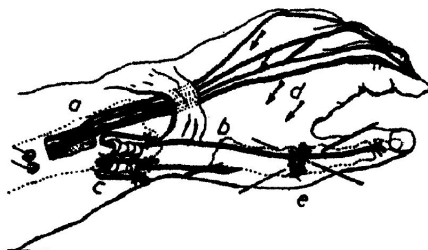
#### **b) Artrodesi.**

In caso di instabilità articolare, frequente soprattutto nei casi di interessamento periferico dei muscoli della mano (lesione midollare plurisegmentale), quando questa non sia correggibile altrimenti, può essere opportuno il ricorso a interventi di artrodesi (fusione articolare in posizione funzionale). Questi interventi sono frequentemente effettuati a livello delle articolazioni della colonna del pollice.

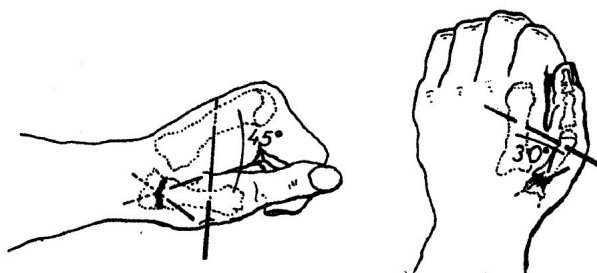
- Artrodesi interfalangea per evitare una flessione eccessiva della falange distale durante la presa (Fig.2)
- Artrodesi metacarpo falangea (fissazione a 10° di flessione con due fili incrociati di Kirschner) (Fig.3)
- Artrodesi carpo-metacarpale effettuata con pollice a 45° di antepulsione e a 30° di flessione, con l'unghia ad angolo retto rispetto al piano del palmo (Fig.4)



*Fig.2 Artrodesi interfalangea del pollice (A) per stabilizzare la falange distale.*



*Fig.3 Artrodesi metacarpo-falangea (e) del pollice. L'articolazione viene fissata a 10° di flessio*



*Fig.4 Artrodesi trapezio metacarpale. La fusione viene effettuata con pollice a 45° di antepulsione e a 30° di flessione, con l'unghia ad angolo retto rispetto al piano del palmo.*

### **c) Trasposizioni tendinee.**

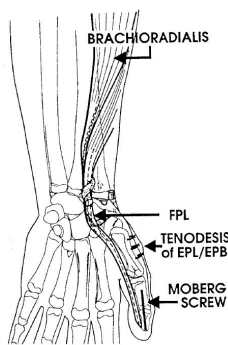
Consistono nel trasferimento del tendine di un muscolo attivabile volontariamente (quindi funzionante), con forza non inferiore a 4, sul tendine di un muscolo paralizzato. In questo modo la contrazione del muscolo innervato determina lo stesso movimento che in condizioni normali viene generato dal muscolo paralizzato. In caso di paralisi dei flessori del pollice e delle dita, ad esempio, è possibile trasferire sui tendini di questi muscoli i tendini di muscoli funzionanti quali il brachioradiale e l'estensore radiale lungo del carpo, o il pronatore rotondo.

Quando sono disponibili muscoli attivabili volontariamente per il trasferimento, i trasferimenti tendinei sono da preferirsi alle tenodesi in quanto consentono di effettuare prese più solide, precise e modulabili.

Di seguito riportiamo i principali interventi proposti per il raggiungimento-miglioramento delle prese a pinza laterale e palmare nei soggetti con tetraplegia media ( **ASIA C6-C7; GIENS G3-G4-G5**).

### **Presa a pinza laterale:**

**3. Nei pazienti con tetraplegia media** l'obiettivo chirurgico è sempre quello di ottenere una pinza attiva. A tale scopo viene in genere effettuato il trasferimento del brachioradiale, o del pronatore rotondo, sul flessore lungo del pollice (Fig.14). Per assicurare il corretto posizionamento del pollice e dell'indice e la stabilizzazione della colonna articolare, all'intervento di attivazione della pinza vengono per lo più associate altre procedure, scelte e applicate di volta in volta a seconda delle necessità del singolo caso: plastica di opposizione passiva, tenodesi dell'estensore lungo del pollice al radio, tenodesi dell'abduktore lungo del pollice sul versante dorsale del polso, artrodesi della trapezio-metacarpale, tenodesi dell'estensore del pollice sul primo metacarpale, split del flessore lungo e trasposizione di una banda sulla faccia dorsale dell'ultima falange, artrodesi interfalangea, artrodesi metacarpo-falangea, intervento di "lazo" all'indice o tenodesi del flessore breve dell'indice sulla prima falange.



*Fig.14 Trasferimento del brachioradiale sul flessore lungo del pollice e tenodesi dell'estensore lungo e breve del pollice al primo metacarpale.*

Tutti gli interventi descritti per la presa a pinza contribuiscono anche al miglioramento della presa palmare.

### **Presa palmare:**

**2. Nei pazienti con tetraplegia media** vengono in genere effettuati i seguenti interventi:

- **Trasferimento dell'estensore radiale lungo del carpo sul flessore profondo delle dita** (Allieu, 1993; Freehafer et al, 1984; Moberg, 1989; Zancolli, 1986) (Fig.15). E' l'intervento di prima scelta per il ripristino della flessione delle dita, in considerazione anche del sinergismo estensione del polso-flessione delle dita. Requisito per la riuscita funzionale di questo intervento è la presenza di forza non inferiore a 4 a livello di entrambi gli estensori radiali del carpo. Tra le possibili complicanze ricordiamo l'indebolimento della estensione attiva del polso e la deformità in flessione della seconda e terza falange delle dita per squilibrio tensionale tra flessori delle dita (la cui azione è di flessione delle falangi distali e intermedie) e intrinseci (la cui azione è di flessione delle prime falangi ed estensione delle falangi

intermedie e distali). Per prevenire-correggere questa deformità si effettua l'intervento di "lazo" o l'intervento di Hentz).

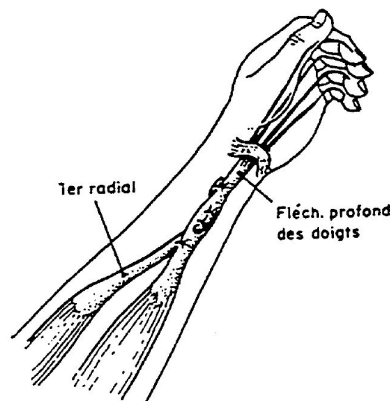


Fig.15

- **Trasferimento del brachioradiale, o del pronatore rotondo, sul flessore profondo delle dita** (Allieu, 1993; Freehafer et al, 1984; Moberg, 1989; Zancolli, 1986). La scelta di uno di questi muscoli per il trasferimento è da preferirsi a quella dell'estensore radiale lungo del carpo nel caso in cui l'estensione attiva del polso sia completa ma non sufficientemente forte. Alcuni preferiscono utilizzare in ogni occasione questi muscoli invece dell'estensore del carpo per evitare le possibili complicanze sopra descritte (retrazione delle dita in flessione e l'indebolimento della estensione attiva del polso).
- **Intervento di "lazo" dei flessori superficiali.** La riattivazione della flessione delle dita mediante trasposizione di muscoli attivi sul flessore lungo non è in grado di ripristinare la normale cinematica del gesto di chiusura della mano, che richiede l'intervento contemporaneo dei muscoli flessori superficiale e profondo, interossei e lombricali, ma determina una chiusura "a gancio" (roll up) che parte dalla flessione delle interfalangee distali e si propaga prossimalmente lasciando a volte semiestese le metacarpo falangee. Per consentire una flessione più fisiologica, alla riattivazione dei flessori si associa spesso l'intervento di "lazo" (Zancolli, 1986), che consiste nell'"allacciare" i tendini dei flessori superficiali sezionati al legamento vaginale (guaina fibrosa dei tendini del flessore profondo delle dita); questo intervento consente, per effetto tenodesi, di flettere le metacarpo falangee in associazione alla estensione del polso (vedi figura 13). In alternativa all'intervento di lazo, viene effettuata la tenodesi del flessore breve delle dita sulle prime falangi.

Per facilitare l'apertura della mano e ricostituire un certo equilibrio tensionale tra flessori ed estensori delle dita, in associazione alla riattivazione della flessione, vengono proposti i seguenti interventi:

- **Tenodesi dell'estensore comune delle dita** per estendere le dita mediante flessione del polso per effetto della gravità (Allieu, 1993; Freehafer et al. 1984; Lamb, 1983; Moberg, 1989; Zancolli, 1986).
- **Trasposizione del brachioradiale sull'estensore comune delle dita** (Zancolli, 1986).

Poiché la presa palmare “a pieno palmo” richiede anche una buona funzionalità del pollice, la ottimizzazione di questa presa prevede eventualmente anche gli interventi mirati alla pinza laterale.

### **Considerazioni sulla chirurgia funzionale**

Introdotta negli anni 70 da Freehafer (USA), Lamb (Scozia), Zancolli (Argentina) e Moberg (Svezia), questa chirurgia non ha ancora avuto una larga diffusione per i guadagni funzionali giudicati da molti pazienti troppo modesti in rapporto ai costi in termini di tempo<sup>17</sup> e sofferenza fisica. Inoltre, tra i numerosi problemi che i pazienti con tetraplegia si trovano a dover affrontare, a volte il problema della mano passa in secondo ordine rispetto ad altri più pressanti (insufficienza respiratoria, problemi vescico-sfinterici, ecc.). Infine, per un certo numero di pazienti, la capacità di prensione raggiungibile mediante l'utilizzo di compensi spontanei o di ausili è comunque soddisfacente e tale da non spingere alla richiesta di ulteriori interventi il cui esito funzionale, tra l'altro, non è sempre del tutto certo.

L'indicazione alla chirurgia funzionale nel tetraplegico con livello neurologico C6 (Gruppi I, II, III e IV) è essenzialmente la richiesta del raggiungimento di una presa funzionale non altrimenti raggiungibile o di un miglioramento della efficacia della presa.

### **Principi generali**

- L'intervento non va effettuato prima che il paziente abbia raggiunto il massimo recupero neurologico spontaneo (in genere non prima dell'anno dall'insorgenza della lesione midollare)
- L'intervento non va effettuato senza avere prima intrapreso un trattamento conservativo adeguato teso a promuovere lo sviluppo di una mano funzionale spontanea (FKT, splints)
- L'intervento va proposto illustrandone chiaramente significato e limiti, risultati funzionali attesi, tempi di recupero
- La scelta non deve essere forzata; il paziente deve essere psicologicamente stabilizzato e fortemente motivato
- Di fronte ai risultati non sensazionali di questa chirurgia, la regola d'oro deve essere quella di non provocare perdite di abilità già acquisite
- E' opportuno che il programma chirurgico sia il più semplificato possibile. Un programma troppo complesso e lungo potrebbe demotivare il paziente e indurlo alla rinuncia o alla interruzione del programma stesso a metà (un programma completo di chirurgia funzionale esteso alle due mani richiede sempre almeno quattro interventi in tempi diversi!)
- La scelta chirurgica va effettuata dopo un bilancio accurato di entrambe le mani, degli arti superiori nel loro insieme (esame analitico articolare, muscolare e della sensibilità; esame dei gesti della vita quotidiana), dell'equilibrio del tronco e dello stato generale del paziente.

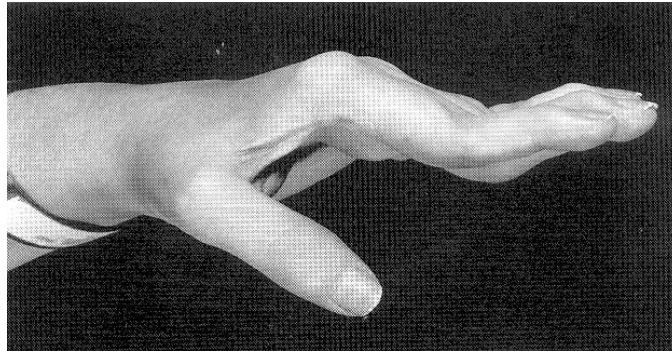
### **Controindicazioni**

- Scarsa motivazione
- Presenza di dolori e di gravi turbe della sensibilità delle mani (è necessaria la conservazione di una buona sensibilità superficiale, in particolare a livello del pollice e dell'indice). Secondo Moberg, un requisito per il successo funzionale dell'intervento è la risposta positiva al test di Moberg.<sup>18</sup> Qualora il test desse esito negativo, l'eventuale intervento chirurgico va limitato a una sola mano (Moberg, 1988)
- Presenza di gravi deformità statiche e dinamiche (queste ultime spesso dovute a spasticità dei muscoli dipendenti dai livelli sottolesionali) delle mani
- Presenza di alterazioni anatomiche e/o funzionali a livello dei distretti prossimali degli arti superiori tali da interferire pesantemente con la funzione della mano (il controllo della spalla è necessario per l'orientamento della mano nello spazio, il controllo del gomito per la regolazione delle distanze -flesso estensione- e per l'orientamento -prono supinazione). Se correggibili, la loro correzione è "conditio sine qua non" per poter programmare la ricostruzione della funzione della mano (in appendice vengono riportati alcuni interventi proposti per il ripristino della funzione dei distretti prossimali dell'arto superiore).

### **Complicanze**

Sono rare. Tra queste possiamo ricordare:

- aderenze cicatriziali che limitano lo scorrimento tendineo;
- allentamenti delle tenodesi;
- disturbi della sensibilità (parestesie, dolori, disestesie);
- tendiniti da sovraccarico dei muscoli trasferiti.
- A volte, come abbiamo visto, agli interventi sulla mano descritti possono far seguito instabilità articolari o deformità tali da richiedere interventi successivi di correzione (eccessiva flessione della interfalangea del pollice dopo trasposizione del brachioradiale sul FLP; deformità in griffe delle dita secondaria a trasferimento dell'ERLC sui flessori delle dita; deformità a collo di cigno dopo intervento di lazo, ecc.) (Fig.3.30).
- Non sempre, dopo costruzione di una pinza attiva, alla chiusura del pollice si associa una flessione sincrona e sufficiente dell'indice, con il risultato di una mancata presa di contatto tra le due dita.
- Dopo trasferimento del brachioradiale, si ha inevitabilmente una perdita graduale dell'effetto meccanico del trasferimento stesso (efficacia della presa) con l'aumentare della flessione del gomito per insufficienza attiva muscolare (la forza muscolare diminuisce con l'accorciamento del muscolo) e, in caso di insufficienza del tricipite, per deficit di fissazione del gomito (vedi appendice).



*Fig.3.30 Deformità a collo di cigno (iperestensione interfalangea prossimale, flessione interfalangea distale) per lo squilibrio delle forze venutosi a creare a livello delle strutture stabilizzanti l'articolazione interfalangea prossimale secondaria a intervento di lazo per stabilizzare le metacarpo falangee. Come conseguenza della recurvazione dell'interfalangea intermedia si ha dislocazione dorsomediale dei tendini estensori congiunti laterali (che risultano evidenti come una "corda d'arco" sotto la cute del dorso delle dita). La falange distale tende a flettersi per trazione del tendine flessore lungo delle dita.*

## **Stimolazione Elettrica funzionale**

La stimolazione elettrica funzionale (FES), ha assunto in questi anni una notevole rilevanza nella rieducazione della mano del tetraplegico. Attraverso la stimolazione elettrica di muscoli dipendenti dai livelli midollari sottolesionali, quindi innervati, è possibile promuovere il raggiungimento di una presa efficace. Tra i dispositivi utilizzati a livello internazionale citiamo l'Hand Master e il Freehand system

### **DESCRIZIONE DEI DUE SISTEMI**

#### **Il dispositivo MeCFES**

In considerazione dei risultati non sempre brillanti ottenuti con i due dispositivi sopra descritti, nell'obiettivo di promuovere il raggiungimento di una presa sufficientemente efficace e stabile con la minore invasività possibile, abbiamo messo a punto e sperimentato un dispositivo in grado di rilevare i potenziali elettrici degli estensori del polso durante l'estensione attiva di questa articolazione e di trasmetterli poi, opportunamente amplificati, ai flessori del pollice e/o delle dita determinando la contrazione controllata di questi ultimi.

#### **Materiali e metodi**

Il dispositivo utilizzato, messo a punto presso il Centro di Bioingegneria dell' Istituto Don Gnocchi dall'Ing. Rune Thorsen, denominato MeCFES (DICITURA CORRETTA), consiste di un processore di segnale, di un amplificatore e di un trasmettitore di impulsi. Sia la rilevazione che la trasmissione dei segnali elettrici avviene tramite elettrodi superficiali. Per la rilevazione dei segnali, gli elettrodi, in numero di due, vengono applicati sulla cute ricoprente gli estensori del carpo a una distanza di circa cinque

centimetri l'uno dall'altro; per la trasmissione dei segnali vengono applicati a livello dei punti motori dei flessori del pollice e/o delle dita.

Rispetto alle tecniche sino ad oggi utilizzate per ottenere una presa funzionale nei soggetti tetraplegici, il MeCFES ha il vantaggio del minor costo, della non invasività (la chirurgia può lasciare a volte effetti indesiderati quali dolori e deformità dinamiche, e i suoi effetti sono per lo più irreversibili, l'Hand master è piuttosto ingombrante e produce risposte on-off scarsamente modulabili), e soprattutto, rende possibile la modulabilità della forza della presa da parte del soggetto. Resta il problema della selettività del reclutamento muscolare.

**RISULTATI.** In 7 dei pazienti testati, nonostante un'accurata ricerca dei punti motori, non si è riusciti a ottenere una risposta selettiva a livello del pollice e delle dita in grado di consentire una presa funzionale; in alcuni (3) era presente una risposta esagerata e parassita dei flessori del polso; in altri (2) una mancata sincronizzazione tra flessione adduzione del pollice e flessione delle altre dita; in altri (2) una eccessiva flessione delle falangi terminali senza contemporanea flessione delle altre. Tre pazienti hanno invece sortito un risultato decisamente positivo sia per la presa a pinza laterale che per la presa palmare, riuscendo a modulare la forza della presa stessa attraverso la regolazione della forza di estensione del polso. Le figure sotto riportate e il filmato illustrano i risultati ottenuti con il dispositivo descritto sulla presa di oggetti di diverse dimensioni. Il confronto tra la presa degli stessi oggetti ottenuta con e senza il MeCFES sta a testimoniare l'efficacia di quest'ultimo dispositivo.

| Subj./Hand | Natural        | With MeCFES    |
|------------|----------------|----------------|
| A/Right    | A=0, B=0, C=0  | A=3, B=3, C=3  |
| A/Left     | A=0, B=0, C=0  | A=3, B=3, C=3  |
| B/Right    | A=1, B=1, C=0  | A=3, B=3, C=3  |
| C/Left     | A=0, B=1, C=NA | A=3, B=3, C=NA |

**DISCUSSIONE E CONCLUSIONI.** I risultati ottenuti con il dispositivo descritto, pur ricavati da uno studio su un numero limitato di soggetti, sembrano essere incoraggianti. Rispetto alle tecniche sino ad oggi utilizzate per ottenere una presa funzionale nei soggetti tetraplegici, il MeCFES ha il vantaggio del minor costo, della non invasività (la chirurgia può lasciare a volte effetti indesiderati quali dolori e deformità dinamiche, e i suoi effetti sono per lo più irreversibili, l'hand master è piuttosto ingombrante e produce risposte on-off scarsamente modulabili), e soprattutto, rende possibile la modulabilità della forza della presa da parte del soggetto. Resta il problema della selettività del reclutamento muscolare che, come abbiamo visto, non si è potuta ottenere in 7 dei 10 pazienti esaminati (70%).

La risposta positiva nel 30% dei casi esaminati apre comunque prospettive interessanti per un utilizzo funzionale della mano dei soggetti tetraplegici

#### **Cap. 4 ANALISI DEI RISULTATI SUL TRATTAMENTO CONSERVATIVO**

Dall'analisi della letteratura si ritrova che ci sono poche informazioni fondamentali riguardanti la funzionalità della mano nei soggetti con tetraplegia media.

Nella maggior parte degli studi viene valutata la funzionalità della mano a seguito di interventi di chirurgia funzionale o impianti di neuroprotesi; in alternativa altri studi presentano una analisi sulle principali differenze fra i metodi di tipo conservativo e i trattamenti di tipo chirurgico.

Inoltre negli studi che forniscono una più elevata quantità di informazioni riguardanti la funzionalità della mano, per contro vi si ritrova un ridotto numero di soggetti partecipanti.

Sarebbe auspicabile ottenere un adeguato numero di informazioni riguardanti la "funzionalità attesa" su soggetti con tetraplegia media in quanto:

- 1) Darebbe, a tutto il personale sanitario, degli strumenti di misura più oggettivi per giudicare l'efficacia dei risultati ottenuti con i diversi interventi.
- 2) Darebbe inoltre una maggiore competenza nel prevedere la situazione futura del livello di funzionalità della mano in base al tipo di lesione, permettendo così di dare ai pazienti ed ai rispettivi caregiver maggiori e più accurate informazioni sull'evoluzione attesa della mano.
- 3) Potrebbe inoltre facilitare il superamento di certe posizioni assolutiste che finiscono con il forzare troppo spesso scelte non sempre ottimali per il paziente (rifiuto a priori della chirurgia o, viceversa, spinta acritica alla scelta chirurgica; proposta di protocolli rigidi di ortesizzazione e/o di mobilizzazione che non risultano sempre funzionali; ecc.).

Uno studio retrospettivo (Hand function of C6 and C7 tetraplegics 1- 16 years following injury - Spinal Cord 2001 – 39, 37-43) si propone di quantificare la funzionalità della mano su un'ampia coorte di soggetti, dove si vuole quantificare la funzionalità della presa di pinza laterale e la presa palmare, e valutare l'abilità nell'eseguire le varie ADL.

Secondo i criteri di selezione (in un periodo che comprende da 1 a 16 anni dalla lesione dal 1984 al 1999, e con soggetti reclutati dopo un periodo di tre mesi dalla lesione) si sono identificati 65 pazienti (107 mani), dei quali 45 (81 mani) hanno accettato di partecipare allo studio, e 7 (9 mani) sono deceduti durante lo studio.

La valutazione unilaterale della mano si è ottenuta utilizzando il Grasp and Release Test e 10 punti dell'Activities of Daily Living Test. Nella valutazione sono stati determinanti la prevalenza e la severità delle contratture, la forza nella presa laterale ed infine l'estensibilità dei flessori estrinseci delle dita (nel test delle ADL sono stati completati mediamente 9 consegne su 10, mentre nel GRT test sono stati mediamente manipolati 3 oggetti su 6).

I risultati ottenuti da questo studio, indicano che i soggetti hanno ottenuto elevati livelli di funzionalità della mano senza interventi chirurgici, nonostante la paralisi così estesa.

Inoltre molti dei soggetti hanno creato nuove strategie (esempio soggetti che non riescono a sollevare un libro con la presa di pinza, lo sollevano fra il secondo e terzo dito).

I soggetti con paralisi dei flessori delle dita o del pollice sono generalmente inefficaci nella manipolazione con la presa di pinza (75% dei soggetti nello studio), lo stesso dicasi per la presa palmare (manipolazione di una bottiglia d'acqua da 0,5L), hanno minori difficoltà maneggiando oggetti di peso ridotto.

I pochi soggetti in grado di avere una presa di pinza efficace sono quelli in grado di elicitare una spasticità utile sui flessori delle dita e/o del pollice.

Conclusioni: nel lungo periodo la maggior parte di questi soggetti raggiunge un elevato livello di funzionalità della mano malgrado una presa laterale scarsa (studio).

Ad oggi ci sono solo piccoli consensi sulla gestione della mano nel tetraplegico. Mentre la chirurgia è largamente difesa, i suoi benefici non sono stati verificati con studi clinici randomizzati. Similmente anche lo splinting e la terapia manuale sono stati sottoposti ad una valutazione rigorosa. Ciò è in parte dovuto alle difficoltà associate all'effettuare studi di elevata qualità in quest'area.

I risultati del presente studio forniscono delle informazioni per le linee guida.

Queste informazioni possono venire utilizzate per valutare l'efficacia dei singoli interventi. In più questi dati possono essere utilizzati per monitorare gli outcome e misurare oggettivamente l'efficacia di differenti interventi basati giorno dopo giorno.

## **VALUTAZIONE DEI RISULTATI DEI DIVERSI TRATTAMENTI DELLA MANO DELLA PERSONA TETRAPLEGICA**

Non ci risulta che esistano in letteratura molti studi che mettano a confronto i risultati a distanza delle diverse modalità di trattamento (conservativo e chirurgico) della mano della persona tetraplegica e che includano nella valutazione sia la capacità e l'efficienza della presa, sia l'utilizzo della presa nelle attività della vita quotidiana, sia la soddisfazione del paziente. Un tale studio potrebbe meglio indirizzare l'équipe riabilitativa e il paziente sulle scelte terapeutiche più adatte per il singolo caso, tenendo conto anche dei rapporti costi efficacia e costi utilità\_ relativi a ciascuna scelta. Potrebbe inoltre facilitare il superamento di certe posizioni assolutiste che finiscono con il forzare troppo spesso scelte non sempre ottimali per il paziente (rifiuto a priori della chirurgia o, viceversa, spinta acritica alla scelta chirurgica; proposta di protocolli rigidi di ortesizzazione e/o di mobilizzazione che non risultano sempre funzionali; ecc.).

Di seguito riportiamo alcuni spunti tratti dalla letteratura che potrebbero aiutare a costruire delle linee guida per lo studio della funzione della mano, per l'indicazione terapeutica e per la valutazione dei risultati dei diversi trattamenti utilizzati per la costruzione di una mano funzionale.

**1) Harvey et al (2001)** analizzano i seguenti parametri.

**Mobilità articolare del polso, delle metacarpo falangee e delle interfalangee** (la mobilità MF e IF è stata misurata a polso esteso per la flessione e a polso flesso per la estensione al fine di evitare stiramenti eccessivi degli estensori e dei flessori delle dita). In base al grado di mobilità consentita, i pazienti vengono suddivisi in quattro categorie: a) pazienti con completa mobilità; b) pazienti con lieve riduzione della mobilità (riduzione < 15° della mobilità di polso e/o MF e/o IF); c) pazienti con moderata riduzione della mobilità (riduzione tra 15° e 45° della mobilità di polso e/o MF e/o IF); d) pazienti con grave riduzione della mobilità (riduzione > 45° della mobilità di polso e/o MF e/o IF).

**Forza della presa palmare e laterale:** misurazione mediante dinamometro della forza espressa dai flessori delle dita e del pollice ed esame della capacità di tenere oggetti cilindrici di diverso peso e dimensioni (12 oggetti cilindrici, con diametro di 2,5, 5 e 7,5 cm. e peso di 0,1, 0,5, 1 e 2 Kg.). Il punteggio assegnato va da 0 a 12 in base al numero di oggetti presi e tenuti sollevati per almeno 10 sec.

**Valutazione della stiffness** (passiva e/o attiva) dei flessori estrinseci delle dita (muscoli poliarticolari) attraverso una cauta estensione passiva delle dita a polso esteso.

**Efficacia della presa palmare e della presa a pinza laterale** (grasp and release test). Viene valutata la capacità di prendere, tenere, spostare e rilasciare 6 oggetti di diverso peso e dimensioni utilizzando la presa palmare e la presa laterale. Gli oggetti scelti sono quelli con cui abitualmente i pazienti hanno a che fare nella vita quotidiana (bicchiere, libro, videocassetta per la presa a palmo; forchetta, foglio di carta, penna per la presa laterale). I punteggi assegnati dipendono dal numero di oggetti che il paziente riesce a prendere, spostare e rilasciare, e dal numero di volte che riesce a compiere questa operazione in 30 secondi.

**Capacità di utilizzare la mano in qualsiasi modo** (ma senza l'utilizzo di ausili) per assolvere a un compito funzionale (ADL test). Vengono assegnati 10 diversi compiti funzionali : utilizzare una forchetta, applicare il dentifricio sullo spazzolino, rispondere al telefono, scrivere con una penna, sollevare un bicchiere e portarlo alla bocca, prendere un biscotto e portarlo alla bocca, prendere lo spazzolino da denti, prendere un floppy disc, prendere un libro.

I lavori di questi Autori si riferiscono soprattutto a pazienti trattati in modo conservativo.

**2) Zancolli (1986)** propone la valutazione pre e post operatoria dei seguenti parametri:  
Forza muscolare di ciascun arto superiore e dei muscoli residui della mano

Tono

Sensibilità

Schema di prensione e sua efficacia

Strategie utilizzate per lo svolgimento delle attività della vita quotidiana e loro efficacia

3) **Lo, Turner et al.** (1998) utilizzano una valutazione multidimensionale, soggettiva e oggettiva dei risultati del trattamento chirurgico. La valutazione soggettiva si basa sulla compilazione di un questionario da parte del paziente, dopo intervento chirurgico, comprendente 36 domande riguardanti il livello di indipendenza e di efficacia raggiunto con l'intervento. La valutazione oggettiva si basa sullo studio della forza della presa laterale e palmare, effettuata con dinamometro, e sullo studio dell'abilità raggiunta dal paziente nell'esecuzione di una serie di attività codificate ( il Carrol upper extremity functional test consiste nella richiesta di esecuzione di 33 compiti, quali il posizionamento di oggetti su una mensola, il portare la mano sulla testa, alla bocca, nello scrivere il proprio nome, nel prendere un bicchiere, ecc.). (Carrol, 1965).

4) Un test valutativo ancora largamente utilizzato è il **Sollerman test**.

Utilizzato su larga scala, specie nei paesi scandinavi, consiste nello studio della capacità effettuare una serie di attività codificate che richiedono l'utilizzo di strumenti manuali (utilizzo di posate, di cacciavite, ecc.)

5) Altre scale di valutazione utilizzate sono le **scale di indipendenza funzionale (FIMM; Barthel, VFM)**: Queste scale permettono di quantizzare lo stato funzionale generale del paziente, ma non sono specifiche per la mano per cui, da sole, non sono in grado di fornirci indicazioni significative sulla funzionalità di questa.

6) Presso l'**Unità Spinale dell'Ospedale di Sondalo**, abbiamo da qualche tempo introdotto una metodologia di studio e di valutazione della mano del tetraplegico che tiene in considerazione sia i dati oggettivi, sia il parere del paziente. Pensiamo che un tale studio, effettuato su tutti i pazienti tetraplegici, sia quelli trattati conservativamente che quelli trattati chirurgicamente, possa essere di aiuto nel guidare équipe riabilitativa e pazienti alle scelte più razionali per il raggiungimento di una mano funzionale.

**Per la valutazione oggettiva della mano**, i cui risultati vengono registrati e confrontati a distanza di tempo (all'inizio del percorso riabilitativo, durante il trattamento, alla dimissione, prima e dopo l'eventuale intervento chirurgico), utilizziamo il protocollo descritto per la valutazione dei risultati ottenuti con la stimolazione elettrica funzionale (vedi cap. 3) e, talora, il protocollo proposto da Harvey (vedi pagine precedenti), con l'aggiunta dei dati derivanti dall'osservazione dell'atteggiamento spontaneo della mano, dall'esame della sensibilità e della indipendenza funzionale (scala FIMM e VFM, con segnalazione dell'utilizzo eventuale di ausili e/o movimenti trucco). In tutti i casi la funzione della mano viene documentata con filmati.

Per quanto riguarda il parere del paziente, di seguito illustriamo il questionario che proponiamo ai soggetti che sono stati sottoposti a procedure chirurgiche, a distanza di almeno sei mesi dall'intervento (vedi pagina seguente).

## **Cap. 5 VALUTAZIONE DEI RISULTATI DEI DIVERSI TRATTAMENTI DELLA MANO DELLA PERSONA CON TETRAPLEGIA MEDIA**

Non ci risulta che esistano in letteratura molti studi che mettano a confronto i risultati a distanza delle diverse modalità di trattamento (conservativo, FES, chirurgico) della mano della persona con tetraplegia media e che includano nella valutazione sia la capacità e l'efficienza della presa, sia l'utilizzo della presa nelle attività della vita quotidiana, sia la soddisfazione del paziente. Un tale studio potrebbe meglio indirizzare l'équipe riabilitativa e il paziente sulle scelte terapeutiche più adatte per il singolo caso, tenendo conto anche dei rapporti costi efficacia e costi utilità\_ relativi a ciascuna scelta. Potrebbe inoltre facilitare il superamento di certe posizioni assolutiste che finiscono con il forzare troppo spesso scelte non sempre ottimali per il paziente (rifiuto a priori della chirurgia o, viceversa, spinta acritica alla scelta chirurgica; proposta di protocolli rigidi di ortesizzazione e/o di mobilizzazione che non risultano sempre funzionali; ecc.).

Di seguito riportiamo i dati raccolti presso l'Unità Spinale dell'Ospedale di Sondalo sui risultati raggiunti con i diversi tipi di trattamento della mano nei soggetti con tetraplegia media, confrontando gli stessi con i dati della letteratura.

#### 1) TRATTAMENTO CONSERVATIVO

E' stato effettuato uno studio retrospettivo della funzionalità della mano su 21 soggetti (42 mani) con tetraplegia media completa (ASIA A) ad almeno un anno di distanza dalla lesione midollare (media 2,6 anni). Sono stati esclusi dallo studio i soggetti che presentavano rigidità articolari importanti conseguenti a fenomeni fibrotici mioarticolari. Le modalità di valutazione utilizzate sono quelle presentate nelle pagine precedenti (esame articolare, esame muscolare, test funzionali).

In base al gruppo di appartenenza (classificazione di Giens), i soggetti sono stati così ripartiti:

G4: 12 soggetti

G5: 5 soggetti

G3: 4 soggetti

**In cinque soggetti** (3 soggetti G4, 2 soggetti G3) era presente una mano piatta, con paralisi flaccida di tutti i muscoli della mano, come da lesione plurisegmentale comprendente i livelli C8-T1. In questi soggetti è risultato impossibile effettuare sia la presa laterale che quella palmare sfruttando l'effetto tendesi. La tenuta di oggetti per le principali AVQ era possibile solamente con particolari ausili personalizzati, o con l'utilizzo di particolari strategie intrinseche compensatorie (presa intrecciata, ecc.) .

**In tre soggetti** (2 soggetti G4, 1 soggetto G5) era presente una marcata spasticità dei flessori delle dita e del pollice, tale da impedire l'apertura della mano. Questa era resa possibile con l'aiuto dell'altra mano, o con un aiuto esterno. Una volta afferrato l'oggetto, questo veniva tenuto saldamente, con successiva impossibilità di rilascio. La spasticità marcata, in questi casi, se da un lato costituiva un ostacolo, dall'altro consentiva però una salda tenuta e una buona autonomia in attività come il mangiare e il compiere una serie di AVQ (radersi, ecc.).

In cinque soggetti (2 soggetti G4, 2 soggetti G3, 1 soggetto G5) la mancata sincronizzazione dei movimenti del pollice e delle dita, pur in presenza di una rigidità ottimale dei muscoli flessori, impediva una presa efficace per effetto tendesi. Tutti avevano comunque messo in atto delle strategie motorie tali da consentire comunque di portare a termine la maggior parte dei test proposti.

In 8 soggetti (5 soggetti G4, 3 soggetti G5), la presenza di una rigidità “ottimale” (spasticità utile) dei muscoli flessori del pollice e delle dita permetteva, attraverso lo sfruttamento dell’effetto tendesi, una presa efficace, sia a pinza laterale che palmare, di oggetti di diverse dimensioni. Nelle attività della vita quotidiana questi soggetti avevano raggiunto una completa autosufficienza tanto da consentire loro di vivere da soli.

Lo studio effettuato [Harvey] si proponeva inoltre di studiare le correlazioni tra risultati ottenuti in termini di efficacia della presa e trattamento effettuato (splint, FKT, Elettroterapia). Sorprendentemente(nello studio Hand F.), non è stata riscontrata alcuna correlazione significativa: contrariamente a quanto si ritiene, abbiamo riscontrato una funzionalità ottimale della mano in soggetti che non avevano ricevuto specifici trattamenti (splint, in particolare, nella fase immediatamente successiva alla lesione), e, per contro, una scarsa funzionalità in alcuni soggetti che erano stati trattati per due mesi consecutivi con splint di posizionamento delle mani in posizione funzionale; alcuni di questi presentavano una chiusura propotente del pugno (spasticità eccessiva), altri una mano flaccida (lesione plurisegmentale). Questo ci ha portato a rivedere criticamente certi protocolli rigidi che impongono l’immobilizzazione continuativa della mano per due mesi in “posizione di presa”.

## 2) TRATTAMENTO CHIRURGICO

Su 10 pazienti (13 mani) sono stati effettuati uno o più dei seguenti interventi in una o più sedute: trasposizione del brachioradiale sul flessore lungo del pollice, trasposizione dell’estensore radiale lungo del carpo sul flessore lungo delle dita, tenodesi degli estensori del pollice e delle dita al radio, artrodesi o capsulodesi per stabilizzare la colonna del pollice, “lazo” a livello delle ultime quattro dita.. Sebbene la forza di flessione del pollice e delle dita ottenuta dopo trasposizione sia stata decisamente buona e sebbene, per lo più, questi interventi abbiano portato a un miglioramento funzionale, vi sono stati talora alcuni inconvenienti che hanno vanificato in parte lo sforzo chirurgico o hanno richiesto il ricorso ad ulteriore chirurgia: dopo trasposizione dell’estensore radiale del carpo pro flessore lungo delle dita sono residue in tre casi deformità in flessione delle ultime due falangi e in estensione delle prime falangi<sup>11</sup>, corrette in parte con un secondo intervento consistente nella trasposizione “a lazo” dei tendini del flessore breve delle dita. Dopo quest’ultimo intervento, in un paziente è residua una deformità a collo di cigno delle dita. In due pazienti, il tentativo di ristrutturazione della presa a pinza laterale mediante il solo intervento sul pollice non ha dato esito positivo: nel tentativo di presa, la

---

<sup>11</sup> Generalmente, quando a un solo tendine è affidato il controllo di più articolazioni in serie (MF e IF, ad esempio), si producono delle deformità a zig zag per incapacità dello stesso tendine di controllare i gradi di libertà di tutti gli anelli della catena .

insufficiente flessione del secondo dito determinava lo “scivolamento” del pollice al di sotto di quest’ultimo impedendone il contatto. In tre pazienti, la forza della pinza laterale e della presa a palmo, ottima a gomito esteso, si riduceva gradualmente sino ad annullarsi a gomito flesso a causa della mancata stabilizzazione del gomito da parte degli estensori deficitari.

Dal questionario proposto ai pazienti dopo l’ intervento (vedi appendice) è emersa una discreta generale soddisfazione, pur prevalendo una certa perplessità da parte di alcuni (30%) per i guadagni funzionali modesti in rapporto ai costi in termini di tempo e sofferenza fisica. Per un certo numero di pazienti (25%), ai i quali è stata prospettata la possibilità di ulteriori interventi migliorativi della funzionalità della mano, la capacità di prensione comunque raggiunta mediante l’utilizzo di compensi spontanei o di ausili è stata giudicata soddisfacente e tale da rinunciare a ulteriori interventi.

**In base ai risultati ottenuti, e in accordo con la letteratura, possiamo concludere che i soggetti con tetraplegia media (livello C6-C7; gruppo 3-4-5) migliorano spesso in misura anche rilevante le proprie performances e la propria autosufficienza con la chirurgia funzionale. Anche in questi casi, tuttavia, è necessaria una valutazione preliminare estremamente accurata che tenga in considerazione i diversi fattori citati in precedenza.**

Per concludere, citando la frase di Vidal “la chirurgia funzionale è un atto riabilitativo in anestesia”, a sottolineare l’importanza della transdisciplinarietà anche in un settore così specialistico quale è la chirurgia funzionale del tetraplegico, riassumo alcuni principi generali che penso siano condivisi da tutti coloro che di tetraplegia si occupano da tempo:

- L’intervento chirurgico non va effettuato prima che il paziente abbia raggiunto il massimo recupero neurologico spontaneo (in genere non prima dell’anno dall’insorgenza della lesione midollare)
- L’intervento non va effettuato senza avere prima intrapreso un trattamento conservativo teso a promuovere lo sviluppo di una mano funzionale spontanea (FKT, splints)
- L’intervento va proposto illustrandone chiaramente significato e limiti, risultati funzionali attesi, tempi di recupero
- La scelta non deve essere forzata; il paziente deve essere psicologicamente stabilizzato e fortemente motivato
- Di fronte ai risultati non sensazionali di questa chirurgia, la regola d’oro deve essere quella di non provocare perdite di abilità già acquisite
- E’ opportuno che il programma chirurgico sia il più semplificato possibile. Un programma troppo complesso e lungo potrebbe demotivare il paziente e indurlo alla rinuncia o alla interruzione del programma stesso a metà (un programma completo di chirurgia funzionale esteso alle due mani richiede sempre almeno quattro interventi in tempi diversi!)
- La scelta chirurgica va effettuata dopo un bilancio accurato di entrambi gli arti superiori (esame analitico articolare, muscolare e della sensibilità; esame dei gesti della vita quotidiana), dell’equilibrio del tronco e dello stato generale del paziente.
- La presenza di dolori e di gravi turbe della sensibilità delle mani deve costituire spesso una controindicazione all’intervento chirurgico, così come la presenza di gravi deformità statiche e dinamiche delle mani e dei distretti prossimali degli arti superiori

(il controllo della spalla è necessario per l'orientamento della mano nello spazio, il controllo del gomito per la regolazione delle distanze -flesso estensione- e per l'orientamento -prono supinazione). La correzione di queste deformità, se correggibili, è conditio sine qua non per poter programmare la ricostruzione della funzione della mano.

- Nel presentare il piano chirurgico, è doveroso illustrare, oltre ai benefici e ai limiti dell'intervento, le possibili complicanze, anche se queste sono abbastanza rare. Tra le principali complicanze ricordiamo: aderenze cicatriziali che limitano lo scorrimento tendineo; allentamenti delle tenodesi; disturbi della sensibilità (parestesie, dolori, disestesie); tendiniti da sovraccarico dei muscoli trasferiti: instabilità articolari o deformità tali da richiedere interventi successivi di correzione (eccessiva flessione della interfalangea del pollice dopo trasposizione del brachioradiale sul FLP; deformità in griffe delle dita secondaria a trasferimento dell'ERLC sui flessori delle dita; deformità a collo di cigno dopo intervento di trasposizione a "lazo" dei tendini del flessore breve delle dita.; mancanza di sincronia tra flessione del pollice e dell'indice durante il tentativo di presa a pinza laterale, con mancata presa di contatto tra le due dita dopo trasposizione del brachioradiale pro flessore lungo del pollice; dopo trasposizione del brachioradiale, perdita graduale dell'effetto meccanico del trasferimento stesso (efficacia della presa) con l'aumentare della flessione del gomito per insufficienza attiva muscolare (la forza muscolare diminuisce con l'accorciamento del muscolo) e, in caso di insufficienza del tricipite, per deficit di fissazione del gomito.

### 3) FES

La valutazione dei risultati del trattamento con FES si riferisce al solo trattamento con il dispositivo in fase di sperimentazione messo a punto dall'ing Thorsen presso il Centro di bioingegneria dell'Istituto Don Gnocchi di Milano.

Sono stati reclutati per la sperimentazione 10 pazienti con tetraplegia che rispondevano ai seguenti requisiti:

- Presenza di estensione attiva volontaria del polso (gruppi 2, 3 e 4 secondo la classificazione internazionale di Giens)
- Normale risposta dei flessori delle dita alla stimolazione elettrica degli stessi con treni di impulsi alla frequenza di 60 al secondo
- Assenza di retrazioni e/o deformità statiche o dinamiche importanti a livello degli arti superiori.

**RISULTATI.** In 7 dei pazienti testati, nonostante un'accurata ricerca dei punti motori, non si è riusciti a ottenere una risposta selettiva a livello del pollice e delle dita in grado di consentire una presa funzionale; in alcuni (3) era presente una risposta esagerata e parassita dei flessori del polso; in altri (2) una mancata sincronizzazione tra flessione adduzione del pollice e flessione delle altre dita; in altri (2) una eccessiva flessione delle falangi terminali senza contemporanea flessione delle altre. Tre pazienti hanno invece sortito un risultato decisamente positivo sia per la presa a pinza laterale che per la presa palmare, riuscendo a modulare la forza della presa stessa attraverso la regolazione della for

za di estensione del polso. Le figure sotto riportate illustrano i risultati ottenuti con il dispositivo descritto sulla presa di oggetti di diverse dimensioni. Il confronto tra la presa degli stessi oggetti ottenuta con e senza il MAC FES sta a testimoniare l'efficacia di quest'ultimo dispositivo.

I risultati ottenuti con il dispositivo descritto, pur ricavati da uno studio su un numero limitato di soggetti, sembrano essere incoraggianti. Rispetto alle tecniche sino ad oggi utilizzate per ottenere una presa funzionale nei soggetti tetraplegici, il MAC FES ha il vantaggio del minor costo, della non invasività (la chirurgia può lasciare a volte effetti indesiderati quali dolori e deformità dinamiche, e i suoi effetti sono per lo più irreversibili, l'hand master è piuttosto ingombrante e produce risposte on-off scarsamente modulabili), e, soprattutto, rende possibile la modulabilità della forza della presa da parte del soggetto. Resta il problema della selettività del reclutamento muscolare che, come abbiamo visto, non si è potuta ottenere in 7 dei 10 pazienti esaminati (70%).

La risposta positiva nel 30% dei casi esaminati apre comunque prospettive interessanti per un utilizzo funzionale della mano dei soggetti tetraplegici.

## **CONCLUSIONI E DISCUSSIONE**

Ad oggi ci sono solo piccoli consensi sulla gestione della mano nel tetraplegico. Mentre la chirurgia è largamente difesa, i suoi benefici non sono stati verificati con studi clinici randomizzati. Similmente anche lo splinting e la terapia manuale sono stati sottoposti ad una valutazione rigorosa. Ciò è in parte dovuto alle difficoltà associate all'effettuare studi di elevata qualità in quest'area.

I risultati del presente studio forniscono delle informazioni per le linee guida.

Queste informazioni possono venire utilizzate per valutare l'efficacia dei singoli interventi. In più questi dati possono essere utilizzati per monitorare gli outcome e misurare oggettivamente l'efficacia di differenti interventi basati giorno dopo giorno.

## **Appendice**

### **STRUMENTI PER LA VALUTAZIONE DELLA MENOMAZIONE NEI SOGGETTI CON LESIONE DEL MIDOLLO SPINALE: ASIA IMPAIRMENT SCALE**

Per rispondere alle esigenze dei clinici di avere uno strumento di valutazione comune accettato dalla Comunità Scientifica Internazionale, l'American Spinal Injury Association (ASIA) ha sollecitato la costituzione di una commissione di esperti che, nel 1992, ha presentato una proposta di classificazione delle mielolesioni (classificazione ASIA) oggi utilizzata dalla maggior parte delle Unità Spinali.

Elementi caratterizzanti della classificazione ASIA sono:

1. Il livello neurologico
2. Il tipo di lesione (completo - incompleto).

**1) Livello neurologico:** è il segmento più caudale del midollo spinale con normali funzioni sensitive e motorie, da entrambi i lati del corpo.

Poiché spesso il livello differisce tra sensitivo e motorio e tra destra e sinistra, si rende necessario individuare sia il livello sensitivo che quello motorio.

- **Livello sensitivo:** è il segmento più caudale del midollo spinale con normale funzione sensitiva, da entrambi i lati del corpo.
- **Livello motorio:** è il segmento più caudale del midollo spinale con normale funzione motoria, da entrambi i lati del corpo, la funzione motoria relativa al segmento S4-S5, viene esaminata testando lo sfintere anale esterno (esplorazione anale, si richiede al paziente la contrazione volontaria dello sfintere). La normalità è stata stabilita per convenzione come quella di un muscolo chiave con forza 3, qualora il livello soprastante abbia forza 5.

**Per individuare il livello sensitivo** si testa un punto chiave per ognuno dei 28 dermatomi, sia per il lato destro che per il lato sinistro. Devono essere valutate la sensibilità tattile (sfioramento con del cotone) e dolorifica (puntura di spillo) utilizzando una scala a punti (0 = sensibilità assente; 1 = sensibilità alterata o ridotta; 2 = sensibilità normale). I punti chiave sono quelli indicati nella scheda (vedi appendice). Il punteggio nel soggetto normale è 56 per lato per ognuna delle due modalità di valutazione.

**Per individuare il livello motorio** si testano alcuni muscoli chiave indicati nella scheda (5 per l'arto superiore e 5 per l'arto inferiore, sia per il lato destro che per il lato sinistro) che rappresentano diversi livelli di innervazione e sono facilmente valutabili in posizione supina. Ai muscoli testati viene assegnato un punteggio da 0 a 5 secondo la scala di valutazione della forza muscolare accettato in ambito internazionale:

0 = paralisi totale;

1 = movimento completo per tutta l'escursione articolare, in assenza di gravità;

2 = movimento completo contro gravità per tutta l'escursione articolare ;

4 = movimento completo contro gravità + resistenza moderata, per tutta l'escursione articolare;

5 = movimento completo contro gravità + resistenza elevata, per tutta l'escursione articolare.

## **2) Tipo di lesione**

- **Lesione incompleta.** E' la lesione in cui si evidenzia una parziale conservazione della funzione sensitiva e/o motoria al di sotto del livello neurologico e che include i metameri sacrali più caudali (S4-S5)
- **Lesione completa.** E' la lesione in cui si rileva l'assenza completa delle funzioni sensitiva e motoria nei distretti dipendenti dal midollo sottilesionale, compresi quelli dipendenti dai segmenti sacrali più caudali (S4 -S5).

Sulla base delle valutazioni sopra descritte è stata proposta, e validata, **la scala ASIA per la menomazione**:

**A: Lesione completa**, assenza di funzione sensitiva e motoria nei distretti dipendenti dal midollo sottilesionale, compresi quelli dipendenti dai segmenti sacrali più caudali (S4-S5).

**B: Lesione incompleta**, conservazione della funzione sensitiva, ma non di quella motoria, al di sotto del livello neurologico, incluso il livello S4-S5.

**C: Lesione incompleta**, conservazione della funzione motoria, al di sotto del livello neurologico, con grading di forza di più della metà dei muscoli inferiore a 3.

**D: Lesione incompleta**, conservazione della funzione motoria, al di sotto del livello neurologico, con grading di forza di almeno metà dei muscoli chiave non inferiore a 3.

**E: Normale**, normali funzioni sensitiva e motoria.

## **Appendice 2**

QUESTIONARIO di soddisfazione dopo chirurgia

1. Nome
2. Indirizzo
3. Numero di telefono
4. Professione

|             |                               |
|-------------|-------------------------------|
| Occupazione | Prima della lesione midollare |
|             | Dopo la lesione               |

6. Causa della lesione midollare

Qual è la tua mano dominante?

|                     |          |            |              |
|---------------------|----------|------------|--------------|
| Prima della lesione | I Destra | I Sinistra | I Ambidestro |
| Dopo la lesione     | I Destra | I Sinistra | I Ambidestro |

Dopo la chirurgia, è aumentato il tuo grado di autosufficienza?

I Sì I No

Se sì, di quanto?

Tempo di aiuto richiesto ad altre persone prima della chirurgia

Tempo di aiuto richiesto ad altre persone dopo chirurgia

Se no, perché?

A seguito dell'intervento, è aumentata la tua capacità di "locomozione" autonoma?

I Sì I No

Se sì, con quale mezzo? (segnare con una crocetta)

|                        |                                    |
|------------------------|------------------------------------|
| I Carrozzina elettrica | I Carrozzina ad autospinta manuale |
| I Automobile           | I Furgone                          |

Se no, perché?

Quanto sei soddisfatto dei risultati dell'intervento chirurgico?

## QUESTIONARIO FUNZIONALE

44

Farsi la doccia

**Mangiare**

Tagliare le carne

Aprire un container

Versare una bevanda

Usare le posate

**Vestirsi**

Parte superiore

Parte inferiore

Allacciarsi (cintura-bottoni, ecc.)

**Comunicazione**

Utilizzare il telefono

Scrivere

Battere a macchina

**Faccende domestiche**

Preparare i pasti

Fare il letto

Lavare i piatti

**Trasferimenti**

Automobile

Letto

Doccia

WC

**Utilizzo della carrozzina**

Manovra-spinta

**Miscellanea**

Manipolare piccoli oggetti

Aprire le porte

Aprire la posta

**Lavoro**

Opportunità di lavoro

**Attività ricreative**

**PUNTEGGIO TOTALE**

**Istruzioni per la compilazione del questionario funzionale**

Il questionario comprende aree di attività della vita quotidiana più comuni.

Questo questionario è una misura "soggettiva" del livello funzionale raggiunto nelle diverse attività elencate.

Per ogni attività è possibile scegliere la risposta tra 5 possibili. Fai riferimento alle definizioni seguenti per fornire la tua risposta.

*Molto meglio:* Miglioramento significativo del livello di indipendenza e di performance

funzionale della mano (velocità, destrezza, efficienza)

*Meglio:* Discreto miglioramento del livello di indipendenza e di performance funzionale

della mano (efficienza)

*Invariato*

*Peggio:* Peggioramento del livello di indipendenza e di performance funzionale della

mano (efficienza)

*Molto peggio:* Peggioramento significativo del livello di indipendenza e di performance

funzionale della mano (velocità, destrezza, efficienza)

## BIBLIOGRAFIA

- 1) Allieu Y, Coulet B, Chammas M: *Functional Surgery of the upper limb in high-level tetraplegia: Part I. Techniques in Hand and Upper Extremity Surgery* 4 (1) 50-63, 2000
  - 2) Allieu Y, Coulet B, Chammas M: *Functional Surgery of the upper limb in high-level tetraplegia: Part II. Techniques in Hand and Upper Extremity Surgery* 4 (1) 64-68, 2000
  - 3) Ejeskar A, Dahllof AG: *results of reconstructive surgery in the upper limb in tetraplegia. Paraplegia* 26 (3) 204-208, 1988
  - 4) Freehafer AA, KellyCM, Peckham PH: *Tendon transfer surgery for restoration of upper limb function following cervical spinal cord injury. J. Hand Surg.*A, 887-893, 19884
  - 5) House JH, Walsh TE: *Two stage reconstruction of the tetraplegic hand. In: master techniques in Orthopaedic Surgery, The Hand. Ed by Janes W. Strickland, Lippincott-Raven publ., Philadelphia, 1998*
  - 6) Moberg EA: *The present state of surgical rehabilitation for the upper limb in tetraplegia. Paraplegia*, 25: 351-356, 1987
  - 7) Keith MW et al: *Implantable functional neuromuscular stimulation in the tetraplegic hand. J Hand Surg* 1989; 14A: 524-530
  - 8) Keith MW et al: *Tendon transfers and functional electrical stimulation for restoration of hand function in spinal cord injury. J Hand Surg* 1996; 21A: 89-99
  - 9) Taylor P, Esnouf J, Hobby J: *The functional impact of the Frrehand System on tetraplegic hand function. Clinical Results. Spinal Cord* (2002)40, 560-566
- Allieu Y, Bénichou M, Ohanna F et al: *Chirurgie fonctionnelle du membre supérieur chez le tétraplégique. Revue de Chirurgie Orthopédique*, 79: 79-88, 1993.
- Brand PW, Hollister AM: *Clinical Mechanics of the hand. Mosby Ed, 1999*
- Carrol D: *A quantitative test of upper extremity function. J. Chron. Dis.* 18:479-491, 1965
- Ford J.R., Duckworth B.: *Phisical management for the quadriplegic patient. FA Davis Company. Philadelphia, Pensylvania, 1987*
- Freehafer AA, KellyCM, Peckham PH: *Tendon transfer surgery for restoration of upper limb function following cervical spinal cord injury. J. Hand Surg.*A, 887-893, 19884

Gass GC, Watson J, Camp EM et al: *Effects of physical training on high level spinal lesion patients. Scand. J. Rehabil. Med.*, 12: 61-65, 1980

Harvey LA, Batty J, Jones R, Crosbie J: *Hand function of C6 and C7 tetraplegics 1-16 years following injury. Spinal Cord*, 39: 37-43, 2001

Hentz VR, House JH, McDowell C, Moberg E: *Rehabilitation of surgical reconstruction of the upper limb in tetraplegia: an update. J. Hand Surg.* 17A: 964-73, 1992

House JH, Walsh TE: *Two stage reconstruction of the tetraplegic hand. In: master techniques in Orthopaedic Surgery, The Hand. Ed by Janes W. Strickland, Lippincott-Raven publ., Philadelphia, 1998*

Krajinik SR, Bridle MJ: *Hand splinting in quadriplegia: current practice. A. J. Occup. Ther.* 44: 499-504, 1992

*International Standard 9999: International Standard Organisation, Geneva, 1992).*

Lamb DW, Chan KM: *Surgical reconstruction of the upper limb in traumatic tetraplegia. A review of 41 patients. J. Bone Joint Surg.* 65B (3): 291, 1983

Lamb DW: *Upper limb reconstructive surgery. A Historical review. Atti della settima conferenza internazionale sulla tetraplegia: chirurgia e riabilitazione. Bologna giugno 2001*

Landi A, Caserta G, Basaglia N et al: *The role of arthrodesis in the tetraplegic upper limb. Atti della settima conferenza internazionale sulla tetraplegia: chirurgia e riabilitazione. Bologna giugno 2001*

Lo IK, Turner R, Connolly S et al: *The outcome of tendon transfer for C6 spared quadriplegics. J of Hand Surg.* 23B, 2: 156-161, 1998

Moberg EA: *Two point discrimination test. A valuable part of hand surgical rehabilitation in tetraplegia. Scand. J. Rehabil. Med.* 22:127, 1990

Moberg EA; McDowell CL, House Jh: *Third international conference on surgical rehabilitation of the upper limb in tetraplegia. J. Hand Surg*, 1989.

Moberg EA: *The present state of surgical rehabilitation for the upper limb in tetraplegia. Paraplegia*, 25: 351-356, 1987

Moberg EA: *Two point discrimination test. A valuable part of hand surgical rehabilitation in tetraplegia. Scand. J. Rehabil. Med.* 22:127, 1990

Radaelli T, Valsecchi L: *Terapia occupazionale. Solei press, 1996).*

*Radaelli T, Conti B, Cossignani F: Prevenzione delle complicanze. In: Di Benedetto P, Franceschini M, Lotta S: Riabilitazione dei traumi vertebro-midollari. Ed Minerva Medica, 1994*

*Radaelli T, Conti B, Cossignani F: Prevenzione delle complicanze. In: Di Benedetto P, Franceschini M, Lotta S: Riabilitazione dei traumi vertebro-midollari. Ed Minerva Medica, 1994*

*Sollerman C: Assessment of grip function evaluation of a new test method . Medical Innovation Technology (MITAB) Sweden, 1984*

*Vidal m.: L'Infirmier moteur cérébral spastique. Troubles moteurs et orthopédiques. Ed. Masson, Paris, 1982*

*Williams M., Lissner H.: Biomechanics of human motion. Edited by B. Le Veau, 2nd ed. Philadelphia, Saunders, 1977*

*Woo, S.L.Y.: Mechanical properties of tendons and ligaments. Biorheology 19:385, 1982*

*Zancolli E.A.: Chirurgia della mano. Piccin Ed. Padova, 1986*