



**Università degli Studi di Genova**  
Facoltà di Medicina e Chirurgia

***Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici***  
***Campus Universitario di Savona***

A. A. 2009/2010

*In collaborazione con Master of Science in Manual Therapy*  
*Vrije Universiteit Brussel*



*“Impiego dell’esame ecografico nello studio del comportamento  
dinamico del sistema nervoso periferico.  
Lo stato dell’arte.”*

**Relatore**  
Erica Monaldi

**Candidato**  
Giacomo Bolognesi

# INDICE

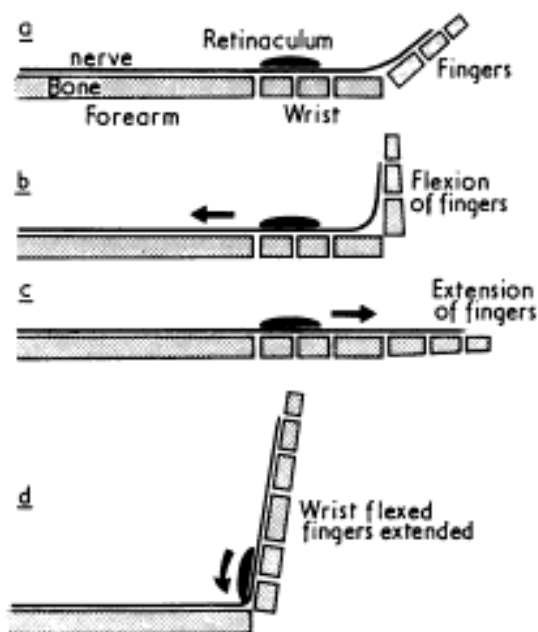
1.	<i>Introduzione</i>	<i>pag 3</i>
2.	<i>Obiettivo</i>	<i>pag 7</i>
3.	<i>Materiali e metodi</i>	<i>pag 8</i>
4.	<i>Risultati</i>	<i>pag 9</i>
	<i>4.1 Utilizzo diagnostico dell'ecografia precedente allo sviluppo della metodica di Frame by Frame Cross Correlation Analysis</i>	<i>pag 9</i>
	<i>4.1.1 Misurazione sezione trasversa nervo mediano</i>	
	<i>Swen et al. 2001</i>	<i>pag 9</i>
	<i>4.1.2 Misurazione sliding trasversale nervo mediano</i>	<i>pag 9</i>
	<i>4.1.2.1 Nakamichi e Tachibana 1995</i>	<i>pag 9</i>
	<i>4.1.2.2 Greening et. all. 2001</i>	<i>pag 12</i>
	<i>4.2 Utilizzo dell'ecografia in associazione al metodo di Frame by Frame Cross Correlation</i>	
	<i>4.2.1 Misurazione dello sliding longitudinale fisiologico</i>	<i>pag 12</i>
	<i>4.2.1.1 Sliding nervo sciatico</i>	
	<i>Ellis et al. 2008</i>	<i>pag 12</i>
	<i>4.2.1.2 Sliding nervo mediano</i>	<i>pag 14</i>
	<i>4.2.1.2.1 Dilley et. al. 2001</i>	<i>pag 14</i>
	<i>4.2.1.2.2 Coppieters et. al. 2009</i>	<i>pag 15</i>
	<i>4.2.1.2.3 Echigo et al. 2008</i>	<i>pag 17</i>
	<i>4.2.2 Utilizzo diagnostico dello sliding longitudinale</i>	<i>pag 18</i>
	<i>4.2.2.1 Erel et. al. 2003</i>	<i>pag 18</i>
	<i>4.2.2.2 Greening et. al. 2005</i>	<i>pag 20</i>
	<i>4.2.2.3 Dilley et. al. 2007</i>	<i>pag 21</i>
5.	<i>Discussione</i>	<i>pag 27</i>
6.	<i>Conclusioni</i>	<i>pag 29</i>
7.	<i>Bibliografia</i>	<i>pag 31</i>
8.	<i>Ringraziamenti</i>	

# 1. Introduzione

Con il termine Neurodinamica viene indicata la scienza che studia la relazione tra la meccanica e la fisiologia del sistema nervoso (1). Il SNP ha l'esigenza di assecondare i movimenti del corpo e le relative forze di tipo meccanico che da essi vengono provocate (2,3).

I nervi si trovano in relazione con ossa, muscoli, articolazioni, legamenti e tessuti di rivestimento. Tutto ciò che li circonda viene definito da Muller ("Physical Stress Theory" Mueller and Maluf, 2002) come interfaccia meccanica del nervo.

La relazione che troviamo tra il nervo e la sua relativa interfaccia meccanica fa sì che un accorciamento dell'interfaccia provochi una compressione del nervo, mentre all'allungamento della stessa corrisponda un'elongazione del tessuto nervoso (Fig 1) (4).



**Fig. 1** Viene illustrato lo spostamento del nervo mediano relativo al retinacolo dei flessori di polso. A partire dalla posizione neutra(a), a dita (b), estese (c) e a polso flessso con dita estese (d). McLellan; Swash 1976 (3).

In risposta allo stress meccanico determinato dai movimenti dei vari segmenti corporei, il SNP (Sistema Nervoso Periferico) mette in atto dei meccanismi adattativi di tipo neuromeccanico e neurofisiologico.

A livello neuromeccanico, a seconda delle varie tensioni che vengono trasmesse dall'interfaccia al nervo, il nervo stesso può essere messo in tensione, compresso o subire entrambe le sollecitazioni.

Lo sliding risulta essere lo scivolamento del nervo relativamente ai tessuti di interfaccia, esso avviene secondo un gradiente di tensione seguendo il principio di uguaglianza della tensione su tutto il nervo; il nervo quindi scivola dal tratto a minor tensione verso i tratti più vicini all' articolazione in movimento, punto di massima tensione (Fig. 2) (1, 6).

A seconda che la tensione risulti parallela o trasversale al nervo, lo sliding prodotto sarà rispettivamente longitudinale o trasversale (6).

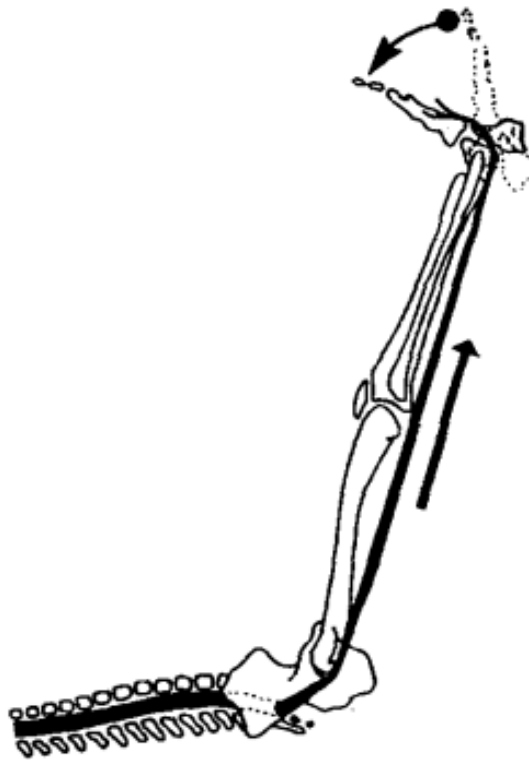
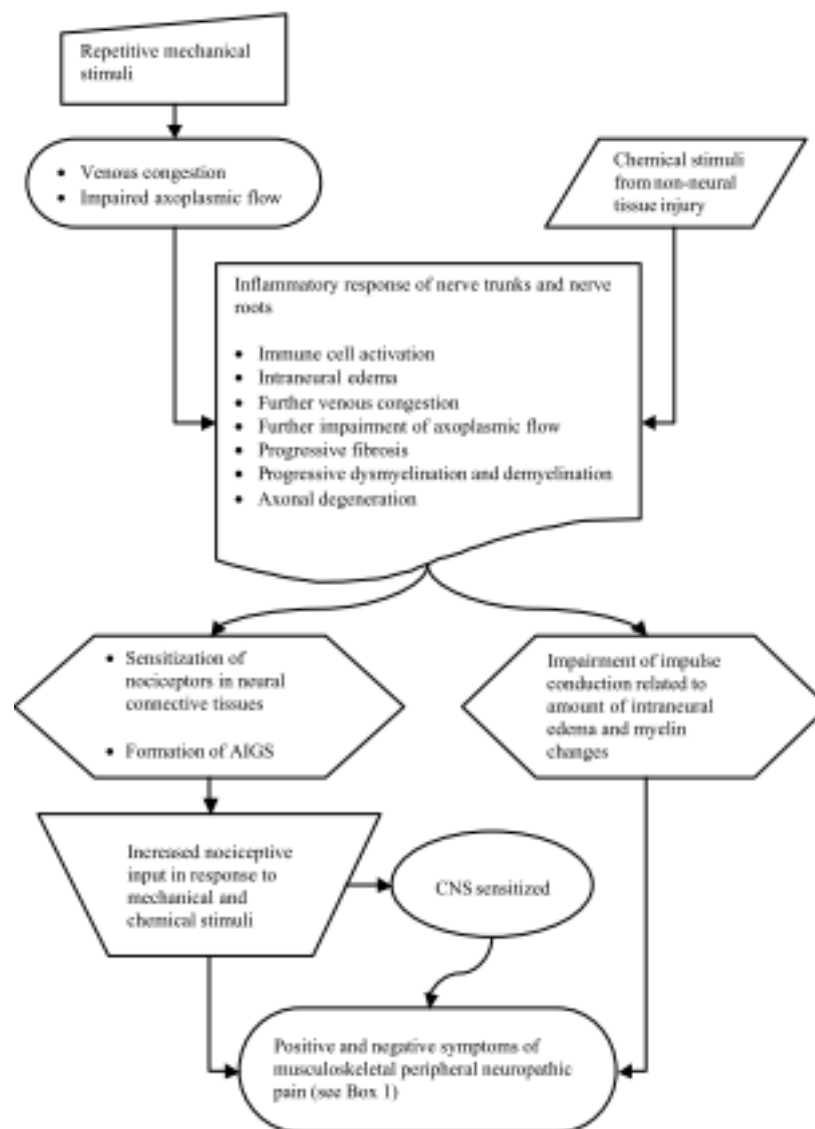


Fig. 2 La dorsiflessione di caviglia a gamba tesa e ginocchio esteso induce uno scivolamento distale del nervo. *Shacklock 1995 (1)*.

Il tessuto neurale è fatto in modo da tollerare le forze e le tensioni generate durante i movimenti, il mantenimento di posture nelle attività di vita quotidiana e negli sport (7),(8). Una costrizione dell'interfaccia meccanica provoca un'alterazione dei meccanismi di adattamento meccanico del nervo: questa condizione può provocare un'alterazione della fisiologia neurale.

Neurofisiologicamente, invece, le tensioni provocano modifiche: della microcircolazione intraneurale, della conduzione dell'impulso e del trasporto assonale (5). Un'alterazione dei meccanismi neurofisiologici di adattamento può portare a squilibri meccanici adattativi: in ogni caso si va incontro ad una condizione patologica del nervo (1).

Clinicamente le alterazioni del nervo possono essere provocate da: stimoli meccanici ripetuti che coinvolgono l'interfaccia (compressione, messa in tensione, frizionamento o forte vibrazione) o da alterazioni chimiche, generate dalle lesioni dei tessuti adiacenti al SNP (9) (Fig. 3).



**Fig. 3** Sintesi della patofisiologia associata allo sviluppo di dolore muscolo scheletrico neuropatico periferico. *Nee; Butler 2006 (9).*

Una volta sopraggiunta la condizione patologica stimoli meccanici di bassa intensità sono sufficienti a generare impulsi ectopici che provocano dolore neuropatico periferico (10, 11).

L'esame strumentale che più comunemente viene utilizzato nell'indagine del sistema muscolo scheletrico è la risonanza magnetica, nonostante ciò l'ecografia resta l'unico strumento diagnostico in grado di effettuare una valutazione dinamica dei tessuti corporei: essa permette di riprendere in tempo reale lo spostamento fisiologico e patologico di tendini, muscoli, articolazioni e nervi(12).

L'ecografia fu utilizzata per la prima volta come metodica di studio dinamico del SNP da Nakamichi et al. nel 1995. Egli rilevò come fosse possibile identificare, attraverso RM e US, una restrizione dello sliding trasversale del nervo mediano in pazienti affetti da sindrome del tunnel carpale (15).

Ecograficamente, la misurazione dello sliding trasversale, veniva eseguita misurando la distanza variabile, tra il bordo del nervo e le strutture limitrofe che rimanevano fisse durante l'esecuzione del movimento. La contiguità del nervo rendeva però impossibile misurare lo sliding longitudinale del nervo utilizzando le stesse metodiche di imaging (13).

Numerosi studi in letteratura, condotti su cadavere, studiano, valutano e misurano lo scivolamento longitudinale del nervo (Wright et al. 1996 (27); Kleinrensink 1995 (28); Kleinrensink et al. 2000 (29); Bay et al. 1997 (30)). La necessità di verificare la veridicità in vivo dei risultati ottenuti ha portato Hough a sviluppare una metodica di misurazione dello scivolamento del SNP mediante Eco-Doppler (16, 17). Questa metodica fu ben presto abbandonata a causa della difficoltà riscontrata dal Doppler nel rapportarsi con la velocità di scivolamento del nervo e l'impossibilità a studiare tratti di nervo che si trovano in stretta relazione con il sistema vascolare.

La successiva introduzione della metodica di Frame by Frame Cross Correlation, sviluppata in Matlab (MathWorks, Natick, MA, USA) da Dilley et al. nel 2001 (13), ha fornito la possibilità di misurare con elevata affidabilità lo spostamento longitudinale in vivo del SNP.

Lo studio e la misurazione vengono effettuati trasformando in file digitali i fotogrammi, più di 15 immagini al secondo, catturati dalla sonda ecografica;

successivamente vengono analizzati off line attraverso il software di Frame by Frame Cross Correlation. Il software effettua una correlazione incrociata confrontando le variazioni della scala di grigi tra i fotogrammi adiacenti delle sequenze di immagini, misurando lo spostamento pixel per pixel, all'interno di una o più selezioni predeterminate di superficie (14).

Il risultato finale è determinato dalle misurazioni degli shift dei pixel relativi al nervo, messe in relazione con le misurazioni dello shift dei pixel delle strutture adiacenti (13).

## **2. Obiettivo**

Obiettivo di questo elaborato è valutare lo stato dell'arte in letteratura in merito all'impiego dell'Ecografia Dinamica (e del metodo di Cross-correlation Analysis) sia come tecnica strumentale di studio dello sliding del nervo periferico che come possibile tecnica diagnostica di dolori aspecifici imputabili ad una alterata mobilità del nervo periferico.

### **3. Materiali e metodi**

Gli articoli utili alla revisione sono stati individuati attraverso una ricerca bibliografica nella banca dati di PubMed, (database di citazioni biomediche del US National Library of Medicine) utilizzando la seguente stringa di ricerca:

- 1) *cross correlation nerve ultrasound*
- 2) *ultrasound nerve sliding*
- 3) *ultrasonography nerve sliding*
- 4) *"diagnostic ultrasound" nerve*
- 5) *ultrasound imaging "nerve movement"*
- 6) *"nerve motion" ultrasonography*
- 7) *1 OR 2 OR 3 OR 4 OR 5 OR 6*

Sono stati inoltre selezionati articoli provenienti dalla bibliografia degli studi letti. La ricerca ha prodotto 81 risultati. Dalla lettura dei titoli sono stati selezionati 37 articoli, la cui valutazione degli abstracts ha permesso di individuare 21 articoli rilevanti. Da una lettura attenta degli studi solo 10 rispondevano agli obiettivi della revisione. Sono infatti stati inclusi gli studi che riportavano la misurazione dello sliding longitudinale fisiologico del nervo sciatico e del nervo mediano utilizzando la metodica di Frame by Frame Cross Correlation e l'utilizzo dell'ecografia come strumento diagnostico attraverso la misurazione della sezione trasversale, dello sliding trasversale e dello sliding longitudinale del nervo.



## **4. Risultati**

Vengono di seguito riportati gli articoli maggiormente rilevanti emersi dalla revisione, successivamente riassunti nella Tabella 1.

### ***4.1 Utilizzo diagnostico dell'ecografia precedente allo sviluppo della metodica di Frame by Frame Cross Correlation Analysis***

L'impiego diagnostico dell'ecografia in neurodinamica, in assenza dell'associazione con la metodica di Frame by Frame Cross Correlation introdotta da Dilley et. al. nel 2001 (13), risulta essere concentrato sulla misurazione della sezione trasversa del nervo e dello sliding trasversale.

#### ***4.1.1 Misurazione sezione trasversa nervo mediano***

L'utilizzo diagnostico dell'ecografia nello studio del SNP risulta presente in letteratura prevalentemente correlato alla diagnosi del tunnel carpale.

Dallo studio condotto nel 2001 da Swen et al.(21) volto a confrontare la diagnosi di sindrome del tunnel carpale eseguita mediante la misurazione della conduzione nervosa attraverso EMG (Elettromiografia) del nervo mediano con quella ricercata utilizzando l'ecografia, emerge che quest'ultima tecnica diagnostica presenta una sensibilità del 70% e una specificità del 63 % contro ad una sensibilità del 98 % e una specificità del 19 % attribuita alla metodica di misurazione della conduzione nervosa.

#### ***4.1.2 Misurazione dello sliding trasversale del nervo mediano.***

##### ***4.1.2.1 Tokyo da Nakamichi e Tachibana 1995.***

Sempre finalizzata all'identificazione della sindrome del tunnel carpale, è stata studiata una metodica diagnostica basata sulle differenze di sliding trasversale del nervo mediano al polso.

In letteratura è presente uno studio, effettuato nel 1995 a Tokyo da Nakamichi e Tachibana (15), volto a misurare e confrontare, lo sliding trasversale del nervo mediano in soggetti con sindrome del tunnel carpale, con il comportamento del nervo mediano di un gruppo di controllo composto da in soggetti sani.

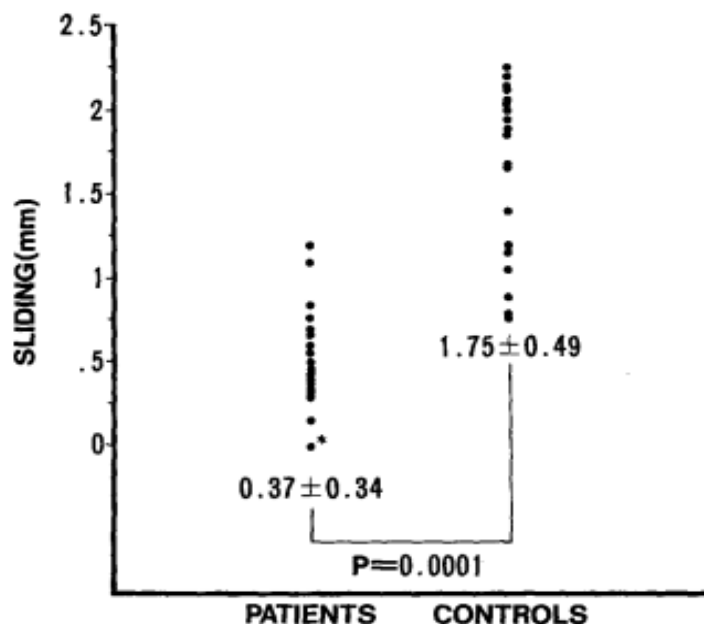
Per questo studio sono stati selezionati 15 donne con sindrome bilaterale idiopatica di tunnel carpale e 15 donne sane. Tutti i soggetti sono stati

sottoposti a valutazione clinica e elettromiografia per diagnosticare la presenza o l'assenza di sindrome del tunnel carpale, a radiografie per escludere patologie ossee a carico del forame e studio ecografico volto ad escludere tumori dei tessuti molli e cisti sinoviali.

La misurazione dello sliding trasversale è stata effettuata mediante ecografia ponendo il trasduttore sulla linea trasversale tracciata tra il pisiforme e l'uncino dell'osso uncinato.

Il soggetto veniva posto supino con la spalla leggermente abdotta, il gomito totalmente esteso e il polso in posizione neutra.

Durante la completa flessione estensione passiva delle articolazioni interfalangee distali e prossimali dell'indice è risultato: nel gruppo di controllo un marcato sliding trasversale fisiologico del nervo mediano al di sotto del retinacolo dei flessori ( $1.75 \pm 0.49$  mm); al contrario lo sliding trasversale nei soggetti patologici è risultato significativamente minore ( $0.37 \pm 0.34$  mm,  $p = 0,0001$ ) indicando una limitazione del fisiologico scorrimento del nervo (Fig. 9).



**Fig. 9** Paragone dello sliding trasversale del nervo mediano tra pazienti e soggetti sani. *Nakamichi; Tachibana 1995 (15).*

Questo calo della mobilità del nervo mediano può quindi risultare importante nella patofisiologia della sindrome del tunnel carpale.

#### **4.1.2.2 Greening et. al. 2001**

Legata alla valutazione dello sliding trasversale come possibile metodica diagnostica di disfunzioni a carico del SNP troviamo un altro studio in letteratura che indaga il comportamento del nervo mediano in soggetti con NSAP (Non Specific Arm Pain) confrontandoli con un gruppo di controllo di soggetti sani.

In questo studio, condotto da Greening et al. nel 2001 (22), sono stati selezionati 14 soggetti che rispondevano positivamente ai criteri di diagnosi introdotti da Harrington nel 1998 (23), identificando il disturbo all'arto superiore come NSAP. Di questi 14 soggetti 2 sono stati esclusi prima di effettuare la valutazione ecografica.

Dei 12 soggetti rimasti vi erano 11 donne e 1 uomo, con età media di 33 anni, peso medio 67 kg e altezza media di 1.68 m, ai quali è stato quantificato lo sliding trasversale del nervo mediano mediante rilevazione ecografica ad entrambi i polsi, in 10 pazienti con sintomi bilaterali e al solo polso destro in 2 pazienti che presentavano sintomi monolaterali.

Il gruppo di controllo è stato costituito di 16 soggetti risultati privi di problematiche a carico dell'arto superiore e del collo, con età media di 30 anni, peso medio 65 kg e altezza media di 1.67 m.

Le immagini sono state acquisite ponendo il soggetto su una poltrona medica con la spalla abdotta di 10-20°, il gomito in completa estensione, l'avambraccio in pronazione e il polso in 3 differenti posizioni: posizione neutra, a 30° di flessione e a 30° di estensione. Il trasduttore è stato posto sulla superficie volare del polso in corrispondenza della linea di piega distale.

Nei soggetti del gruppo di controllo il nervo mediano è risultato 4,8 mm più radiale a polso flesso rispetto a polso esteso, mentre nei soggetti con NSAP la variazione è risultata di soli 1,2 mm.

Da questi risultati si evince che la misurazione dello sliding trasversale del nervo mediano al polso può essere utile nella diagnosi dei NSAP, al momento però non sono presenti test ben definiti per effettuare una vera e propria diagnosi.

## **4.2 Utilizzo dell'ecografia in associazione alla metodica di Frame by Frame Cross Correlation**

### **4.2.1 Misurazione dello sliding longitudinale fisiologico**

#### **4.2.1.1 Sliding nervo sciatico**

L'unico studio rilevante emerso da questa ricerca, che analizza il comportamento del SNP dell'arto inferiore, viene scritto da Richard Ellis et al. nel 2008 (14). Questo studio misura, attraverso l'utilizzo degli US, in associazione con il software di Frame by Frame Cross-Correlation, il movimento del nervo sciatico sia sul piano trasversale che su quello longitudinale, durante l'esecuzione di tecniche di neuro mobilizzazione quali: dorsiflessione/plantiflessione di caviglia e flessione/estensione cervicale.

Sono stati selezionati 27 soggetti (14 femmine e 13 maschi) con un range di età compresa tra 18 e 38 anni, che non dovevano avere: storia di traumi rilevanti o interventi chirurgici in corrispondenza del RL, dell'anca, della regione glutea e del ginocchio; sintomi riferibili ad un impairment del nervo sciatico e SLUMP Test positivo (test che identifica disfunzioni dello sciatico e dei suoi rami associati descritto da Butler (18)).

La rilevazione delle misurazioni, effettuate in 2 differenti regioni dell'arto inferiore ( fossa poplitea e terzo medio della coscia) sono state effettuate durante il passaggio da una posizione di partenza ad una di arrivo.

Il soggetto viene posto seduto con appoggio della schiena in posizione verticale, bacino fissato alla seduta mediante una cinghia, anca flessa a 90 ° e ginocchio flesso a 50°.

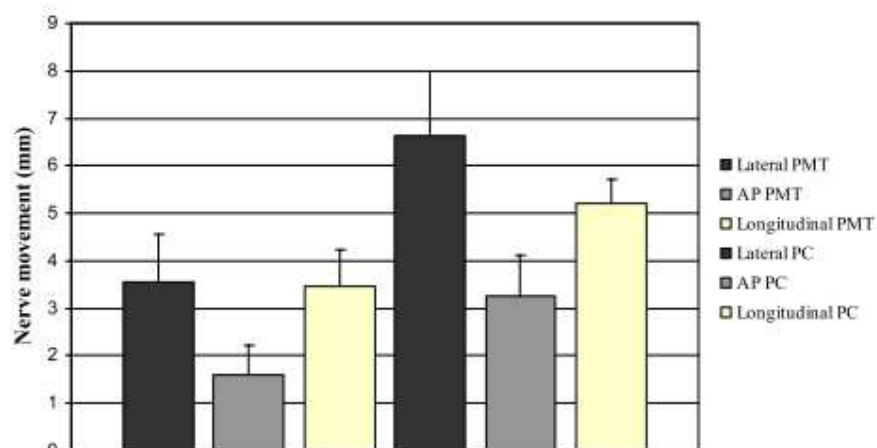
La posizione di partenza prevede, in aggiunta al posizionamento precedentemente illustrato, la flessione completa del RCI e dell'articolazione tibiotarsica, mentre in posizione di arrivo il RCI e l'articolazione tibiotarsca risultano totalmente estese (Fig. 4).



**Fig. 4** Ellis 2008 (14).

A metà coscia: lo sliding trasversale laterale medio del nervo sciatico rilevato risulta di 3.54 mm (errore standard +/- 1.18); quello trasversale verticale (antero-posteriore) di 1.61 mm (errore standard +/- 0.78) mentre lo sliding longitudinale risulta essere di 3.47 mm (errore standard 0.79).

In corrispondenza della fossa poplitea: lo sliding trasversale laterale medio del nervo sciatico rilevato risulta di 6.62 mm (errore standard +/- 1.10); quello trasversale verticale (antero-posteriore) di 3.26 mm (errore standard +/- 0.78) mentre lo sliding longitudinale risulta essere di 5.22 mm (errore standard +/- 0.05) (Fig. 5).



**Fig. 5** Sliding trasversale AP (antero-posteriore) e Laterale in PMT(metà coscia)e PC (cavo popliteo); sliding longitudinale in PMT e PC. Ellis 2008 (14).

L'affidabilità della misurazione risulta statisticamente da buona a eccellente per lo sliding trasversale del nervo (Intraclass correlation coefficient ICC = 0.39-0.76), mentre risulta eccellente per quanto riguarda lo sliding longitudinale (ICC=0.75).

#### **4.2.1.2 Sliding nervo mediano**

##### **4.2.1.2.1 Dilley et. al. 2001**

In questo studio è stato misurato lo sliding longitudinale del nervo mediano durante l'esecuzione di 2 differenti movimenti (effettuati su entrambi gli arti superiori): al momento dell'estensione passiva di 30° del polso (3 soggetti sani) e durante l'estensione passiva di 30° dell'articolazione metacarpofalangea del dito indice.

Per la rilevazione dello spostamento longitudinale del nervo mediano durante l'estensione passiva del polso sono stati selezionati 3 pazienti sani (1 uomo e 2 donne). I soggetti sono stati posti supini con la spalla abdotta di 20°, il gomito completamente esteso e l'avambraccio supinato.

Per la misurazione dello sliding longitudinale del mediano, durante l'estensione del dito indice, sono stati selezionati 7 soggetti sani (4 uomini e 3 donne). I soggetti sono stati posti supini con la spalla dell'arto superiore esaminato (non dominante) abdotta di 45°, il gomito in completa estensione e l'avambraccio supinato. In entrambi i casi il trasduttore è stato posizionato 6-12 cm prossimalmente alla piega del polso. Secondo i risultati ottenuti il nervo mediano risulta muoversi longitudinalmente in un intervallo medio compreso tra 2.9 e 3.8 mm (deviazione standard = 0.2-0.4 mm) durante l'estensione del polso, e in un intervallo medio compreso tra 1.6 e 4.5 mm (deviazione standard = 0.4) durante l'estensione del dito indice.

Vi sono altri 2 studi rilevanti che utilizzano la metodica di Frame by Frame Cross Correlation nello studio dello sliding longitudinale fisiologico del nervo mediano, uno viene scritto da Coppieters et. al. nel 2009 (20) e uno scritto da Echigo et. al. nel 2008 (19).

#### **4.2.1.2.2 Coppieters et. al. 2009**

In questo studio viene misurata l'escursione longitudinale del nervo mediano durante l'esecuzione di 6 differenti esercizi volti a mobilizzare il SNP.

Sono stati selezionati 15 soggetti, 8 femmine e 7 maschi, di età media 30 anni +/- 8 anni, privi di sintomi significativi all'arto superiore e al rachide cervicale negli ultimi 2 anni. Il posizionamento della sonda ecografica o trasduttore, per l'effettuazione delle misure, è stato scelto accuratamente laddove lo sliding trasversale del nervo mediano fosse minimo onde evitare che durante l'esecuzione dei movimenti il nervo uscisse dalla copertura del trasduttore.

Il punto è stato individuato a livello del solco bicipitale, medialmente, 7-10 cm prossimale all'epicondilo mediale. I 6 esercizi presenti in questo studio sono stati selezionati sulla base di tecniche neurodinamiche di sliding e tensionig che prevedevano il posizionamento o il movimento attivo di gomito e collo (Fig. 6);

- il primo esercizio prevedeva: l'inclinazione laterale attiva del collo e l'estensione attiva del gomito omolaterale (A) ;
- il secondo: inclinazione laterale attiva del collo e estensione del gomito controlaterale (B);
- il terzo: posizionamento in inclinazione laterale del collo e estensione attiva del gomito controlaterale all'inclinazione (C);
- il quarto: posizionamento in inclinazione laterale del collo e estensione del gomito omolaterale all'inclinazione (D);
- il quinto: posizionamento in estensione del gomito e flessione laterale attiva del collo controlateralmente (E)
- il sesto: posizionamento in flessione del gomito con inclinazione laterale attiva del collo controlateralmente (E).

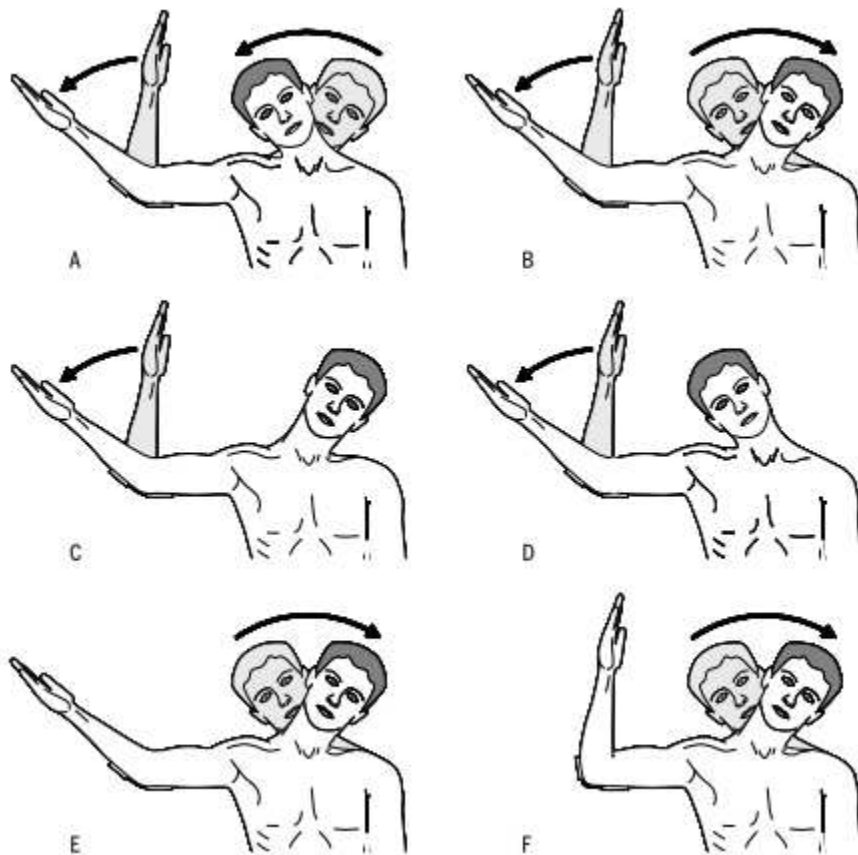


Fig. 6 Illustrazione dei 6 esercizi di mobilizzazione del SNP. *Coppieters 2009 (20)*.

Dai risultati dello studio emerge che: le tecniche di sliding (A) inducono la massima escursione ( $10.2 \pm 2.8$  mm), mentre l'escursione provocata da tecniche di tensioning (B) ( $1.8 \pm 4.0$  mm) risulta minore delle tecniche (C;D;E;F) che prevedono il solo movimento attivo del gomito o del collo (da  $-3.4 \pm 0.9$  a  $5.6 \pm 2.1$  mm).

Dai dati appena emersi proviene la conferma che tecniche neurodinamiche differenti hanno effetti diversi sul SNP, dando importanti indicazioni su quali tecniche debbano essere utilizzate nelle diverse fasi di un trattamento neurodinamico.

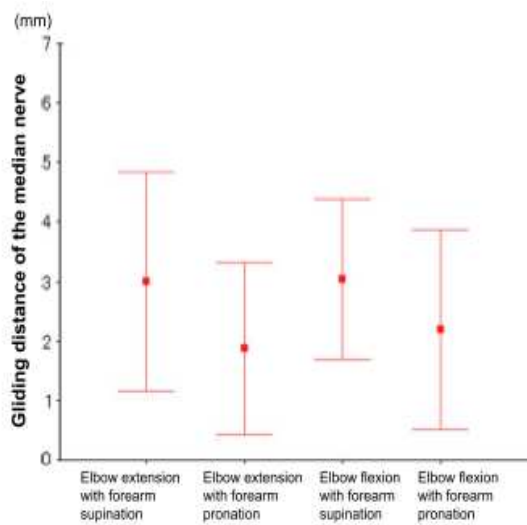


#### **4.2.1.2.3 Echigo et al. 2008**

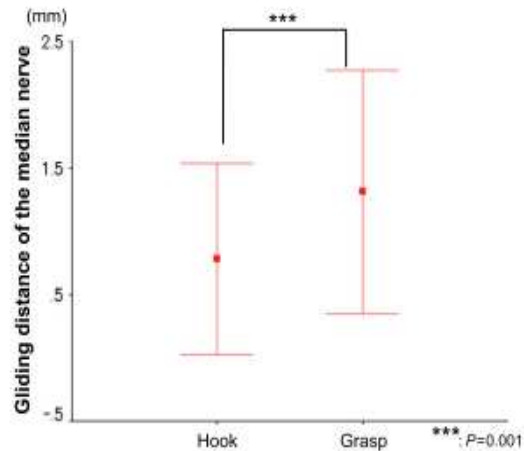
Lo studio condotto da Echigo et al. nel 2008 (19) invece mira a accertare la relazione tra il posizionamento dell'arto superiore e lo sliding longitudinale del nervo mediano durante movimenti attivi e passivi di polso e dita. Sono stati selezionati 34 soggetti di sesso femminile (esaminato sempre arto superiore destro) che non avessero patologie a carico dell'arto superiore e del rachide cervicale con interessamento nervoso. Le varie misurazioni sono state registrate a paziente supino con spalla abdotta a 30° posizionando il trasduttore in corrispondenza del terzo prossimale dell'avambraccio. Le misurazioni sono state effettuate durante la flessione attiva delle dita partendo dalla posizione neutra, posizionando il gomito in estensione con avambraccio supinato. La flessione attiva delle dita è stata fatta eseguire in due differenti modi: *Hook Grasp*, che prevedeva la massima flessione delle sole articolazioni interfalangee, sia prossimali che distali e *Grasp*, il quale prevedeva la massima flessione di interfalangee distali e prossimali e delle metacarpofalangee.

Lo sliding longitudinale del nervo mediano durante l'estensione passiva di polso e dita risulta essere di: 3.0 mm (DS=1.81) con gomito esteso e avambraccio supinato; 1.9 mm (DS=1.43) con gomito esteso e avambraccio pronato; 3.0 mm (DS=1.34) con gomito flesso e avambraccio supinato; 2.2 mm (DS=1.66) con gomito flesso e avambraccio pronato (Fig. 7).

Lo sliding longitudinale del nervo mediano misurato durante la flessione attiva delle dita da parte del paziente risulta essere di: 0.8 mm (DS=0.76) durante il grasp Hook; 1.3 mm (DS=0.96) durante il Grasp (Fig. 8).



**Fig. 7** Escursione del nervo mediano nelle varie associazioni di posizionamento di gomito e avambraccio. *Echigo 2008 (19)*.



**Fig. 8** Escursione del nervo mediano durante Grasp e Hook. *Echigo 2008 (19)*

Dai dati rilevati in questo studio emerge che vi è una differenza statisticamente significativa ( $P=0.001$ ) dell'escursione del nervo mediano a seconda del posizionamento di gomito e avambraccio e tra l'esecuzione di un grasp Hook e un Grasp. Si può inoltre concludere che l'avambraccio in supinazione è la posizione migliore per effettuare mobilizzazioni passive del nervo mediano e che il Grasp è un movimento attivo efficace per produrre uno sliding del nervo.

#### **4.2.2 Utilizzo diagnostico dello sliding longitudinale**

##### **4.2.2.1 Erel et. al. 2003**

Con l'avvento della tecnica di Frame by Frame Cross Correlation si è cercato di comprendere se vi fosse un'alterazione dello sliding longitudinale del nervo in patologie a carico del SNP, quali NSAP e Sindrome del Tunnel carpale, tale da fornire un criterio diagnostico delle patologie stesse.

Come avvenuto in precedenza la prima patologia ad essere indagata risulta la sindrome del tunnel carpale; nel 2003 Erel et. al. (24) pubblicarono uno studio con la finalità di determinare se vi fosse una riduzione significativa dello sliding longitudinale del nervo mediano al polso, in soggetti affetti da tunnel carpale.

Per questo studio sono stati selezionati 17 soggetti affetti da sindrome del tunnel carpale: 15 con sintomi bilaterali e 2 con sintomi monolaterali (diagnosi

confermata da valutazione clinica e indagini elettromiografiche). I risultati sono stati successivamente confrontati con un gruppo di controllo composto da 19 soggetti sani.

La misurazione dello sliding longitudinale del nervo mediano è stata effettuata per mezzo dell' ecografia utilizzando la metodica di Frame by Frame Cross Correlation, durante l'esecuzione passiva di flessione a 90° e ritorno dalla flessione delle metecarpofalangee (interfalangee bloccate in posizione neutra) (Fig. 10).

Il trasduttore è stato posto in corrispondenza dell'avambraccio 5-15 cm prossimalmente alla piega del polso,

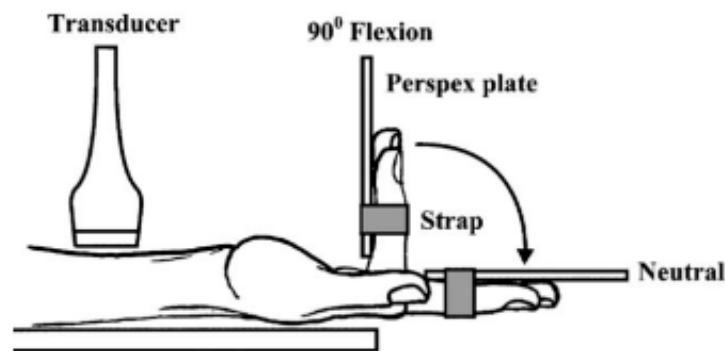


Fig. 10 Erel 2003 (24).

Il soggetto risulta posto supino con spalla abdotta di 45° o 90° (non sono risultate differenze nei risultati tra i 2 diversi posizionamenti), gomito totalmente esteso, avambraccio supinato e polso in posizione neutra.

In tutti i soggetti il nervo mediano si muoveva distalmente durante il ritorno dai 90° di flessione delle metecarpofalangee. La media dell'escursione del nervo risultava essere: di 2.20 mm nei soggetti affetti da sindrome del tunnel carpale e 2.62 mm nel gruppo di controllo. Durante la flessione delle metecarpofalangee a 90° invece, lo spostamento del nervo in tutti i pazienti è risultato prossimale, dando valori simili ai precedenti ma riferiti all'opposta direzione.

In questo studio la variazione di sliding longitudinale del nervo mediano non ha quindi mostrato una differenza scientificamente rilevante ( $P > 0.1$ ).

In aggiunta alla misurazione dello sliding longitudinale del nervo mediano è stata valutata anche la variazione di sliding trasversale del nervo al polso, che è risultata significativamente ridotta nel lato maggiormente colpito rispetto al

controlaterale, ma non altrettanto significativa confrontando i dati tra soggetti patologici e gruppo di controllo.

#### **4.2.2.2 Greening et. al. 2005**

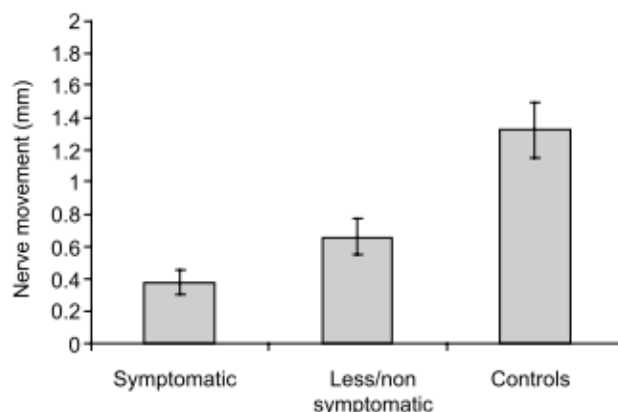
Per quanto riguarda gli studi effettuati su soggetti che presentano NSAP, ne sono stati selezionati due che prendono in considerazione la variazione dello sliding longitudinale, uno scritto da Greening (25) e l'altro scritto da Dilley et. al. nel 2007 (26).

Nello studio condotto da Greening et. al. nel 2005 (25) è stato indagato il comportamento del nervo mediano, utilizzando ultrasuoni ad alta frequenza in 2 gruppi di pazienti distinti: uno che presentava, in seguito a colpo di frusta, sintomi riferiti al collo e agli arti superiori e l'altro che risultava affetto da NSAP in assenza di eventi traumatici. Ad entrambi i gruppi è stato associato un gruppo di controllo di soggetti sani.

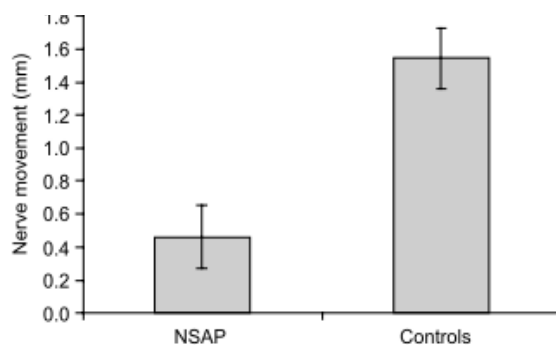
Sono quindi stati selezionati: 9 soggetti (5 femmine e 4 maschi) che presentassero sintomi riferiti all'arto superiore in seguito a colpo di frusta e 8 soggetti (femmine) con gli stessi sintomi ma insorti in seguito ad un uso intenso e prolungato di una tastiera. Entrambi i gruppi erano risultati positivi ai criteri diagnostici per NSAP introdotti da Harrington (23).

La misurazione dello sliding longitudinale del nervo mediano è stata effettuata durante l'esecuzione da parte del paziente di un' inspirazione completa, ponendo il trasduttore in corrispondenza dell'avambraccio del arto superiore più sintomatico. Il soggetto veniva posto supino con la spalla abdotta di 30°, il gomito completamente esteso, l'avambraccio supinato, il polso e le dita in posizione neutra.

Dai dati emersi da questo studio risulta uno sliding longitudinale del nervo, durante l'inspirazione completa, di 0.49 +/- 0.19 nei soggetti affetti da NSAP e di 1.55 +/- 0.19 mm nei soggetti appartenenti al gruppo di controllo. Per quanto riguarda i soggetti post colpo di frusta lo sliding longitudinale del nervo mediano risulta di 0.32 +/- 0.06 mm all'arto sintomatico, di 0.66 +/- 0.12 mm all'arto non sintomatico e di 1.32 +/- 0.17 mm (Fig. 11 e Fig. 12).



**Fig. 11** Sliding longitudinale del nervo mediano nei soggetti post colpo di frusta (lato sintomatico e lato non sintomatico) e gruppo di controllo. *Greening 2005 (25)*.



**Fig. 12** Sliding longitudinale del nervo mediano nei soggetti con NSAP e gruppo di controllo. *Greening 2005*

Anche in questo studio è stata indagata la variazione dello sliding trasversale al polso mostrando una differenza significativa tra soggetti che avevano subito un colpo di frusta e il gruppo di controllo, in quanto è risultato uno sliding trasversale medio, in direzione radiale, di  $2.57 \pm 0.80$  mm ( $P < 0.05$ ) nei soggetti post colpo di frusta e uno sliding medio di  $0.39 \pm 0.52$  mm ( $P < 0.05$ ), in direzione ulnare, nel gruppo di controllo.

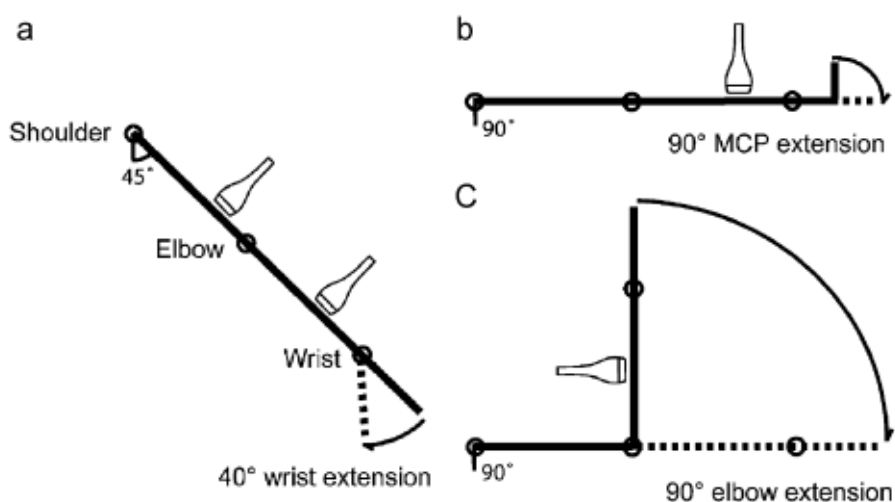
#### **4.2.2.3 Dilley et. al. 2007**

Nello studio pubblicato da Dilley et.al nel 2007 (26) sono stati sottoposti ad indagini ecografiche, utilizzando la tecnica di Frame by Frame Cross Correlation, per misurare lo sliding longitudinale del nervo mediano, 18 pazienti (13 femmine e 5 maschi; età media 36.9 anni) con NSAP. Sono stati inoltre confrontati con un gruppo di controllo di 39 soggetti sani.

I soggetti patologici, selezionati utilizzando i criteri diagnostici di Harrington, riconducevano i propri sintomi al lavoro intenso e prolungato in ufficio e non riferivano altre patologie specifiche dell'arto superiore.

Il gruppo di pazienti sani invece non doveva presentare storia di colpo di frusta, di NSAP o di alcuna patologia rilevante all'arto superiore.

La misurazione dello sliding longitudinale del nervo mediano è stata ottenuta durante l'esecuzione passiva di 3 diversi movimenti: estensione di polso a 45° (soggetto supino con spalla abdotta a 45°, gomito esteso e avambraccio supinato), estensione delle metacarpofalangee da 90° di flessione a 0° (soggetto supino, spalla abdotta a 90°, gomito esteso, avambraccio supinato e polso in posizione neutra) e estensione del gomito da 90° a 0° (soggetto in posizione supina, spalla abdotta a 90°, avambraccio supinato e polso in posizione neutra) (Fig. 13).



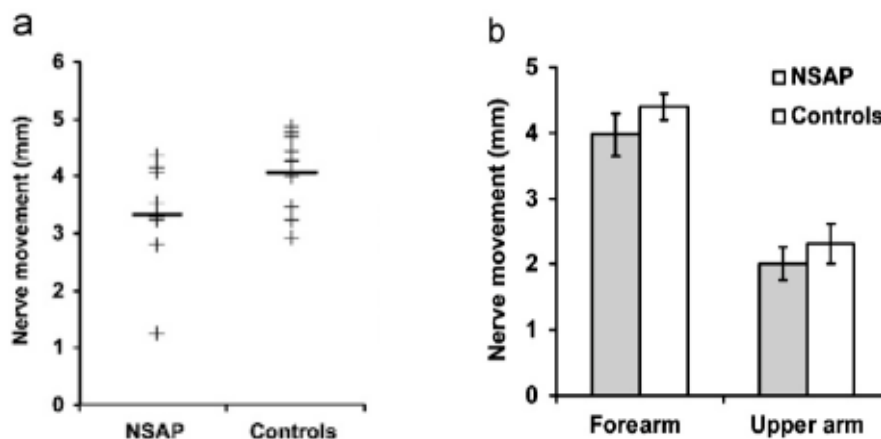
**Fig. 13** Illustrazioni delle posture, del posizionamento dei trasduttori e degli angoli di polso, gomito e spalla durante le varie misurazioni. *Dilley 2007 (26)*.

Per rendere maggiormente riproducibili le varie rilevazioni ecografiche è stata misurata la verosimile lunghezza del nervo mediano dal processo spinoso di C6 all'indice, ad avambraccio supinato.

La raccolta delle immagini, durante l'estensione del polso, è stata effettuata in 2 punti distinti del arto superiore: nel primo il trasduttore è stato posto in

corrispondenza del terzo distale dell'avambraccio (al 64-71% del mediano) e il secondo in corrispondenza del braccio, prossimalmente al gomito (al 45-53% del mediano). Per rilevare lo sliding del nervo mediano durante l'estensione delle metacarpofalangee, il trasduttore è stato posto sul terzo distale dell'avambraccio, mentre nella rilevazione durante l'estensione del gomito è stato posto in corrispondenza del terzo medio dell'avambraccio.

Dai risultati è emerso che il range di movimento del nervo mediano variava da 1.26 a 4.73 mm nei pazienti affetti da NSAP e da 1.43 a 5.57 mm nei soggetti appartenenti al gruppo di controllo, facendo emergere l'assenza di una significativa differenza tra i 2 gruppi ( $p=0.005$ ) (Figura 14).



**Fig. 14** Sliding longitudinale del nervo mediano nei soggetti affetti da NSAP e appartenenti al gruppo di controllo, visualizzati all'avambraccio e al braccio. *Dilley 2007 (26).*

Da questo studio sembra quindi non esserci una relazione tra NSAP e restrizione dello sliding longitudinale del nervo mediano.

Tabella 1

Articolo	Obiettivo	Disegno	Metodica	Popolazione	Risultati
Swen W, Johannes WG; 2001 (21)	Confrontare la diagnosi di sindrome del tunnel carpale eseguita mediante la misurazione della conduzione nervosa del nervo mediano.	Studio osservazionale Controllato.	US e EMG.	63 soggetti (44 donne e 19 uomini) con sintomi clinici di sindrome del tunnel carpale.	Sensibilità e specificità diagnosi attraverso la misurazione della conduzione nervosa: 98%; 19% Sensibilità e specificità diagnosi attraverso la misurazione della sezione trasversale del nervo al polso mediante ecografia: 70%; 63%
Nakamichi K, Tachibana S; 1995 (15)	Misurare e confrontare lo sliding trasversale del nervo mediano.	Studio Cross-sectional.	US.	15 donne con sindrome bilaterale idiopatica di tunnel carpale. 15 donne sane.	Sliding trasversale al polso nel gruppo di controllo pari a: 1.75 +/- 0.49 mm. Sliding trasversale al polso nei soggetti affetti da sindrome del tunnel carpale pari a: 0.37 +/- 0.34 mm.
Greening J, Lynn B; 2001 (22)	Indagare e misurare il movimento trasversale del nervo mediano in soggetti con NSAP.	Studio Cross-sectional.	US.	14 soggetti affetti da NSAP. Gruppo di controllo: 16 soggetti.	Nel gruppo di controllo il mediano risulta 4.8 +/- 0.4 mm più radiale quando il polso è flesso rispetto a quando è esteso. Nei soggetti con NSAP la variazione di posizione varia di 1.2 +/- 0.5 mm.



Ellis R, Hing W; 2008 (14)	Effettuare la misurazione dello sliding fisiologico longitudinale e trasversale del nervo sciatico.	Studio Osservazionale descrittivo.	US e Frame by Frame Cross Correlation Analysis	27 soggetti (14 femmine e 13 maschi) sani.	Sliding trasversale laterale a metà coscia: 3.54 +/- 1.18 mm. Sliding trasversale laterale al cavo popliteo: 6.6 +/- 1.10 mm. Sliding longitudinale a metà coscia: 3.47 +/- 0.79 mm. Sliding longitudinale al cavo popliteo: 5.22 +/- 0.05 mm.
Dilley A, Greening J; 2001 (13)	Misurare lo sliding longitudinale del mediano.	Studio osservazionale descrittivo.	US e Frame By Frame Cross Correlation Analysis.	All'estensione del polso: 3 pazienti sani (1 uomo e 2 donne). All'estensione della metacarpofalangea del dito indice: 7 soggetti sani (4 uomini e 3 donne).	Sliding longitudinale del mediano all'estensione del polso: 2.63-4.12 mm. Sliding longitudinale all'estensione della metacarpofalangea del dito indice: 1.59-4.48 mm.
Coppieters M, Hough A; 2009 (20)	Misurare l'escursione longitudinale fisiologica del nervo mediano durante l'esecuzione di 6 esercizi di mobilizzazione del SNP.	Studio osservazionale descrittivo.	US e Frame by Frame Cross Correlation Analysis.	15 soggetti, 8 femmine e 7 maschi, di età media 30 anni +/- 8 anni.	"Tecniche di sliding" escursione longitudinale media (10.2 +/- 2.8 mm). Escursione media "tecniche di tensionig" (1.8 +/- 4.0 mm). Escursione media indotta dal solo movimento di collo o gomito (-3.4 +/- 0.9 e 5.5 +/- 2.1 mm).
Echigo MS, Mitsuhiro A; 2008 (19)	Misurare lo sliding longitudinale del nervo mediano durante movimenti attivi e passivi di polso e dita.	Studio osservazionale descrittivo.	US e Frame by Frame Cross Correlation Analysis.	34 soggetti di sesso femminile (esaminato sempre arto superiore destro).	Sliding longitudinale del nervo mediano all'estensione passiva di polso e dita: distale con un range compreso tra 1.9 e 3.0 mm. Sliding longitudinale nervo mediano alla flessione attiva delle dita: prossimale in un

					range compreso tra 0.8 (nel Hook) e 1.3 mm (nel Grasp)
Erel E, Dilley A; 2003 (24)	Determinare presenza di riduzione significativa dello sliding longitudinale del nervo mediano in soggetti affetti da sindrome del tunnel carpale.	Studio Cross-sectional .	US e Frame by Frame Cross Correlation Analysis.	17 soggetti affetti da sindrome del tunnel carpale. Gruppo di controllo composto da 19 soggetti sani.	Sliding longitudinale medio nel gruppo di controllo: 2.62 mm. Sliding longitudinale medio soggetti affetti da sindrome del tunnel carpale: 2.20 mm.
Greening J, Dilley A; 2005 (25)	Indagare il comportamento del nervo mediano in 2 gruppi di pazienti distinti: 1) presenza di sintomi riferiti agli arti superiori post colpo di frusta 2) presenza NSAP in assenza di eventi traumatici.	Studio Cross-sectional.	US e Frame By Frame Cross Correlation Analysis.	9 soggetti (5 femmine e 4 maschi) che presentassero sintomi riferiti all'arto superiore in seguito a colpo di frusta. 8 soggetti (femmine) affetti da NSAP.	Durante inspirazione completa: sliding longitudinale 0.49 +/- 0.19 mm, in NSAP e di 1.55 +/- 0.19 mm nel gruppo di controllo. Nei soggetti post colpo di frusta lo sliding longitudinale 0.32 +/- 0.06 mm all'arto sintomatico, 0.66 +/- 0.12 mm all'arto non sintomatico e 1.32 +/- 0.17 mm nel gruppo di controllo.
Dilley A, Odeyinde S; 2007 (26)	Misurare lo sliding longitudinale del nervo mediano in soggetti affetti da NSAP.	Studio Cross-sectional .	US e Frame by Frame Cross Correlation Analysis.	18 pazienti (13 femmine e 5 maschi; età media 36.9 anni) con NSAP. Gruppo di controllo: 39 soggetti sani.	Il range di movimento del nervo varia da 1.26 a 4.73 mm nei pazienti affetti da NSAP e da 1.43 a 5.57 mm nei soggetti appartenenti al gruppo di controllo.

La presenza esclusiva di studi osservazionali è dovuta al fatto che si siano ricercati studi che dimostrassero l'efficacia dello strumento d'indagine ecografico applicato al SNP e non l'efficacia della somministrazione di un trattamento.

## 5. Discussione

Nella ricerca si sono presi in considerazione gli studi che utilizzano l'ecografia nello studio del SNP in vivo, andando ad indagare in primo luogo il comportamento nei soggetti sani e successivamente quello dei soggetti affetti da patologia, per scovare eventuali differenze alla ricerca di possibili criteri diagnostici.

Il primo gruppo di studi va ad indagare lo stato dell'arte relativo all' utilizzo diagnostico dell'ecografia, non associato alla metodica di Frame by Frame Cross Correlation Analysis. Vengono studiate: le sezioni trasverse del nervo mediano al polso nella sindrome del tunnel carpale (Swen 2001 (21)) e gli sliding trasversali del nervo mediano in soggetti affetti da sindrome del tunnel carpale (Nakamichi 1995 (15)) e NSAP (Greening 2001 (22))

Il secondo gruppo invece, prende in considerazione gli studi neurodinamici che utilizzano la metodica di Frame by Frame Cross Correlation Analysis in associazione all'ecografia. Nella prima parte vengono analizzati gli studi dello sliding fisiologico del nervo, mentre nella seconda, quelli che utilizzano lo sliding longitudinale come criterio diagnostico.

Un solo studio rilevante risulta indagare il comportamento fisiologico del SNP dell'arto inferiore (Ellis 2008 (14)), mentre sono emersi 3 diversi studi che si concentrano sulla misurazione dello sliding del SNP dell'arto superiore (Dilley 2001 (13); Coppieters 2009 (20); Echigo 2008 (19)).

La tendenza ad indagare maggiormente la neurodinamica dell'arto superiore compare in tutta la revisione, in accordo con il numero elevato di disturbi che vengono attribuiti ad una disfunzione del SNP in questo distretto.

Per quanto riguarda l'utilizzo diagnostico della metodica di Frame by Frame Cross Correlation, troviamo studi che utilizzano, come possibile parametro, le misurazioni dello sliding longitudinale in soggetti affetti da: Sindrome del Tunnel Carpale (Erel 2003 (24)), NSAP (Greening 2005 (25); Dilley 2007 (26)) e sintomi all'arto superiore insorti in seguito a colpo di frusta (Greening 2005 (25)).

La misurazione dello sliding longitudinale fisiologico del SNP in vivo mediante ecografia ha prodotto risultati accurati ed affidabili e ha inoltre fornito importanti indicazioni su quali tecniche debbano essere utilizzate nelle diverse fasi di un trattamento neurodinamico (Coppieters 2009 (20)) .

L' affidabilità e l' accuratezza sono apprezzabili dalla buona sovrapposibilità dei risultati dei vari studi, risultati che confermano i dati ricavati in precedenza dagli studi su cadavere.

Nello studio condotto su cadaveri freschi da Wright et al. nel 1996 (27) è stato misurato lo spostamento longitudinale del nervo mediano durante l'esecuzione di diversi movimenti. I risultati ottenuti riportano uno sliding longitudinale medio di 4.3 +/- 1.95 mm al gomito durante l'estensione del polso a 60°; movimento che risulta essere compreso in un range medio da 2.9 a 3.8 mm durante l'estensione del polso a 30° nello studio di Dilley et al del 2001(13), di 3,0 mm nello studio di Echigo et al. del 2008 (19) e di 2.31 nello studio di Dilley et al. del 2006 (26) durante l'estensione del polso a 40°.

Sempre per quanto riguarda il movimento fisiologico longitudinale del nervo mediano ottenuto al gomito, ma derivante dalla flessione completa delle dita della mano, Wright (27), nel suo studio condotto su cadaveri, riporta un sliding medio di 0.8 +/- 0.92 mm, risultato che in vivo secondo Echigo (19) risulta essere mediamente di 1.3 mm. Successivamente all'iperestensione delle metacarpofalangee invece, Wright (27) misura su cadaveri, uno sliding longitudinale pari a 2.6 +/- 1.13 mm, sliding che nello studio in vivo di Dilley del 2001(13) risulta essere compreso in un range medio fra 1.59 e 4.48 mm.

Per quanto riguarda l'utilizzo diagnostico dello studio neurodinamico eseguito tramite ecografia, sembra esserci maggiore uniformità di risultati nella misurazione dello sliding trasversale del nervo rispetto alla misurazione dello sliding longitudinale. Questa misurazione sembra fornire un valido criterio diagnostico nella sindrome del tunnel carpale (possibilità sostenuta da diversi studi) e nella diagnosi di NSAP (con meno studi eseguiti).

La scarsa affidabilità dell'utilizzo dello sliding longitudinale come criterio diagnostico emerge dal caso degli studi eseguiti su soggetti con NSAP: secondo lo studio condotto da Dilley et al. nel 2007 (26) non vi è una significativa differenza ( $P=0.005$ ) nello sliding longitudinale del nervo mediano (escursione in NSAP=1.26-4.73 mm; escursione in soggetti sani=1.43-5.57 mm), mentre Greening et al. nel 2005 (25) sosteneva invece il contrario (escursione in NSAP=0.49+/-0.19 mm; escursioni in gruppo di controllo=1.55 +/-0.19 mm, con

$P < 0.05$ ). Va comunque evidenziato che la misurazione dello sliding del nervo mediano è stata eseguita durante l'esecuzione di 2 movimenti differenti.

## **6. Conclusioni**

Concludendo possiamo asserire che l'ecografia è una tecnica affidabile per lo studio neurodinamico in vivo, essa permette di misurare con buona accuratezza lo sliding trasversale e longitudinale del SNP.

L'utilizzo di questi parametri nella formulazione di criteri diagnostici in patologia necessita però di un elevato grado di riproducibilità della misura: da questa revisione emerge come la riproducibilità risulti effettivamente essere un punto critico di questo strumento diagnostico, a causa delle localizzazioni variabili delle rilevazioni, delle differenti posture fatte tenere dal paziente e dai diversi movimenti adottati dagli autori per movimentare il SNP.

Inoltre, il numero degli studi presenti in letteratura, condiziona indirettamente quella che può essere la considerazione che attualmente gode l'utilizzo dello sliding longitudinale, come parametro diagnostico nelle disfunzioni del SNP. La presenza in letteratura di meno studi, rispetto a quelli sullo sliding trasversale, che misurano e accertano lo sliding longitudinale in soggetti patologici, è imputabile alla recente introduzione della metodica di Frame by Frame Cross Correlation sviluppata da Dilley nel 2001, metodica che ha fornito un livello di accuratezza maggiore rispetto al passato. Questo dato denota uno stato della ricerca ancora in fase iniziale.

Va inoltre evidenziato come vada di pari passo lo studio in vivo del SNP mediante ecografia e la conoscenza del comportamento dello stesso in patologia. Non essendoci la certezza del coinvolgimento neuromeccanico in tutti i casi di patologie legate al SNP risulta più complesso identificare dei criteri diagnostici sempre validi.

Potenzialmente lo studio in vivo dello sliding, sia longitudinale che trasversale può fornire un buon livello di accuratezza diagnostica dei disturbi del SNP, sempre tenendo conto di ciò che è stato detto in precedenza, emerge però la necessità di uniformare la localizzazione delle rilevazioni, le posture in cui il

paziente viene sottoposto all'esame e dei movimenti adottati per mobilizzare il SNP.

Al momento gli studi si sono concentrati maggiormente sulle disfunzioni del SNP dell'arto superiore e in particolare del nervo mediano, ma in futuro, le metodiche di studio in vivo del SNP mediante ecografia, potrebbero indagare il comportamento della maggior parte dei nervi, fornendo nuove indicazioni sulla natura di disturbi muscoloscheletrici aspecifici.

## 6. Bibliografia

(1) Shacklock 1995 *Neurodynamics. Physiotherapy* 81: 9-16.

(2) Annina B Schmid, Florian Brunner, Hannu Luomajoki, Ulrike Held, Lucas M Bachmann, Sabine Künzer and Michel W Coppieters. *Reliability of clinical tests to evaluate nerve function and mechanosensitivity of the upper limb peripheral nervous system.*

(3) McLellan DL, Swash M: *Longitudinal sliding of the median nerve during movements of the upper limb. J Neurol Neurosurg Psychiatry* 1976, 39:566-570.

(4) Mueller MJ, Maluf KS. *Tissue adaptation to physical stress: a proposed "Physical Stress Theory" to guide physical therapist practice, education, and research. Phys Ther.* 2002 Apr;82(4):383-403. Review. PubMed PMID: 11922854.

(5) Shacklock M. *Clinical Neurodynamics: A New System of Musculoskeletal Treatment.* Elsevier Science, Oxford, 2005.

(6) Topp KS, Boyd BS. *Structure and biomechanics of peripheral nerves: nerve responses to physical stresses and implications for physical therapist practice. Phys Ther.* 2006;86(1):92-109.

(7) Butler DS. *The Sensitive Nervous System.* Adelaide, Australia, Noigroup Publications, 2000.

(8) Butler DS. *Mobilizzazione del Sistema Nervoso, ed. MASSON. Milano 2001.*

(9) Nee RJ, Butler DS. *Management of peripheral neuropathic pain: Integrating neurobiology, neurodynamics, and clinical evidence. Physical Therapy in Sport.* 2006; 7(1):36-4.

(10) Bove GM, Ransil BJ, Lin HC, Leem JG. Inflammation induces ectopic mechanical sensitivity in axons of nociceptors innervating deep tissues. *J Neurophysiol.* 2003 Sep;90(3):1949-55.

(11) Dilley A, Lynn B, Pang SJ. Pressure and stretch mechanosensitivity of peripheral nerve fibres following local inflammation of the nerve trunk. *Pain* 2005;117(3):462–72.

(12) Lento PH, Primack S. Advances and utility of diagnostic ultrasound in musculoskeletal medicine. *Curr Rev Musculoskelet Med.* 2008 Mar;1(1):24-31. PubMed PMID: 19468895; PubMed Central PMCID: PMC2684149.

(13) Dilley A, Greening J, Lynn B, Leary R, Morris V. The use of cross-correlation analysis between high-frequency ultrasound images to measure longitudinal median nerve movement. *Ultrasound Med Biol.* 2001 Sep;27(9):1211-8. PubMed PMID: 11597362.

(14) Ellis R, Hing W, Dilley A, McNair P. Reliability of measuring sciatic and tibial nerve movement with diagnostic ultrasound during a neural mobilization technique. *Ultrasound Med Biol.* 2008 Aug;34(8):1209-16. Epub 2008 Mar 14. PubMed PMID: 18343020.

(15) Nakamichi K, Tachibana S. Restricted motion of the median nerve in carpal tunnel syndrome. *J Hand Surg* 1995;20:460–464

(16) Hough AD, Moore AP, Jones MP. Peripheral nerve motion measurement with spectral Doppler sonography: a reliability study. *J Hand Surg Br.* 2000 Dec;25(6):585-9. PubMed PMID: 11106525.

(17) Hough AD, Moore AP, Jones MP. Measuring longitudinal nerve motion using ultrasonography. *Man Ther.* 2000 Aug;5(3):173-80. Review. PubMed PMID: 11034888.



(18) Butler DS. *The sensitive nervous system*. Adelaide: Noigroup Publications, 2000.

(19) Echigo A, Aoki M, Ishiai S, Yamaguchi M, Nakamura M, Sawada Y. *The excursion of the median nerve during nerve gliding exercise: an observation with high-resolution ultrasonography*. *J Hand Ther*. 2008 Jul-Sep;21(3):221-7; quiz 228. PubMed PMID: 18652966.

(20) Coppieters MW, Hough AD, Dilley A. *Different nerve-gliding exercises induce different magnitudes of median nerve longitudinal excursion: an in vivo study using dynamic ultrasound imaging*. *J Orthop Sports Phys Ther*. 2009 Mar;39(3):164-71. PubMed PMID: 19252262.

(21) Swen WA, Jacobs JW, Bussemaker FE, de Waard JW, Bijlsma JW. *Carpal tunnel sonography by the rheumatologist versus nerve conduction study by the neurologist*. *J Rheumatol*. 2001 Jan;28(1):62-9. PubMed PMID: 11196545.

(22) Greening J, Lynn B, Leary R, Warren L, O'Higgins P, Hall-Craggs M. *The use of ultrasound imaging to demonstrate reduced movement of the median nerve during wrist flexion in patients with non-specific arm pain*. *J Hand Surg Br*. 2001 Oct;26(5):401-6; discussion 407-8. PubMed PMID: 11560418.

(23) Harrington JM, Carter J, Birrell L, Gompertz D (1998). *Surveillance case definitions for work related upper limb pain syndromes*. *Occupational and Environmental Medicine*, 55: 264±271.

(24) Erel E, Dilley A, Greening J, Morris V, Cohen B, Lynn B. *Longitudinal sliding of the median nerve in patients with carpal tunnel syndrome*. *J Hand Surg Br*. 2003 Oct;28(5):439-43. PubMed PMID: 12954253.

(25) Greening J, Dilley A, Lynn B. *In vivo* study of nerve movement and mechanosensitivity of the median nerve in whiplash and non-specific arm pain patients. *Pain*. 2005 Jun;115(3):248-53. PubMed PMID: 15911151.

(26) Dilley A, Summerhayes C, Lynn B. An *in vivo* investigation of ulnar nerve sliding during upper limb movements. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2007 Aug;22(7):774-9. Epub 2007 May 24. PubMed PMID: 17531363.

(27) Wright TW, Glowczewskie F, Wheeler D, Miller G, Cowin D. Excursion and strain of the median nerve. *J Bone Joint Surg Am* 1996;78:1897–1903.

(28) Kleinrensink GJ, Stoeckart R, Vleeming A, Snijders CJ, Mulder PG. Mechanical tension in the median nerve. The effects of joint positions. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 1995 Jul;10(5):240-244. PubMed PMID: 11415560.

(29) Kleinrensink GJ, Stoeckart R, Mulder PG, Hoek G, Broek T, Vleeming A, Snijders CJ. Upper limb tension tests as tools in the diagnosis of nerve and plexus lesions. Anatomical and biomechanical aspects. *Clin Biomech (Bristol, Avon)*. 2000 Jan;15(1):9-14. PubMed PMID: 10590339.

(30) Bay BK, Sharkey NA, Szabo RM. Displacement and strain of the median nerve at the wrist. *J Hand Surg Am*. 1997 Jul;22(4):621-7. PubMed PMID: 9260616.

## **7. Ringraziamenti**

Un grazie particolare a Erica Monaldi e a Silvia Gianola per la forte presenza e l'aiuto prestatomi, ai miei genitori che mi hanno dato la possibilità di partecipare al Master e a tutto il corpo docente e al coordinatore Marco Testa per le infinite nozioni e conoscenze che sono stati in grado di trasmettermi.

Ringrazio inoltre l' A.S. Livorno Calcio per avermi dato la possibilità di frequentare i seminari dell'anno trascorso.