



UNIVERSITÀ DEGLI STUDI
DI GENOVA



Università degli Studi di Genova

Scuola di Scienze Mediche e Farmaceutiche

Dipartimento di Neuroscienze, Riabilitazione, Oftalmologia, Genetica e Scienze Materno-Infantili

Master in Riabilitazione dei Disordini Muscoloscheletrici

A.A 2014/2015

Campus Universitario di Savona

La risposta meccanica del nervo ai movimenti del corpo

Candidato:

Dott.ssa FT Greci Vera

Relatore:

Dott.ssa FT OMT Monaldi Erica

INDICE

Abstract	3
Introduzione	4
Materiali e metodi	7
Risultati	9
Discussione	38
Conclusione	43
Bibliografia	45

ABSTRACT

Obiettivi: la capacità dei nervi periferici di subire una “messa in tensione” e di rispondere al movimento segmentale tramite sliding è una caratteristica del sistema nervoso periferico di fondamentale importanza per il mantenimento della normale funzione neurale. Lo scopo di questa tesi è fare una revisione degli studi che quantificano lo sliding del nervo in risposta ai movimenti del corpo.

Materiali e metodi: La ricerca è stata effettuata su MEDLINE e Cochrane. La selezione degli articoli è stata eseguita sulla base dei criteri di inclusione e di esclusione tramite lettura di titolo, abstract e full text . Sono stati esclusi gli articoli non in lingua inglese, senza abstract disponibile, studi condotti su animali e su soggetti malati, case report e case study.

Risultati: Sono stati inclusi 26 articoli per l'intera revisione, di cui 22 per i risultati. La revisione dimostra che il nervo è dotato di movimento proprio, in risposta ai movimenti delle interfacce meccaniche. La quantità di sliding non è standardizzabile a causa dell'eterogeneità degli studi.

La quantità di scivolamento indotta sul nervo è variabile e aumenta, fino ad un limite fisiologico, all'aumentare del range di movimento articolare utilizzato, all'aumentare della vicinanza dell'articolazione in movimento e all'aumentare della variazione indotta nella lunghezza del letto del nervo. Anche il pretensionamento nervoso, ottenuto tramite il posizionamento delle articolazioni adiacenti, e la combinazione del movimento di più articolazioni influenza il movimento del nervo, ma in modo meno prevedibile e non generalizzabile. Infine le tecniche di slider producono il massimo scivolamento, quelle di tensioner il minimo .

Conclusioni: Il R.O.M. articolare sfruttato, la distanza dall'articolazione in movimento, il posizionamento delle articolazioni adiacenti e la variazione indotta nella lunghezza del letto del nervo influenzano il movimento del nervo, perciò tutti questi fattori devono essere tenuti in considerazione durante la pianificazione di esercizi di mobilizzazione neurodinamica.

INTRODUZIONE

Shacklock nel 1995 ha pubblicato i suoi studi sulla neurodinamica , avanzando la teoria che il nervo sia dotato di una propria meccanica.¹

Come viene dimostrato successivamente, le posture corporee e i movimenti di tronco, testa, arti inducono cambiamenti nella lunghezza del letto del nervo creando stress in trazione, taglio e compressione. Grazie alle proprietà viscoelastiche e l'organizzazione strutturale del nervo sano, esso ha la capacità di adattarsi a questi stress e di mantenere la sua funzione di conduzione di impulso elettrico, sfruttando tre proprietà:

- la messa in tensione del nervo chiamata anche “tensioning” o “stretching”
- lo scivolamento longitudinale e trasversale, relativamente alle strutture adiacenti, chiamato anche “sliding” o “gliding”
- la capacità di tollerare l'aumento di pressione o la compressione date dai tessuti circostanti.²⁻⁵

Come afferma Shacklock, questi meccanismi di adattamento possono coesistere, infatti nella prima parte del movimento articolare viene ripreso lo slack del nervo (nella posizione di riposo internamente i fasci del nervo sono ondulati ma quando viene applicata una tensione il nervo si allunga raddrizzando i suoi assoni), a metà del movimento lo slack del nervo viene assorbito e lo sliding aumenta, nell'ultima fase lo slack e lo sliding sono terminati e aumenta la messa in tensione del nervo .^{1 6}

Uno dei primi studi riguardanti lo scivolamento del nervo è stato condotto nel 1976 da Mclellan e Swash ⁶ , in vivo con un metodo invasivo, inserendo un elettrodo nel nervo mediano nel braccio di 15 soggetti. I risultati hanno dimostrato uno scivolamento del nervo presente sia durante movimenti attivi sia durante movimenti passivi, in direzione distale o prossimale in base all'articolazione mossa.

In seguito sono stati svolti numerosi studi su cadavere riguardanti il movimento del nervo, tramite l'utilizzo di markers, per la misurazione dell'escursione, e attraverso trasduttori di forza, per la valutazione della tensione. Uno dei primi e più rilevanti è lo studio di Topp et al.⁷ del 2006, che dimostra e approfondisce la meccanica nervosa. Questo conferma la teoria secondo cui lo stress applicato ad un tessuto biologico determina una risposta adattiva del tessuto stesso (teorizzato anche da Mueller e Mauf nel 2002) e che il nervo si adatta tramite tensioning e sliding, seguendo il percorso a minor resistenza.

Le capacità di messa in tensione e di scivolamento sono importanti per la normale funzione nervosa, se queste normali risposte biomeccaniche vengono impedito, lo stress, imposto dal movimento corporeo, può raggiungere livelli tali da compromettere il funzionamento del sistema nervoso, fino alla riduzione del trasporto assonale e del flusso sanguigno (una tensione del 5-10% causa i primi segni di cambiamento di flusso sanguigno, all' 11-18% causa una completa occlusione ma anche bassi stress prolungati possono inficiare le proprietà funzionali del nervo e causare un danno irreversibile) e causare cambiamenti patologici.^{1 2 5 8 9}

Gli studi su cadavere hanno in realtà alcuni limiti, infatti non includono le proprietà meccaniche e i processi fisiologici presenti nei soggetti viventi, come per esempio il flusso sanguigno e linfatico, il trasporto assonale, il movimento attivo e la differenza del tono muscolare locale.^{8 10}

Grazie all'evoluzione dell'ecografia, successivamente, si è potuto studiare, in modo non invasivo, la meccanica del nervo in vivo e quantificare l'escursione, ottenendo immagini in tempo reale durante il movimento.¹

Vista l'importanza della normale meccanica per il mantenimento della salute del nervo, alla fine del 1970 hanno guadagnato popolarità l'uso e la descrizione della mobilizzazione neurodinamica, al fine di influenzare le proprietà meccaniche dei nervi periferici. Le teorie sull'efficacia di questa includono effetti fisiologici (rimozione dell'edema intraneurale), effetti centrali (riduzione della sensibilizzazione delle corna dorsali e soprasspinale) e effetti meccanici (aumento dell'escursione del nervo).^{2 11}

Nella mobilizzazione del tessuto nervoso distinguiamo sostanzialmente due tecniche:

- lo slider, cioè due articolazioni almeno vengono mosse contemporaneamente.

L'allungamento del letto del nervo ad una articolazione è contemporaneamente controbilanciato dalla riduzione di lunghezza ad un'altra articolazione

- il tensioner, manovra nella quale si muovono una o più articolazioni in modo da allungare il letto del nervo ad entrambe le estremità.^{11 - 14}

Mentre lo slider è associato ad una maggiore escursione del sistema nervoso, relativamente alle strutture circostanti, senza un grande aumento di tensione nervosa, il tensioner aumenta la tensione del nervo.^{13 - 14}

Vari studi dimostrano che la mobilizzazione neurodinamica può creare un'ipoalgesia fibre C mediata, aumentare l'escursione del sistema nervoso e essere efficace nel miglioramento della funzione del nervo limitando o modificando l'accumulo di liquido, prevenendo così gli effetti avversi dell'edema intraneurale, conseguenza di lesioni o

infiammazioni nervose (aumento della pressione endoneurale, ischemia, cambiamenti nella permeabilità, danni strutturali, alterazioni funzionali, fibrosi, aderenze).^{2 15 16}

Infatti sembra che durante la mobilizzazione del nervo il ciclo ripetitivo di stretch e relax possa creare un effetto pompa e quindi promuovere una dispersione dei fluidi intraneurali, riducendo l'edema e la pressione intraneurale con conseguente miglioramento del trasporto assonale e riduzione del deposito di fattori dell'infiammazione che causano dolore e limitazione del movimento nervoso, risultato molto importante dal momento che i vasi linfatici si trovano solo nell'epinervio e sono assenti nello spazio endoneurale e intrafascicolare.^{7 15 16}

Questo viene illustrato da Gilbert et al. nel 2015, che, grazie ad uno studio su cadavere, dimostrano una dispersione longitudinale di soluzione, iniettata nell'epinervio della radice di L4, dopo una mobilizzazione neurodinamica con SLR, di 1.1 ± 0.9 mm in media (differenza di dispersione rispetto al pretest), cioè un aumento dal 7.9% al 18.1% rispetto al pretest. E' stata osservata una significativa migrazione craniale del liquido nella dura e una limitata migrazione caudale, dopo mobilizzazione neurodinamica su cadavere.¹⁵

Lo stesso autore, con uno studio del 2014, dimostra una dispersione longitudinale di soluzione iniettata in segmenti sezionati di nervo sciatico di cadaveri, dopo una simulazione di mobilizzazione neurodinamica in vitro. I segmenti sezionati sono stati sottoposti a cicli ripetitivi di stretch/relax al 6% di tensione. I risultati dimostrano una dispersione statisticamente significativa di 3.2 ± 2.1 mm post test e di $3.3 \text{ mm} \pm 2.7$ mm rispetto ad un gruppo di controllo non trattato.¹⁶

Vista l'importanza che i concetti neuromeccanici assumono nella fisiologia e nel trattamento delle disfunzioni del sistema nervoso periferico, l'obiettivo di questa tesi è fare una revisione degli studi che quantificano lo sliding del nervo in risposta ai movimenti del corpo.

MATERIALI E METODI

La ricerca è stata condotta nel periodo tra settembre 2015 e maggio 2016.

La revisione di letteratura è stata effettuata attraverso l'utilizzo delle banche dati MEDLINE e Cochrane con l'obiettivo di reperire articoli che quantificassero lo sliding (scivolamento) del nervo rispetto ai tessuti circostanti, inteso come capacità del sistema nervoso di adattarsi ai movimenti dei vari segmenti del corpo.

Le parole chiave utilizzate nella ricerca su medline sono state:

- nerve
- nerve sliding
- nerve tensioning
- nerve excursion
- nerve movement
- nerve stress
- neurodynamic
- movement
- position
- mobilization

Le parole chiave sono state opportunamente combinate mediante l'utilizzo degli operatori Booleani AND e OR formando un'unica stringa di ricerca per la banca dati Medline:

("nerve" OR "neural") AND ("sliding" OR "slider" OR "tensioner" OR "tensioning" OR "neural tension" OR "nerve strain" OR "nerve tension" OR "nerve excursion" OR "nerve movement" OR "nerve stress" OR "nerve adaptation" OR "neurodynamic") AND ("movement" OR "position" OR "joint movement" OR "joint position" OR "mobilization").

Le parole chiave definitive utilizzate per la ricerca su Cochrane sono state:

- Nerve excursion
- Nerve glide

Non sono stati posti limiti temporali alla ricerca.

Sono stati inclusi articoli riguardanti il movimento del nervo solo in soggetti sani.

Gli articoli sono stati esclusi dalla ricerca se di lingua diversa dall'inglese, se non vi era disponibilità dell'abstract , se l'argomento non era pertinente con lo scopo della revisione, se trattavano di studi effettuati su animali e su soggetti malati, case study e case report (tabella 1).

Tabella 1. Prima selezione degli articoli

Prima selezione	Criteri di inclusione	Criteri di esclusione	TOT
	Studi che trattano lo sliding del nervo nei soggetti umani sani, via in vivo sia in cadaveri	lingua diversa dall'inglese, assenza di abstract , argomento non pertinente con lo scopo della revisione, studi effettuati su animali e su soggetti malati, case study e case report	
risultati	32	202	234

RISULTATI

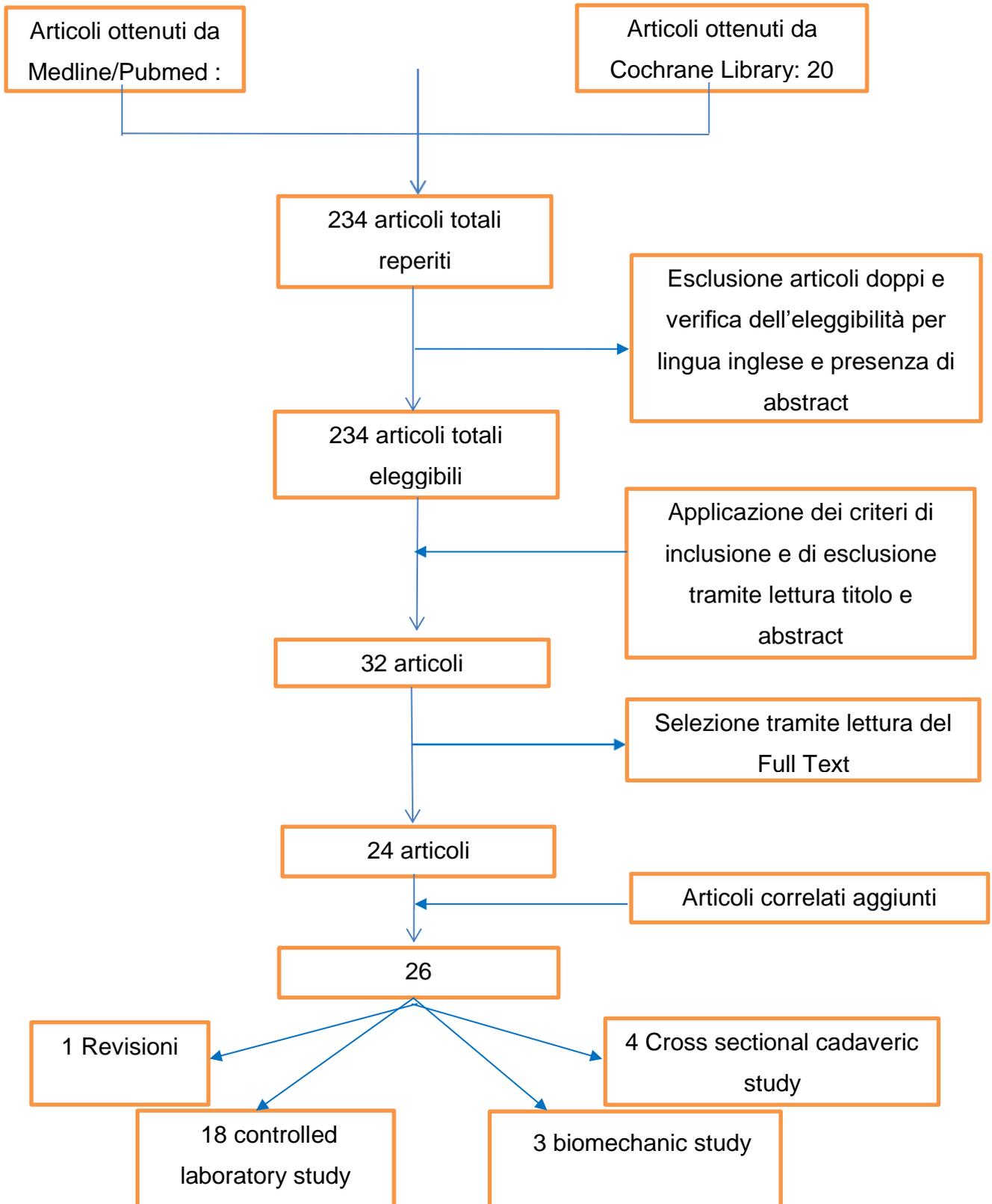


Fig 1.flow chart

La ricerca su MEDLINE e Cochrane, tramite stringa di ricerca, ha ricavato un totale di 234 articoli, tutti in lingua inglese e con abstract disponibile. I processi di selezione successivi, schematizzati nella flow chart in figura 1, sono stati:

1. lettura titolo e abstract : dai 234 articoli ottenuti con la stringa di ricerca, in seguito alla lettura di titolo e abstract, ne sono stati eliminati 202 poiché non incontravano i criteri di inclusione ed esclusione (articoli non pertinenti con l'argomento, studi condotti su animali o su soggetti malati)
2. lettura full text : dai 32 rimasti, leggendo il full text, ne sono stati eliminati 8 perché 7 riguardavano solo la messa in tensione del nervo e non lo scivolamento, 1 trattava solo l'utilizzo di analisi statistiche applicate all'ecografia dinamica
3. analisi dei related articles: sono stati inclusi 2 ulteriori articoli correlati.

Il numero totale degli articoli utilizzati nella nostra revisione è 26 (per l'introduzione sono stati utilizzati 16 articoli, per i risultati 22)

Di seguito si riporta una tabella riassuntiva dei 22 articoli utilizzati per i risultati:

Tabella 2: Riassunto degli articoli

AUTORE	DISEGNO	OBIETTIVI	MATERIALI E METODI	RISULTATI
Silva et al. ² 2014	Systematic literature review	Rilevare escursione e tensione del sistema nervoso normale durante il movimento di una o più articolazioni	Ricerca effettuata su Pubmed, Physiotherapy Evidence Database, Cochrane Library, Web of Science and Scielo, con l'inclusione di soli articoli condotti in vivo su persone senza patologie del sistema nervoso. Articoli totali inclusi 12	L'escursione varia tra 0.1 mm e 12.5 mm per il nervo mediano, tra 0.1 mm e 4.0 mm per il nervo ulnare, tra 0.7 mm e 5.2 mm per il nervo tibiale e tra 0.1 mm e 3.5 mm per il nervo sciatico. Lo slider promuove la maggiore escursione , il tensioner induce la minore escursione. Lo scivolamento diminuisce all'aumentare della distanza dall'articolazione in movimento e varia in base al ROM articolare utilizzato.

				Il nervo scivola verso l'articolazione in movimento, se il letto del nervo viene allungato, e lontano dall'articolazione, se il letto viene accorciato.
Meng et al. ¹⁰ 2015	Controll ed laborato ry study	Valutare l'escursion e del nervo mediano durante esercizi convenzionali di mobilizzazione nervosa e durante nuovi esercizi che sfruttano l'abduzione e adduzione delle dita.	Gruppo 1: 9 arti superiori non sezionati di cadaveri non imbalsamati, (età 81±10.17 anni media 82) Gruppo 2 : 9 arti superiori non sezionati di cadaveri non imbalsamati, (età 82,3±13,85 ,media 88). Gruppo 1: markers posizionati sull'aspetto palmare delle ossa carpali (1),sull'aspetto palmare dell'estremità distale del radio (2) e sull'aspetto palmare dell'estremità prossimale dell'ulna,tra le origini del pronatore rotondo (3). Gruppo 2 :markers vengono posti solo nella posizione 1 e 2. Gruppo 1 : sottoposto a 6 tipi di mobilizzazione nervosa convenzionale Gruppo 2 : sottoposto agli stessi 6 esercizi e in aggiunta 2 mobilizzazioni in abduzione e adduzione delle dita	Maggiore gliding longitudinale nel gruppo 2, durante i nuovi esercizi in abduzione-adduzione delle dita. Gruppo 1 :sostanziale gliding longitudinale prossimale al tunnel carpale (12 mm) e tra le origini del pronatore rotondo (13.8 mm), minore gliding nel tunnel carpale (6.6 mm). Gruppo 2 : Gliding a livello del tunnel carpale di 13.8 mm. Non sostanziali scivolamenti durante la flessione laterale cervicale.

Wang et al. ¹⁷ 2014	Controll ed laborato ry study	Studiare il movimento trasversale del nervo mediano nel tunnel carpale durante i movimenti del polso	Entrambi i tunnel carpali di 10 volontari sani (età media 39.1± 9.8), vengono valutati (seduti, spalla neutra, avambraccio supinato) durante 6 movimenti attivi: 1.flessione delle dita partendo dall' estensione 2.flessione massima del polso, dalla posizione neutra,con le dita estese 3.flessione del polso, dalla neutra, con flessione delle dita 4.estensione massima del polso, dalla neutra, con dita estese 5.massima estensione del polso, dalla neutra, con dita flesse 6. deviazione ulnare massima del polso, dalla neutra, con dita estese	Lo scivolamento trasversale del nervo mediano durante flessione del polso a dita estese (2.36±0.79 NU), la flessione del polso con dita flesse (2.46±0.84 NU) e la deviazione ulnare del polso con dita estese (2.86±0.51 NU) e' maggiore rispetto ai movimenti di flessione delle dita (0.82±0.33 NU), polso esteso e dita estese (0.77±0.46 NU) e polso esteso e dita flesse (0.81±0.58 NU). (p<0.0001). Non c'è differenza significativa nell'ampiezza di scivolamento tra flessione del polso con dita estese, flessione del polso con dita flesse,deviazione ulnare del polso con dita estese (p=0.1204) o tra flessione delle dita, estensione di polso con dita estese e estensione di polso con dita flesse (p=0.9560).
Brochwi cz et al. ¹⁸ 2012	Controll ed laborato ry study	Quantificar e il movimento del nervo mediano nell'avamb raccio durante lateroflessi	Il movimento longitudinale del nervo mediano viene rilevato, con ecografia, nel medio avambraccio su 11 soggetti sani (età media 25.6±2.25 anni) e nell'avambraccio distale su 9 soggetti sani (età media 27.2 ± 2.75 anni), durante	CLF: 2.3 mm nel medio avambraccio, 1.9 mm nell' avambraccio distale CLG: 3.3 mm nel medio avambraccio, 2.5 mm nell' avambraccio distale Lo scivolamento longitudinale è maggiore durante il CLG e la differenza è statisticamente

		one cervicale (CLF) e lateral glide cervicale (CLF)	CLG e CLF con la spalla a 30° di abduzione.	significativa.
Nee et al. ¹⁹ 2010	Biomechanic study	Valutare i cambiamenti nella tensione e nel movimento longitudinale del mediano in base alla sequenza di movimento articolare	7 arti destri di cadaveri non imbalsamati (età tra i 21 e i 70 anni, media 53 anni) vengono sottoposti a 3 diverse sequenze di movimento, combinando in sequenza diversa le componenti dell' ULNT1.	Alla fine di ognuna delle tre sequenze, il nervo mediano risulta aver effettuato un'escursione distale di 2-3 mm. Nessuna differenza statisticamente significativa tra le 3. Varia invece la direzione dell'escursione effettuata dal segmento del nervo. ($p < 0.001$). Durante l'abduzione, se effettuata per prima, vi è solo una minima escursione.
Coppiers et al. ¹⁴ 2009	Controlled laboratory study	Quantificare lo scivolamento longitudinale del nervo mediano indotto da diversi esercizi di gliding nervoso	15 soggetti sani (età media 30 ± 8 anni) sono sottoposti a 6 mobilizzazioni neurodinamiche coinvolgenti gomito e collo, i soggetti sono posizionati supini con spalla a 90° di abduzione. Il movimento del nervo mediano viene valutato 7-10 cm prossimalmente all'epicondilo mediale, tramite ecografia.	Mobilizzazioni diverse inducono differenti quantità di scivolamento longitudinale ($P < .0001$). Lo slider induce la maggior escursione (media 10.2 ± 2.8 mm; $P = .0001$), il tensioner crea minimo scivolamento (media 1.8 ± 4.0 mm) rispetto a quello indotto da movimenti della testa o del gomito (media 3.4 ± 0.9 e 5.6 ± 2.1 mm; $P = .0001$)

<p>Ugbolu e et al.²⁰ 2004</p>	<p>Controll ed laborato ry study</p>	<p>Rilevare il movimento 3D del nervo mediano e dei tendini dei flessori durante la flesso-estensione delle metacarpofalangee di indice e medio</p>	<p>I markers vengono posizionati sul nervo mediano al polso, sui tendini del flessore superficiale e profondo delle dita di 7 arti sezionati da cadaveri non imbalsamati (età media 65 anni). Partendo da un preposizionamento in pronazione di avambraccio, la metacarpofalangea di indice e medio viene mossa da 15° di estensione a 75° di flessione.</p>	<p>La massima escursione longitudinale del nervo mediano è di 3 mm per l'indice e 4.0 mm per il medio, il massimo scivolamento trasversale in direzione radio-ulnare e dorso-palmare va da 1.4 ai 5.1 mm.</p>
<p>Julius et al.⁴ 2004</p>	<p>Controll ed laborato ry study</p>	<p>Valutare se la slouched posture causa uno stretch del nervo mediano e una riduzione del suo movimento</p>	<p>Il nervo mediano viene studiato con ecografia all'avambraccio in 14 soggetti sani (età 25-38, media 32 anni), durante lo svolgimento singolarmente di protrazione del capo, flessione del tronco, protrazione delle spalle, e lateroflessione cervicale controlaterale di 35° (in questi ultimi due movimenti i risultati vengono rilevati anche al braccio)</p>	<p>Durante la protrazione delle spalle si registra uno scivolamento prossimale di 3.5 mm all'avambraccio e 5.9 mm al braccio. Se la spalla è in protrazione, durante la lateroflessione cervicale controlaterale c'è una riduzione del 60% del movimento del nervo, rispetto a quando la spalla è in neutra (spalla neutra: 2.3 mm nel braccio, 1.5 mm nell'avambraccio. Spalla protratta: 0.9 mm al braccio, 0.6 mm all'avambraccio). L'anteposizione del capo e la flessione del tronco non</p>

				producono scivolamenti prossimali statisticamente significativi(0.1 mm).
Dilley et al. ⁹ 2003	Controll ed laborato ry study	Esaminare lo sliding del nervo mediano in risposta ai movimenti degli arti superiori	Il movimento del nervo mediano viene studiato al braccio e all'avambraccio, con ecografia, in 34 soggetti sani (20–59 anni), durante l'estensione del polso di 40°, abduzione di spalla di 80°, estensione di gomito di 90° e lateroflessione cervicale controlaterale di 35°(effettuati singolarmente partendo da vari preposizionamenti di spalla e gomito, polso)	L'escursione del nervo all'avambraccio e al braccio varia da 0.3 mm per la lateroflessione cervicale controlaterale a 10.4 mm per l'estensione del gomito.
Mc Lellan e Swash ⁶ 1976	Controll ed laborato ry study	Quantificare lo sliding del nervo mediano durante movimenti passivi e attivi e rilevare la direzione di movimento	In 15 soggetti (età 19-72 media 48 anni) un elettrodo viene inserito sul mediano a metà braccio, in 4 soggetti (22-41 anni) un elettrodo viene inserito sul mediano nel polso. Vengono effettuati movimenti attivi e passivi degli arti superiori (flesso-estensione di dita, polso, pronazione-supinazione di avambraccio, flesso-estensione, lateroflessione e rotazione collo)	I movimenti attivi e passivi producono lo stesso effetto. L'escursione maggiore viene riportata per l'estensione di polso e dita (scivolamento distale di 7.4 mm) e per la flessione del gomito (scivolamento prossimale di 4.3 mm). Lo scivolamento associato al movimento di polso e dita è da 2 a 4 volte maggiore al polso rispetto al braccio.

Kawahara et al. ²¹ 2016	Controlled laboratory study	Valutare la posizione del nervo ulnare durante flessione e estensione di gomito usando la risonanza magnetica	Il nervo ulnare nel tunnel cubitale è stato valutato tramite risonanza magnetica (sequenza T2) in 100 gomiti sani di 50 volontari (età 21–57 anni) ,durante la flesso-estensione di gomito.	Durante l'estensione nessun nervo ulnare ha avuto un movimento trasversale, durante la flessione in 51 gomiti non c'è stato movimento trasversale, in 30 c'è stata sublussazione e in 19 c'è stato movimento trasversale. L'angolo di movimento è minore nei gomiti che presentano il muscolo anconeale epitrocleare
Novak et al. ⁸ 2012	Controlled laboratory study	Valutare la dinamica del nervo ulnare al gomito	vengono applicate sul nervo ulnare di 11 cadaveri (55-85 anni, età media 74) clips metalliche in 3 punti: epicondilo mediale (A), 3 cm prossimalmente all'epicondilo (B), e 14 cm prossimalmente all'epicondilo (C). viene misurata la distanza tra l'epicondilo mediale e i 3 punti elencati e tra ogni coppia di punti durante la completa flesso-estensione del gomito.	Con la flessione massima al punto A non avviene scivolamento, nel punto B e C invece l'escursione distale è significativa (rispettivamente 0.7 ± 0.3 cm, la maggior parte negli ultimi 20°, e 0.2 ± 0.2 cm). Prossimalmente al tunnel cubitale c'è una regione di "slack" che viene annullato durante la flessione.
Dilley 2007 et al. ³	Controlled laboratory study	Quantificare lo sliding del nervo ulnare durante il movimento degli arti superiori	Il nervo ulnare viene studiato nel braccio e nell'avambraccio tramite ecografia in 15 soggetti (23-50 anni, media 30 anni) Durante 40° di estensione di polso a diversi preposizionamenti di spalla	L'estensione di polso porta ad uno sliding del nervo nell'avambraccio fino a 4 mm invece l'abduzione di spalla e la flessione di gomito causano un minimo movimento del nervo. Durante 40° di estensione di polso a 90° di abduzione di

			<p>e gomito, durante 90° di flessione di gomito e durante l' abduzione di spalla.</p>	<p>spalla e gomito esteso, il nervo ulnare scivola in una direzione distale (avambraccio distale = 2.1 mm , avambraccio prossimale = 1.1 mm.)</p> <p>C'è un aumento del movimento del nervo durante l'estensione del polso a 40° a gomito flesso e spalla abdotta a 90° rispetto a gomito esteso e spalla abdotta a 40°</p> <p>$P < 0.01$ (rispettivamente avambraccio distale =4.0 mm, avambraccio prossimale= 2.3 mm e avambraccio distale = 3.0 mm , avambraccio prossimale= 1.6 mm).</p> <p>La flessione del gomito produce una escursione del nervo minima nell'avambraccio distale (scivolamento prossimale 0.8 mm) e nel braccio prossimale (scivolamento distale 0.1 mm).</p> <p>L'abduzione della spalla da 40° a 90° con il gomito esteso o con il gomito a 90° produce un' escursione trascurabile (avambraccio e braccio = 0.1 mm).</p>
Wright et al. ²² 2001	Controll ed laborato ry study	Quantificar e l'escursion e del nervo ulnare al	Il movimento del nervo ulnare viene osservato al gomito, prossimalmente al tunnel cubitale, e al polso, prossimalmente al canale di	Scivolamento medio: 4.9 mm prossimale al gomito durante un'abduzione di spalla da 30° a 110°, 5.1 mm distale al gomito per la flessione di gomito a 90°,

		gomito e al polso durante i movimenti dell'arto superiore	guyon, in 5 cadaveri (10 braccia), durante abduzione-adduzione di spalla, durante flesso-estensione di gomito, durante flesso-estensione di polso, durante deviazione radiale-ulnare di polso, pronazione-supinazione di avambraccio, flesso-estensione di metacarpofalangee e interfalangee prossimali e combinazioni di questi movimenti.	13.6 mm totali al polso quando questo viene mosso da 60° di estensione a 65° di flessione. Durante i movimenti combinati si registra un'escursione totale di 21.9 mm al gomito e 23.2 mm al polso.
Coppie et al. ¹³ 2016	Controll ed laboratorio cross-sectiona l study	Determinar e quale tecnica neurodina mica produce la maggiore escursione del nervo sciatico	Il nervo sciatico è stato esaminato tramite ecografia dinamica in punti diversi della coscia in 15 soggetti sani (età media 27 ±2.7 anni) durante 6 mobilizzazioni neurodinamiche	La tecnica di tensioning è associata alla minor escursione (3.2 ± 2.1 mm; P≤.004), la tecnica di sliding è associata alla maggior escursione (17.0 ± 5.2 mm; P<.001)
Ellis et al. ¹¹ 2016	Controll ed laboratorio study	Determinar e se differenti esercizi di mobilizzazi one neurodina mica provocano	Il nervo sciatico è stato studiato con ecografia nella regione posteriore media della coscia in 31 soggetti sani, durante 4 differenti esercizi di mobilizzazione nervosa coinvolgendo l'estensione del ginocchio e la flesso-estensione	Ci sono differenze statisticamente significative nello scivolamento del nervo sciatico tra la tecnica di slider e la tecnica di tensioner (media di 3.2 ± 2.0 contro 2.6 ± 1.5 mm; P= .002) e tra lo slider e gli esercizi di mobilizzazione di una singola articolazione (2.6 ± 1.4

		differenti quantità di scivolamento del nervo sciatico	cervicale in diverse combinazioni.	mm per il B, $P = .002$; -0.1 ± 0.1 mm per il C. $P < .001$).
Ridehalgh et al. ¹² 2013	Controlled laboratory study	Quantificare l'escursione del nervo sciatico durante SLR modificato	Il nervo sciatico è stato studiato con ecografia, su piani trasversi e longitudinali, nella coscia in 16 soggetti sani (età 19-68 anni) durante l'estensione del ginocchio da 90° a 0°, con l'anca preposizionata in flessione a 30° e a 60°	L'escursione longitudinale varia dai 6.4 ai 14.7 mm (media 9.92 mm) a 30° di flessione di anca, e dai 5.1 ai 20.2 mm (media 12.4 mm) a 60° di flessione di anca.
Shum et al. ²³ 2012	Controlled laboratory study	Misurare l'escursione del nervo tibiale nella fossa poplitea durante la flessione lombare attiva	Il nervo tibiale è stato studiato con ecografia nella fossa poplitea in 25 soggetti sani (media 28.54 anni), durante la flessione lombare attiva massima in stazione eretta	L'escursione prossimale registrata è di 12.2 mm. Leggermente maggiore nelle donne rispetto agli uomini (12.8 mm contro 11.6 mm)
Carroll et al. ¹ 2012	Controlled laboratory study	Misurare l'escursione del nervo tibiale durante la dorsiflessione della caviglia in carico	Il nervo tibiale è stato studiato con ecografia superiormente al malleolo mediale in 16 soggetti sani (età media 34,7 anni) durante una dorsiflessione attiva da -20° a 10°, in carico.	Escursione media $2.99 \text{ mm} \pm 0.22 \text{ mm}$

De Leeuw et al. ²⁴ 2009	Controll ed laboratorio study	Studiare decorso e movimento del nervo peroneale superficiale e in posizioni differenti di piede e caviglia	Il nervo peroneale superficiale è stato studiato, su dieci gambe appartenenti a 10 cadaveri (età 65-90 anni) amputate 15 cm sotto il ginocchio, durante un movimento di caviglia da 10° di flessione plantare e inversione a 5° di dorsiflessione, durante la flessione del 4° dito, durante la flessione di tutte le dita.	Lo scivolamento laterale medio durante il movimento di caviglia da 10° di flessione plantare e inversione fino alla posizione neutra e fino alla dorsiflessione di 5° è rispettivamente di 2.4 mm e 3.6 mm. La flessione del 4° o di tutte le dita, con la caviglia in posizione neutra, non crea scivolamento del nervo.
Lohman et al. ²⁵ 2015	cross-sectiona l i cadaveri c study	Determinar e il movimento e tensione delle radici cervicali C5-C8 durante l' ULNTT , con minima invasività sui tessuti	Le radici cervicali da C5 a C8 vengono osservate con markers su 11 cadaveri(95-53 anni, media 80 anni) non imbalsamati durante l' ULNTT (depressione di spalla, abduzione di 110°, rotazione esterna, supinazione, estensione di polso e dita e gomito)	La parte intraforaminale scivola infero-lateralmente, parallelamente all'asse della radice, da 2.16 a 2.29 mm. La parte extraforaminale della radice scivola infero lateralmente da 3.15 a 4.32 mm. La differenza tra lo scivolamento di C5 e C6 è significativo (rispettivamente 3.15 mm contro 4.32 mm, P = 0.009).
Gilbert et al. ²⁶ 2007	Cross sectiona l i cadaveri c study	Confrontar e il movimento delle radici lombari durante differenti SLR	Le radici L4, L5,S1 sono state studiate con markers in 10 cadaveri non imbalsamati durante l' SLR senza preposizionamento della caviglia (SLR NPP) e l'SLR con preposizionamento in dorsiflessione (SLR DF)	L' SLR NPP produce un maggior scivolamento distale di L5 e S1(P < 0.001) rispetto all' SLR DF. Le differenze registrate su L4 non sono significative.

DESCRIZIONE DEGLI ARTICOLI INCLUSI:

In una revisione sistematica del 2014 Silva et al.² valutano tutti gli studi presenti in letteratura trattanti l'escursione del nervo in vivo in soggetti sani durante differenti movimenti articolari. Gli autori selezionano 12 articoli: 8 riguardanti la biomeccanica del nervo mediano, 1 riguardante il nervo ulnare, 1 il nervo tibiale, 1 il nervo sciatico e 1 riguardante sia il nervo tibiale sia lo sciatico. I risultati evidenziano che l'escursione varia tra 0.1 mm e 12.5 mm per il nervo mediano, tra 0.1 mm e 4.0 mm per il nervo ulnare, tra 0.7 mm e 5.2 mm per il nervo tibiale e tra 0.1 mm e 3.5 mm per il nervo sciatico.

Dagli studi analizzati si evince che lo slider produce la maggiore escursione e il tensioner la minore escursione. Per esempio la contemporanea estensione del gomito e la lateroflessione cervicale omolaterale (con preposizionamento in abduzione di spalla a 90°) inducono 10.2 mm di sliding prossimale del nervo mediano mentre una contemporanea estensione del gomito e lateroflessione cervicale controlaterale inducono 1.8 mm di scivolamento prossimale del nervo mediano (Coppieters et al., 2009). Questo vale anche per il nervo sciatico: l'estensione simultanea di ginocchio e collo, con soggetto in posizione seduta e anche flesse a 90°, induce 3.3 mm di scivolamento distale, mentre l'estensione di ginocchio associata alla flessione cervicale porta a 2.6 mm di scivolamento distale. (Ellis et al., 2012)

Viene assunto anche che l'escursione del nervo varia in base al ROM articolare utilizzato (figura 2), per esempio quando il polso viene mosso da 40° di flessione alla posizione neutra, partendo da differenti preposizionamenti in abduzione di spalla e flesso-estensione di gomito, viene indotto meno scivolamento distale nel nervo mediano (braccio: da 0.2 mm a 0.6 mm; avambraccio: da 3.1 mm a 5.6 mm), rispetto a quando il polso viene mosso da 0° a 40°/60°/70° di estensione (braccio: da 1.8 mm a 2.4 mm; avambraccio: 1.9 mm a 4.7 mm) (Dilley et al., 2003; Echigo et al., 2008; Hough et al., 2000).

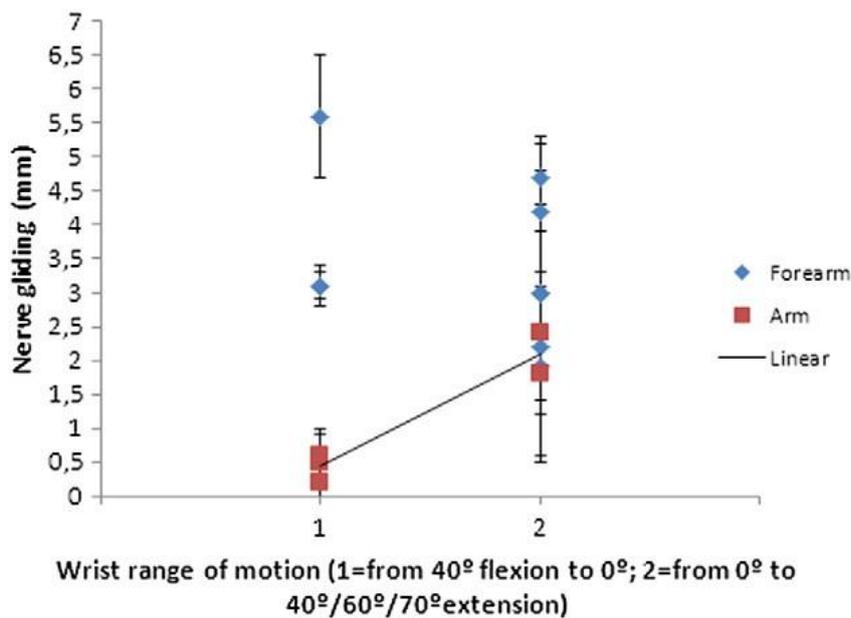


Figura 2 . glide del nervo mediano in base all'escursione articolare del polso.²

Viene confermato inoltre che lo scivolamento diminuisce all'aumentare della distanza dall'articolazione in movimento, per esempio l'estensione del polso da 0° a 40°, con la spalla in abduzione a 30° o 90°, induce uno sliding distale medio del nervo mediano tra 0.2 e 2.4 mm nel braccio e tra 4.6mm e 5.6 mm nell'avambraccio (figura 3, Dilley et al 2003) e il lateral glide cervicale, con la spalla posizionata a 30° di abduzione, induce 2.5 mm di gliding prossimale del nervo mediano nell' avambraccio distale e 3.3 mm nel medio avambraccio (Brochwicz et al., 2013).

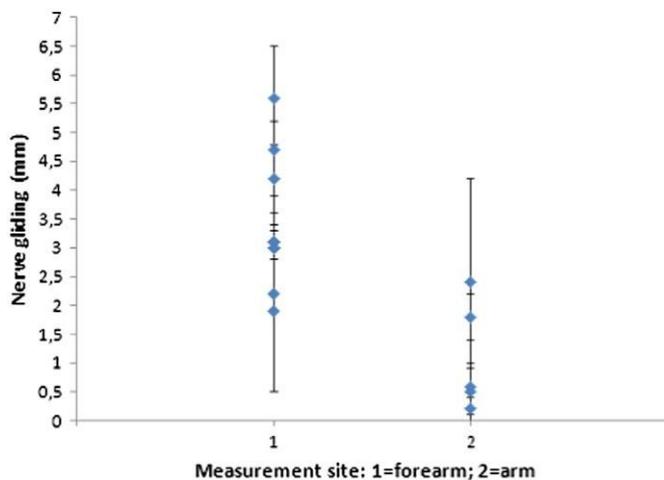


Fig 3. sliding nel braccio e nell'avambraccio.²

Viene altresì dimostrato che se il letto del nervo viene allungato il nervo scivola verso l'articolazione in movimento, mentre se il letto viene accorciato il nervo scivola allontanandosi dall'articolazione, infatti la flessione delle dita, con arto superiore

preposizionato a 30° di abduzione, gomito esteso e avambraccio supinato, induce uno sliding del mediano prossimale al braccio e all'avambraccio, mentre l'estensione delle dita o del polso induce uno sliding distale (Echigo et al. 2008). Anche l'estensione del gomito, con la spalla posizionata a 90° di abduzione, causa un convergenza del mediano verso il gomito, cioè il nervo scivola distalmente nel braccio e prossimalmente nell'avambraccio (Coppieters et al., 2009; Dilley et al., 2003), infine l'abduzione di spalla e la lateroflessione cervicale controlaterale sembrano indurre uno scivolamento prossimale del mediano sia al braccio sia all'avambraccio. Gli autori desumono anche che effettuare l'estensione di polso, dopo aver preposizionato la spalla in abduzione, aumenti lo scivolamento del nervo mediano (a 30° di abduzione: da 1.9 mm a 3.0 mm di escursione, a 45° di abduzione: 4.7 mm; a 90° di abduzione: 4.2 mm) (figura 4, Dilley et al 2003).

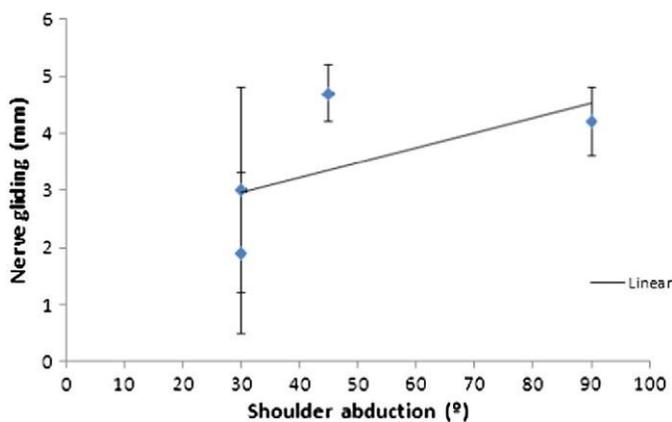


Fig 4. media e deviazione standard per lo scivolamento del nervo mediano misurato all'avambraccio durante l'estensione di polso in relazione ai gradi di abduzione di spalla.²

Infine l'impatto della lateroflessione cervicale controlaterale, sullo scivolamento prossimale del nervo mediano, è stata indagata in 3 studi, che prevedono differenti preposizionamenti della spalla dalla posizione neutra ai 30° o 90° di abduzione (Brochwicz et al., 2013; Coppieters et al., 2009; Julius et al., 2004). I valori medi variano tra 0.9 mm e 3.4 mm nel braccio e tra 0.6 mm and 2.3 mm nell'avambraccio. La lateroflessione cervicale controlaterale, con la spalla in abduzione a 30°, induce meno scivolamento rispetto al lateral glide cervicale controlaterale (a livello di C5-C6:lateral glide = 3.3 mm; flessione laterale = 2.3 mm e a livello dell'avambraccio distale: lateral glide = 2.5 mm; flessione laterale = 1.9 mm) (Brochwicz et al., 2013).

STUDI SUL NERVO MEDIANO:

Nel 2015 Meng et al.¹⁰ dimostrano su cadavere, tramite ecografia e markers, che nuovi esercizi di mobilizzazione neurodinamica, coinvolgenti il movimento delle dita, producono uno sliding del nervo mediano nell'avambraccio maggiore rispetto agli studi precedenti.

I cadaveri sono stati posizionati supini, con arto addotto e avambraccio in posizione neutra, il gruppo 1 è stato sottoposto a esercizi di mobilizzazione neurodinamica "convenzionali", coinvolgenti la flessione-estensione di polso, con o senza flessione laterale del collo, o la flessione-estensione del gomito (immagini da A a F nella figura 5), il gruppo 2 è stato sottoposto agli stessi esercizi dell'1 (da A a F), per valutare la sovrapposibilità, e in più a 2 esercizi nuovi caratterizzati dall'adduzione e abduzione delle dita (G, H).

Dal momento che, dopo la divisione del nervo mediano nel tunnel carpale, un ramo scorre obliquo al primo dito e uno obliquo al quarto, gli autori ipotizzano e dimostrano che la massima abduzione del primo e quarto dito possa indurre una sostanziale escursione distale del nervo mediano nel tunnel carpale (13.8 mm), quasi il doppio rispetto agli esercizi convenzionali (6.6 mm).

A livello degli altri markers, nel gruppo sottoposto a esercizi "convenzionali" si quantifica uno sliding di 12 mm, prossimalmente al tunnel carpale, e di 13.8 mm tra le origini del pronatore rotondo; nel gruppo sottoposto ai nuovi esercizi di abduzione delle dita lo scivolamento prossimalmente al tunnel carpale è di 13.2 mm.

Non si è rilevato un sostanziale scivolamento del nervo durante la lateroflessione cervicale. Gli esercizi realizzati sui cadaveri e la quantità di sliding relativo sono illustrati nella figura 5.

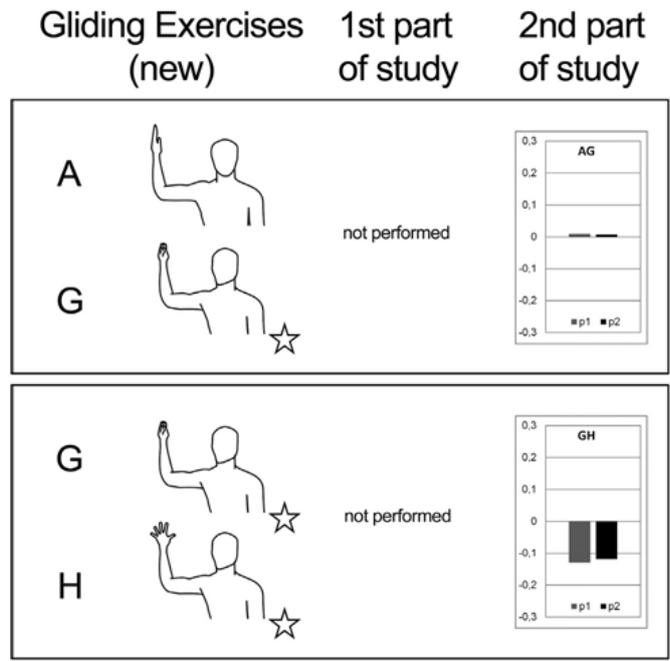
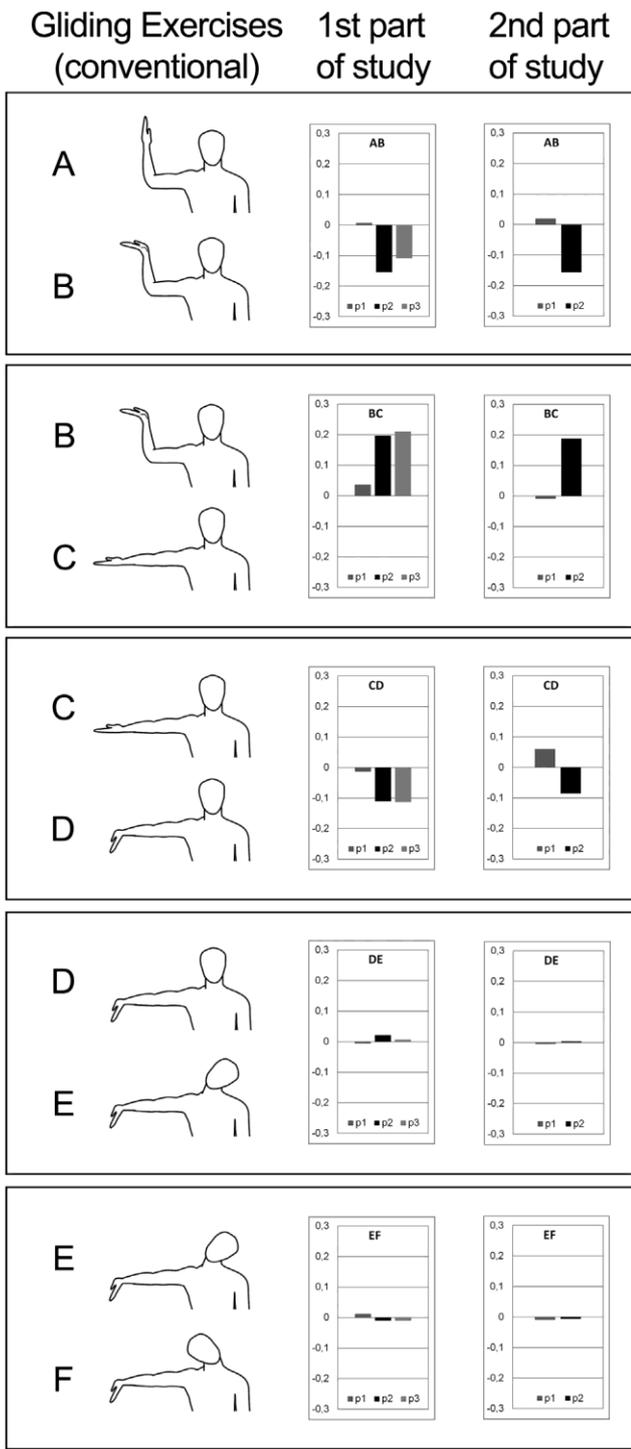


Fig 5 escursione del nervo. Le lettere e i disegni indicano la posizione iniziale e finale..le scale presentate nel grafico indicano i millimetri di movimento dei markers per ogni centimetro di lunghezza del braccio. I numeri positivi indicano un movimento prossimale, I numeri negativi un movimento distale, P1= posizione 1 del marker, P2 =posizione 2 del marker, P3 = posizione 3 del marker (3).¹⁰

Wang e al.¹⁷ nel 2014 dimostrano che alcuni movimenti del polso, come la flessione massima e la deviazione ulnare (a soggetto seduto ,con spalla in posizione neutra e avambraccio supinato), inducono un significativo scivolamento trasversale del nervo mediano nel tunnel carpale.

Questi sono i risultati normalizzati in base alla lunghezza della mano e espressi in “normalized unit” (1 Nu corrisponde ad uno scivolamento dell’ 1% della lunghezza della mano):

Lo scivolamento trasversale del nervo mediano durante flessione del polso a dita estese (2.36 ± 0.79 NU), flessione del polso con dita flesse (2.46 ± 0.84 NU) e deviazione ulnare del polso con dita estese (2.86 ± 0.51 NU) è maggiore rispetto allo scivolamento trasversale durante i movimenti di flessione delle dita (0.82 ± 0.33 NU), estensione di polso a dita estese (0.77 ± 0.46 NU) e estensione di polso a dita flesse (0.81 ± 0.58 NU), $p < 0.0001$.

Non c’è differenza statisticamente significativa nell’ampiezza di scivolamento trasversale tra flessione di polso a dita estese, flessione del polso con dita flesse, deviazione ulnare del polso con dita estese ($p = 0.1204$) o tra flessione delle dita, estensione di polso con dita estese e estensione di polso con dita flesse ($p = 0.9560$).

La causa dello scivolamento trasversale sono i tessuti adiacenti che spingono o tirano il nervo mediano : durante la flessione del polso i tendini dei flessori si muovono palmarmente all’interno del tunnel, verso la posizione del nervo, quest’ultimo può rimanere fermo e rimanere compresso, oppure, può muoversi verso la posizione che i tendini hanno lasciato libera, per scappare dalla compressione. Nei nervi normali, senza sindrome del tunnel carpale, si verifica il secondo scenario. In modo similare, durante la deviazione ulnare, i tendini si spostano verso il lato ulnare , spingendo radialmente il nervo mediano.

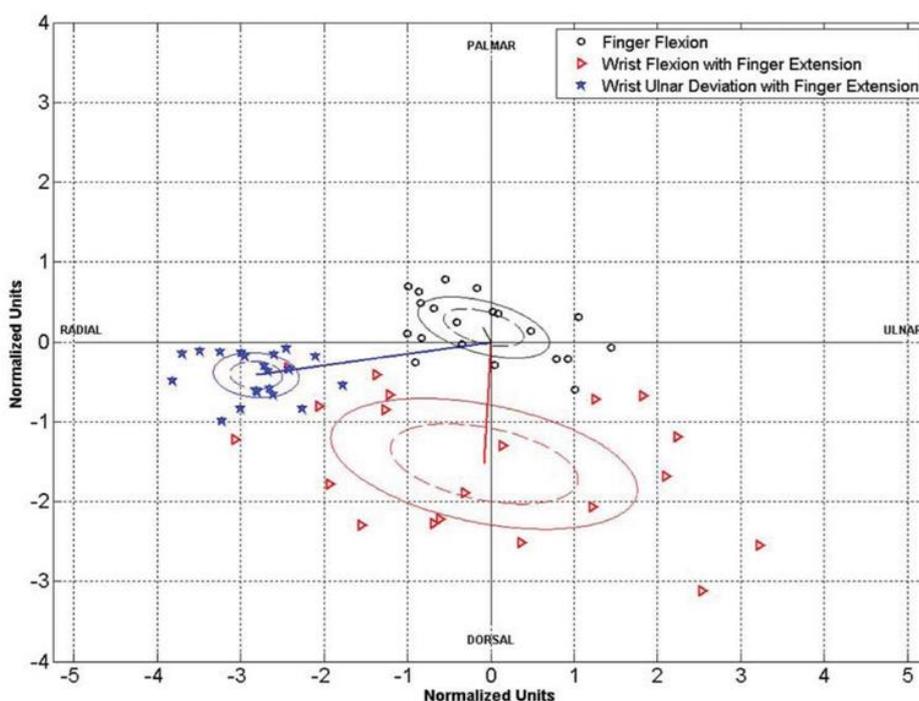


Fig 6. scivolamento trasversale del nervo mediano durante la flessione delle dita, la flessione del polso a dita estese, deviazione ulnare di polso a dita estese.¹⁹

Brochwicz et al.¹⁸, con uno studio del 2012, dimostrano che il lateral glide cervicale (CLG), partendo da un preposizionamento della spalla in abduzione a 30°, induce una quantità di sliding longitudinale maggiore rispetto alla lateroflessione cervicale (CLF) e la differenza è statisticamente significativa (sliding indotto dal CLF: nel medio avambraccio tra 1.3mm e 3.3mm con una media di 2.3 mm, nell'avambraccio distale tra 1.4 mm e 2.8 mm con una media di 1.9 mm. Sliding indotto dal CLG: nell'avambraccio distale tra 1.8 mm e 4.9 mm con una media di 3.3 mm, nel medio avambraccio tra 1.6 mm e 4.2mm con una media di 2.5 mm).

Anche lo studio su cadavere del 2010 di Nee et al.¹⁹ mette in luce che quando il letto del nervo viene allungato il nervo scivola verso l'articolazione in movimento, mentre, quando viene accorciato, il nervo scivola nella direzione opposta.

Dimostrano infatti che 3 diverse sequenze di movimento create combinando in modo differente le componenti dell' ULNT1 inducono 3 percorsi di scivolamento differenti nel nervo mediano al polso ($p < 0.001$).

Le sequenze utilizzate sono:

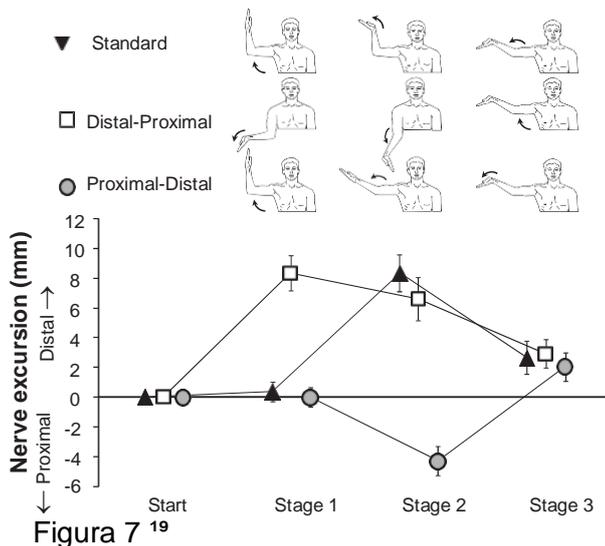
- 1) abduzione di spalla, estensione di polso, estensione di gomito
- 2) estensione di polso, estensione di gomito, abduzione di spalla
- 3) abduzione di spalla, estensione di gomito, estensione di polso

La posizione di partenza prevede il tratto cervicale in posizione neutra, la spalla a 20° di abduzione e 90° di rotazione esterna.

I risultati ci mostrano che alla fine di ognuna delle tre sequenze, il nervo mediano risulta aver effettuato un'escursione distale di 2-3 mm senza nessuna differenza statisticamente significativa tra le 3.

L'abduzione di spalla, quando effettuata come primo movimento, crea una minima escursione del nervo al polso, poiché il segmento del nervo risulta distante dall'articolazione in movimento.

La direzione e la quantità dell'escursione vengono illustrate nella figura seguente:



Coppieters et al.¹⁴ nel 2009 esaminano, tramite uno studio in vivo con ecografia dinamica, l'effetto che diverse mobilizzazioni neurodinamiche hanno sul movimento del nervo mediano sano, nel braccio preposizionato a 90° di abduzione:

- 1) contemporanea estensione di gomito e lateroflessione cervicale omolaterale (slider)
- 2) contemporanea estensione di gomito e lateroflessione controlaterale cervicale (tensioner)
- 3) estensione del gomito con preposizionamento in lateroflessione cervicale omolaterale
- 4) estensione del gomito con preposizionamento in lateroflessione cervicale
- 5) lateroflessione cervicale controlaterale con preposizionamento in flessione di gomito
- 6) lateroflessione cervicale controlaterale con preposizionamento in flessione di gomito.

Gli autori dimostrano che diverse tecniche di neuromobilizzazione creano scivolamenti statisticamente differenti a livello del nervo mediano. ($P < .0001$). Lo slider induce ,la maggior escursione (media 10.2 ± 2.8 mm; $P = .0001$) invece il tensioner crea minimo scivolamento (media 1.8 ± 4.0 mm) , inferiore perfino a quello indotto da movimenti della testa o del gomito (media 3.4 ± 0.9 a 5.6 ± 2.1 mm; $P = .0001$).

Non c'è differenza statisticamente significativa tra lo scivolamento prodotto dal tensioner e dal movimento del collo.

Aggiungono che l'estensione del gomito e lo slider inducono sempre uno scivolamento distale, la lateroflessione cervicale controlaterale sempre un'escursione prossimale.

Ugbohue et al.²⁰ in uno studio del 2004 su sette arti superiori sezionati da cadaveri, ci confermano lo scivolamento longitudinale e trasversale effettuato dal nervo mediano nel polso, durante il movimento delle dita. Infatti muovendo la metacarpofalangea di indice e

medio da 15° di estensione a 75° di flessione, con preposizionamento a spalla abdotta, gomito flesso, avambraccio pronato, si registra una massima escursione longitudinale del nervo mediano di 3 mm per l'indice e 4.0 mm per il medio e un massimo scivolamento trasversale in direzione radio-ulnare e dorso-palmare da 1.4 a 5.1 mm.

Julius et al.⁴ con uno studio in vivo del 2004, espongono gli effetti che la slouched posture (anteposizione del capo, flessione di tronco e protrazione di spalle) può avere sul movimento del nervo mediano. Studiando con ecografia il movimento del nervo in 14 soggetti durante la protrazione del capo, la flessione del tronco, la protrazione delle spalle, e la lateroflessione cervicale controlaterale di 35°, dimostrano che la protrazione delle spalle riduce lo scivolamento del nervo.

Infatti, se la spalla è in protrazione, durante la lateroflessione cervicale controlaterale c'è una riduzione del 60% del movimento del nervo, rispetto a quando la spalla è in posizione neutra (spalla neutra: 2.3 mm nel braccio, 1.5 mm nell'avambraccio. Spalla protratta: 0.9 mm al braccio, 0.6 mm all'avambraccio).

Riguardo agli altri movimenti durante la protrazione singola delle spalle si registra uno scivolamento prossimale del nervo mediano di 3.5 mm all'avambraccio e 5.9 mm al braccio, invece l'anteposizione del capo e la flessione del tronco non producono scivolamenti prossimali statisticamente significativi (0.1 mm).

Dilley et al.⁹ nel 2003 studiano il movimento del nervo mediano al braccio e all'avambraccio, tramite ecografia, in 34 soggetti sani (20–59 anni), durante 40° di estensione del polso, 80° di abduzione di spalla, 90° di estensione di gomito e 35° di lateroflessione cervicale controlaterale, effettuati singolarmente partendo da vari preposizionamenti di spalla e gomito.

Essi riescono a quantificare l'escursione del nervo mediano, questa varia da un minimo di 0.3 mm prossimali, per la lateroflessione cervicale controlaterale, a un massimo di 10.4 mm per l'estensione del gomito.

Con il gomito flesso lo sliding è ritardato perché i fascicoli nervosi sono detensionati e ondulati.

Con l'estensione del polso il nervo scivola distalmente in totale 6 mm, il movimento si riduce allontanandosi dall'articolazione. Preposizionando la spalla a 90° di abduzione si registra un riduzione di movimento del nervo del 20%, confrontato con il preposizionamento a 45° di abduzione ($p < 0.05$).

La media dell'escursione del nervo per gradi di movimento articolare, rispettivamente nell'avambraccio e nel braccio, è 0.09 e 0.06 mm/gradi a 45° di abduzione di spalla, 0.08 e 0.05 mm/gradi a 90° di abduzione di spalla.

L'estensione del polso effettuata con gomito flesso o esteso produce un' escursione simile nell'avambraccio (rispettivamente 5.7 mm e 5.2 mm), invece nel braccio non c'è scivolamento con il gomito flesso rispetto a gomito esteso (rispettivamente 0.2 mm e 2.1 mm) $p < 0:05$.

Riguardo all'abduzione di spalla da 10° a 90° la quantità maggiore di scivolamento prossimale avviene negli ultimi 40-50° (da 10° a 45°: 0.7 mm, da 45° a 90°: 4 mm).

Durante l'estensione di gomito da 90° a 0°, con spalla in abduzione a 90°, il nervo si muove in direzione distale nel braccio (10.4 mm) e prossimale nell'avambraccio (3 mm).

Non c'è movimento del nervo durante i primi 40- 50° di estensione.

Ripetendo l'estensione di gomito, preposizionando il polso a 45° di estensione, si registra un'escursione del mediano maggiore del 40% ($p < 0.05$).

Durante la lateroflessione cervicale controlaterale il nervo scivola prossimalmente con un range variabile da soggetto a soggetto (da 0.5 a 2.3 mm). L'escursione è molto minore con la spalla preposizionata a 30° di abduzione rispetto a 90° di abduzione ($p < 0:05$).

I risultati sono riassunti in tabella:

Tabella 3: Riassunto dello sliding nervoso nel medio avambraccio e nel braccio distale.⁹

Summary of nerve sliding in the mid-forearm and distal upper arm during wrist, shoulder, elbow and neck movements							
Joint	Movement	Stationary joint angles			n	Mid-forearm (mm)	Distal upper arm (mm)
		Shoulder	Elbow	Wrist			
Wrist	Neutral to 40° extension	45°	0°		10	+4.7 (SD, 0.5)	+2.4 (SD, 0.8)
		90°	0°		10	+4.2 (SD, 0.6)	+1.8 (SD, 0.4)
	40° flexion to neutral	30°	90°		4	+5.6 (SD, 0.9)	+0.2 (SD, 0.2)
		45°	0°		6	+3.1 (SD, 0.3)	+0.5 (SD, 0.4)
		90°	0°		3	+3.1 (SD, 0.2)	+0.6 (SD, 0.4)
Shoulder	10-90° abduction		0°	0°	4	-3.4 (SD, 0.8)	-5.2 (SD, 0.7)
Elbow	90° flexion to neutral	90°		0°	7	-3.0 (SD, 1.0)	+10.4 (SD, 2.3)
		90°		45°	4	-4.2 (SD, 1.1)	
Neck	Neutral to 35° flexion	30°	0°	0°	8	-0.3 (SD, 0.6)	-0.5 (SD, 0.8)
		90°	0°	0°	9	-0.8 (SD, 0.3)	-1.3 (SD, 0.7)

I primi studi in vivo vengono svolti nel 1975-1976 da Mclellan e Swash⁶ che scoprono e confermano lo scivolamento del nervo e della sua direzione.

Lo studio viene svolto in vivo in modo invasivo, infatti vengono impiantati elettrodi nel nervo mediano su 15 soggetti (età 19-72 media 48 anni) a metà braccio e a 4 soggetti (22-41 anni) nel polso. Una volta posizionati supini con l'arto abdotto 45°, vengono

effettuati movimenti attivi e passivi delle braccia (flesso-estensione dita, polso, pronazione-supinazione avambraccio, flesso-estensione, lateroflessione e rotazione collo).

Si scopre che i movimenti attivi e passivi producono lo stesso scivolamento, che l'escursione maggiore avviene durante l'estensione di polso e dita (scivolamento distale di 7.4 mm) e la flessione del gomito (scivolamento prossimale di 4.3 mm) e lo scivolamento associato al movimento di polso e dita è da 2 a 4 volte maggiore al polso rispetto al braccio.

Tuttavia i mezzi di misurazione utilizzati, che non permettono di isolare il movimento del nervo dai movimenti dei tessuti molli circostanti agli elettrodi, impediscono un'accurata misurazione dei dati.

STUDI SUL NERVO ULNARE:

Kawahara et al.²¹ nel 2016, valutando 100 gomiti sani con risonanza magnetica, dimostrano che, nel tunnel cubitale, durante l'estensione del gomito, il nervo ulnare non ha movimento trasversale, durante la flessione invece in 51 gomiti non c'è stato movimento trasversale, in 30 c'è stata sublussazione e in 19 c'è stato movimento trasversale. Scoprono anche che l'angolo di movimento è minore nei gomiti che presentano il muscolo anconeo epitrocleare (muscolo accessorio presente solo nell'11% dei gomiti selezionati).

Ulteriori notizie sulla biomeccanica del nervo ulnare provengono dallo studio di Novak et al.⁸ che nel 2012, tramite uno studio effettuato su 11 cadaveri, esaminano il movimento del nervo ulnare durante la flesso-estensione del gomito, in 3 punti: all'altezza dell'epicondilo mediale (A), 3 cm prossimalmente all'epicondilo (B), e 14 cm prossimalmente all'epicondilo (C). Dimostrano che con la flessione massima al punto A non avviene scivolamento, invece nel punto B e C l'escursione distale è significativa (rispettivamente 0.7 ± 0.3 cm, la maggior parte negli ultimi 20° , e 0.2 ± 0.2 cm).

Scoprono anche che prossimalmente al tunnel cubitale c'è una regione di "slack" del nervo il quale viene sfruttato e annullato durante la flessione, è questo a ritardare lo sliding e a ridurre la tensione sull'ulnare.

Studi più approfonditi riguardo allo sliding del nervo ulnare arrivano da Dilley et al.³ che nel 2007 registrano il movimento del nervo al braccio e all'avambraccio in 15 soggetti sani

con ecografia, durante 40° di estensione di polso a diversi preposizionamenti di spalla e gomito, durante 90° di flessione di gomito e durante l'abduzione di spalla.

Dimostrano che l'estensione di polso porta ad uno sliding distale nell'avambraccio fino a 4 mm invece l'abduzione di spalla e la flessione di gomito causano un minimo movimento del nervo (prossimale per l'abduzione, prossimale all'avambraccio e distale al braccio per la flessione del gomito).

Precisamente durante 40 di estensione di polso, a 90° di abduzione di spalla e gomito esteso, il nervo ulnare scivola in una direzione distale (avambraccio distale = 2.1 mm ,avambraccio prossimale = 1.1 mm.)

Riguardo all'effetto del pretensionamento scoprono che c'è un aumento del movimento del nervo durante l'estensione del polso a 40° a gomito flesso e spalla abdotta a 90° rispetto a gomito esteso e spalla abdotta a 40° $P < 0.01$ (rispettivamenteavambraccio distale = 4.0 mm,avambraccio prossimale= 2.3 mm eavambraccio distale = 3.0 mm ,avambraccio prossimale 1.6 mm).

La flessione del gomito produce una escursione del nervo minima nell'avambraccio distale (scivolamento prossimale 0.8 mm) e nel braccio prossimale (scivolamento distale 0.1 mm). L'abduzione della spalla da 40° a 90° con il gomito esteso o con il gomito a 90° produce un'escursione trascurabile (avambraccio e braccio = 0.1 mm).

Whrigh et al.²² nel 2001 svolgono uno dei primi studi su cadavere sul nervo ulnare. Il movimento del nervo viene osservato al gomito, prossimalmente al tunnel cubitale, e al polso, prossimalmente al canale di guyon, in 5 cadaveri (10 braccia), durante abduzione-adduzione di spalla, durante flesso-estensione di gomito, durante flesso-estensione di polso, durante deviazione radiale-ulnare di polso, pronazione-supinazione diavambraccio, flesso-estensione di metacarpofalangee e interfalangee prossimali e durante combinazioni di questi movimenti. I cadaveri sono posizionati supini con spalla in abduzione a 90°, gomito a 10° di flessione,avambraccio a 30° di supinazione, polso e dita in posizione neutra.

Elenchiamo i risultati che registrano uno scivolamento maggiore di 3 mm al polso : estensione delle dita (3.7 mm distale), estensione del polso (5.8 mm distale), flessione del polso (7.8 mm prossimale), pronazione (4.4 mm distale) , la combinazione che provoca il maggior scivolamento distale prevede 30° di abduzione di spalla, 10° di flessione di gomito, pronazione, deviazione radiale del polso, estensione del polso, estensione delle dita (12.5 mm distale), la combinazione che crea la maggior escursione prossimale

prevede 110° di abduzione di spalla, flessione di gomito, supinazione, deviazione ulnare del polso, flessione del polso e delle dita (10.6 mm prossimale), svolgendo entrambe le sequenze in successione si arriva ad un escursione totale al polso di 23.2 mm.

I risultati che registrano uno scivolamento del nervo ulnare al gomito maggiore di 3 mm sono: flessione del gomito a 90° (5.1 mm distale), abduzione di spalla (3.3 mm prossimale), la maggiore escursione distale si registra combinando 30° di abduzione di spalla, flessione del gomito a 90°, pronazione, deviazione radiale del polso, estensione del polso e delle dita (11.3 mm distale), il maggior scivolamento prossimale del nervo ulnare prevede la combinazione di 110° di abduzione di spalla, estensione del gomito, supinazione, deviazione ulnare, flessione delle dita e del polso (5.2 mm prossimale), effettuando entrambe le sequenze in successione si ottiene un'escursione totale di 16.4 mm.

STUDI SUL NERVO SCIATICO:

Nello studio di Coppieters et al.¹³ 2016 Il nervo sciatico è stato esaminato in punti differenti della coscia tramite ecografia dinamica in 15 soggetti sani (età media 27 ±2.7 anni), posizionati in decubito laterale, durante 6 mobilizzazioni neurodinamiche:

- A) estensione di ginocchio e flessione di anca , un esempio di tensioner,
- B) estensione di ginocchio e anca , un esempio di slider,
- C) estensione del ginocchio con anca in posizione neutra ,
- D) estensione di ginocchio con anca preposizionata in flessione ,
- E) flessione di anca con il ginocchio preposizionato in flessione
- F) flessione di anca con il ginocchio preposizionato in estensione

I risultati ci confermano che la tecnica di tensioner (A) è associata alla minor escursione (3.2 ± 2.1 mm; P≤.004) e la tecnica di slider (B) è associata alla maggior escursione (17.0 ± 5.2 mm; P<.001).

Le tecniche B, C, D provocano un'escursione distale, le tecniche E, F causano un movimento prossimale , la tecnica A provoca uno scivolamento distale in 9 partecipanti e prossimale in 6.

I risultati sono riassunti in figura 8:

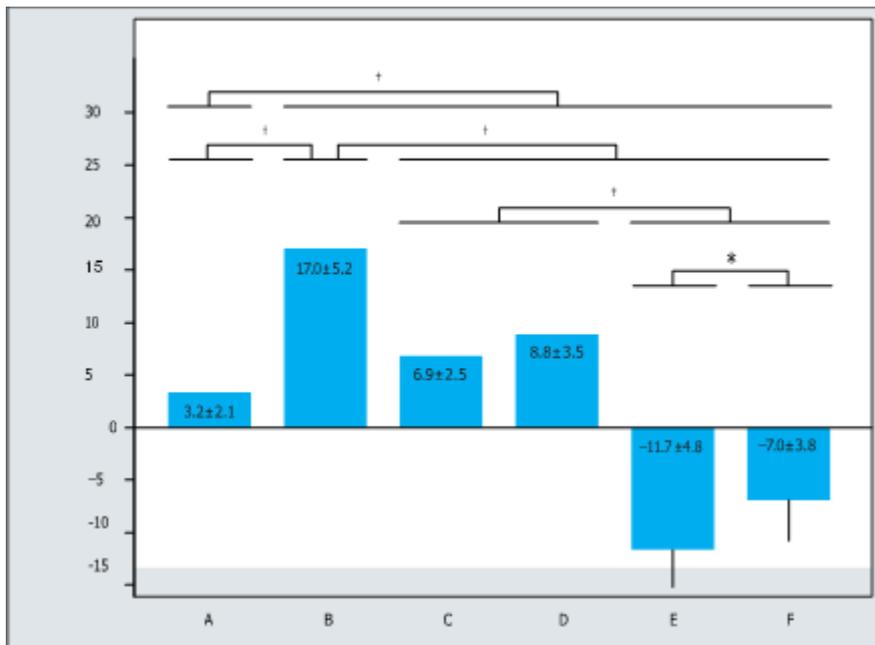


Figura 8 : escursione longitudinale del nervo sciatico . Segno negativo = escursione distale. Segno positivo = escursione prossimale.¹³

Ulteriori conferme provengono dallo studio di Ellis et al.¹¹ del 2016, nel quale Il nervo sciatico viene studiato con ecografia nella regione posteriore media della coscia in 31 soggetti sani, posizionati seduti con le anche a 90° di flessione e rachide toraco-lombare flesso in posizione di slump, durante 4 differenti esercizi di mobilizzazione nervosa:

A) estensione di ginocchio e collo (slider)

B) estensione di ginocchio

C) flessione del collo

D) estensione di ginocchio e flessione cervicale (tensioner)

I risultati dimostrano differenze statisticamente significative nello scivolamento del nervo sciatico tra la tecnica di slider e la tecnica di tensioner (media di 3.2 ± 2.0 contro 2.6 ± 1.5 mm; $P = .002$) e tra lo slider e gli esercizi B e C ($B = 2.6 \pm 1.4$ mm $P = .002$; $C = -0.1 \pm 0.1$ mm $P < .001$). Non c'è differenza statisticamente significativa invece tra il tensioner e l'esercizio B, ma entrambi sono significativamente differenti rispetto al C ($P < .001$).

Nello studio di Ridehalgh et al.¹² 2013 Il nervo sciatico è stato studiato con ecografia (figura 9), su piani trasversi e longitudinali, nella coscia in 16 soggetti sani (età 19-68 anni) durante l'estensione del ginocchio da 90° a 0°, con l'anca preposizionata in flessione a 30° e a 60°.



Figura 9 ¹²

Si dimostra che durante l' SLR modificato c'è una tendenza del nervo a spostarsi superficialmente di 4mm, per il preposizionamento a 30° di flessione di anca, e di 3.6 mm per il preposizionamento a 60°. Si registra anche uno scivolamento trasversale con direzione variabile da soggetto a soggetto.

L'escursione longitudinale distale è risultata maggiore con l'anca preposizionata a 60° di flessione (escursione media di 12.4 mm a 60° di flessione contro una media di 9.92 mm a 30° di flessione) . Questo suggerisce che il pretensionamento potrebbe non ridurre l'escursione del nervo.

STUDI SUL NERVO TIBIALE:

Lo studio di Shum et al.²³ 2012 studia il nervo tibiale con ecografia (figura 10) nella fossa poplitea in 25 soggetti sani (età media 28.54 anni), durante la flessione lombare attiva massima in stazione eretta.

Essi registrano un'escursione prossimale di 12.2 mm, con medie leggermente maggiori nelle donne rispetto agli uomini (12.8 mm contro 11.6 mm).

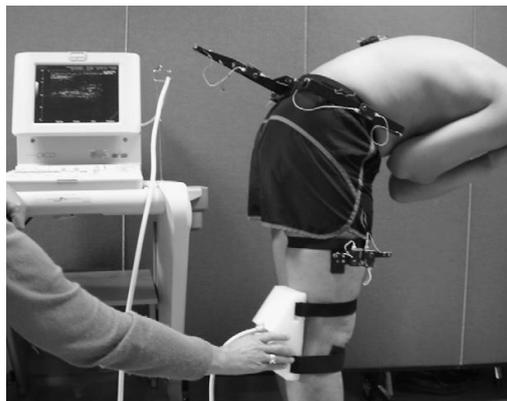


Figura 10 ²³

Nello studio di Carroll et al.¹ il nervo tibiale è stato esaminato con ecografia, superiormente al malleolo mediale, in 16 soggetti sani (età media 34,7 anni) durante una dorsiflessione attiva della caviglia in carico da -20° a +10°, ottenendo come risultato un'escursione distale media 2.99 mm ± 0.22 mm.

STUDI SUL NERVO PERONEALE:

De Leeuw et al.²⁴ nel 2009 studiano il nervo peroneale superficiale, su dieci gambe amputate 15 cm sotto il ginocchio, appartenenti a 10 cadaveri di età 65-90 anni, durante un movimento di caviglia dai 10° di flessione plantare e inversione ai 5° di dorsiflessione, durante la flessione del 4° dito e durante la flessione di tutte le dita.

Lo scivolamento laterale medio durante il movimento di caviglia da 10° di flessione plantare e inversione fino alla posizione neutra e fino alla dorsiflessione di 5° è rispettivamente di 2.4 mm e 3.6 mm.

La flessione del 4° o di tutte le dita, con la caviglia in posizione neutra, non crea scivolamento del nervo.

STUDI SULLE RADICI :

Lohman et al.²⁵ nel 2015 studiano le radici cervicali da C5 a C8 con markers su 11 cadaveri (95-53 anni, media 80 anni) non imbalsamati durante l' ULNTT (depressione di spalla, abduzione di 110°, rotazione esterna, supinazione, estensione di polso e dita e gomito. Figura 11). Scoprono che la parte intraforaminale della radice scivola infero-lateralmente, parallelamente al suo asse, da 2.16 a 2.29 mm e la parte extraforaminale scivola infero lateralmente da 3.15 a 4.32 mm.

La differenza tra lo scivolamento di C5 e C6 è significativo (rispettivamente 3.15 mm contro 4.32 mm, P = 0.009).



Figura 11 ²⁵

Gilbert et al.²⁶ nel 2007 studiando le radici L4, L5, S1 con markers in 10 cadaveri non imbalsamati durante l' SLR senza preposizionamento della caviglia (SLR NPP) e durante l' SLR con preposizionamento in dorsiflessione della caviglia (SLR DF) scoprono che l' SLR NPP produce un maggior scivolamento distale di L5 e S1 ($P < 0.001$) rispetto all' SLR DF. Le differenze registrate su L4 non sono significative.

Lo scivolamento distale medio di L4, L5, S1 è rispettivamente di 0.53 ± 0.83 , 0.48 ± 0.55 , 0.51 ± 0.73 mm durante l' SLR NPP da 0° a 75° di flessione dell'anca, e rispettivamente di 0.06 ± 0.76 , 0.04 ± 0.50 , 0.20 ± 0.52 mm durante l' SLR DF da 0° a 75° di flessione dell'anca.

Non ci sono differenze statisticamente significative nello scivolamento laterale durante le due diverse condizioni. La media di L4, L5, S1 è rispettivamente di 0.17 ± 0.71 , 0.04 ± 0.49 , and 0.15 ± 0.58 , durante l' SLR NPP e 0.23 ± 0.60 , 0.02 ± 0.51 , 0.15 ± 0.50 mm durante l' SRL DF.

DISCUSSIONE

Questa revisione dimostra che differenti movimenti articolari producono diverse quantità di scivolamento del sistema nervoso periferico.

Gli studi esaminati si riferiscono soprattutto al nervo mediano, poiché vi sono pochi articoli in letteratura che prendano in considerazione il movimento di altri nervi; infatti, tra quelli inclusi nella revisione, ne abbiamo 9 riguardanti il nervo mediano, 4 riguardanti il nervo ulnare, 3 il nervo sciatico, 2 il nervo tibiale, 1 il nervo peroneale, 1 le radici cervicali, 1 le radici lombari e 1 revisione sistematica.

Tuttavia i risultati sulla quantità di escursione nervosa, registrata nei vari studi, non sono direttamente confrontabili a causa della eterogeneità di questi ultimi, infatti i movimenti articolari testati, le loro combinazioni, il ROM sfruttato, i preposizionamenti delle articolazioni adiacenti, le tecnologie utilizzate per la registrazione dei dati, il sito di rilevazione dell'escursione sul nervo e i metodi di quantificazione differiscono molto tra i vari articoli.

Silva et al.² nel 2014 desumono, grazie alla loro revisione sistematica di studi in vivo, che il range di escursione registrata nei vari lavori scientifici, durante differenti movimenti, può variare tra 0.1 mm e 12.5 mm per il nervo mediano, tra 0.1 mm e 4.0 mm per il nervo ulnare, tra 0.7 mm e 5.2 mm per il nervo tibiale e tra 0.1 mm e 3.5 mm per il nervo sciatico.

Tuttavia Meng et al.¹⁰, in un recente studio del 2015 registrano, su cadavere, fino a 13.8 mm di sliding distale del nervo mediano, a livello del tunnel carpale, durante l'abduzione delle dita.

Relativamente allo sliding del nervo sciatico, Coppieters et al.¹³ in un recente studio del 2016 in vivo, registrano fino a 17.0 ± 5.2 mm di sliding del nervo nella coscia, durante estensione di ginocchio e anca; risultati molto maggiori rispetto ai 3.2 ± 2.0 mm registrati da Ellis et al.¹¹ nel 2016 durante estensione di ginocchio e collo.

Sebbene ci sia molta variabilità relativamente ai risultati numerici esposti nei lavori scientifici, si rileva ampio accordo, tra gli autori, sul comportamento biomeccanico del nervo.

Le variabili che influenzano lo scivolamento del nervo sono: il range di movimento articolare sfruttato, le articolazioni in movimento, la distanza dall'articolazione in

movimento, il pretensionamento delle articolazioni adiacenti, il numero delle articolazioni in movimento, e il tipo di cambiamento indotto nella lunghezza del letto del nervo.

E' stato ampiamente dimostrato che movimenti simultanei di due articolazioni che allungano il letto del nervo ad un'estremità e lo accorciano all'altra, chiamate tecniche di slider, promuovono la maggiore escursione del nervo, invece la combinazione del movimento di due articolazioni che allunga il letto del nervo ad entrambe le estremità, definita tecnica di tensioner, induce la minor quantità di escursione del nervo.

Coppieters et al.¹⁴ dimostrano in vivo che la tecnica di slider induce la maggior escursione del nervo mediano (10.2 ± 2.8 mm) in confronto alla tecnica di tensioner che crea il minor scivolamento (1.8 ± 4.0 mm).

Gli stessi autori nel 2016 dimostrano la stessa regola per il nervo sciatico (tensioner 3.2 ± 2.1 mm contro slider 17.0 ± 5.2 mm).¹³

Risultati confermati da Ellis et al.¹¹ nel 2016 (slider 3.2 ± 2.0 contro tensioner 2.6 ± 1.5 mm).

In aggiunta in base al range di movimento articolare sfruttato la biomeccanica del nervo è influenzata in modi differenti, come dimostrano anche Dilley et al.⁹ che affermano che un'estensione del polso dalla posizione neutra a 40° produce uno sliding del nervo mediano maggiore rispetto ad un'estensione partendo da 40° di flessione fino alla posizione neutra. E' dimostrato anche che lo scivolamento di un segmento del nervo diminuisce all'aumentare della distanza dall'articolazione in movimento.

Brochwicz et al.¹⁸ evincono che mobilizzazioni cervicali come la lateroflessione (CLF) e il lateral glide (CLG) riescono ad influenzare il movimento del nervo mediano all'avambraccio ma con quantità di escursioni diverse in base alla distanza dal collo (CLF: 2.3 mm nel medio avambraccio, 1.9 mm nell' avambraccio distale; CLG: 3.3 mm nel medio avambraccio, 2.5 mm nell' avambraccio distale)

Julius et al.⁴ dimostrano che durante la protrazione delle spalle si registra uno scivolamento prossimale del nervo mediano di 3.5 mm all'avambraccio e 5.9 mm al braccio e durante la lateroflessione cervicale a spalla neutra lo scivolamento è di 2.3 mm nel braccio, 1.5 mm nell'avambraccio.

Come si evince dalla revisione di Silva et al.² la direzione dello scivolamento (prossimale o distale) sembra essere influenzato dal movimento articolare e dalla sequenza. I movimenti del polso e delle dita che allungano il letto del nervo sono associati con un escursione distale del nervo mediano lungo l'intero arto superiore, mentre i movimenti che accorciano il letto del nervo sono associati con un'escursione prossimale del nervo mediano nell'arto

superiore. Invece durante il movimento di articolazioni meno distali, per esempio il gomito, si assiste a fenomeni che differenziano la biomeccanica del nervo nel braccio rispetto all'avambraccio, infatti l'estensione del gomito induce uno scivolamento distale del mediano nel braccio e uno scivolamento prossimale nell'avambraccio, poiché entrambi i segmenti del nervo tendono a convergere verso l'articolazione in movimento, quando questa allunga il letto del nervo. Questo fenomeno è chiamato convergenza. Con la flessione del gomito invece si assiste al comportamento opposto, definito divergenza

Anche Shum et al.²³ confermano la regola dimostrando come una flessione lombare massima attiva provochi uno scivolamento prossimale del nervo tibiale di 12.2 mm in media in 25 soggetti sani.

Nee et al.¹⁹ dimostrano che l'ordine di movimento delle articolazioni influenza la meccanica del nervo, infatti combinando i componenti dell'ULNT1 in 3 sequenze diverse l'ammontare dell'escursione finale rimane identico ma i 3 percorsi di movimento, indotti sul nervo, sono completamente differenti poiché il nervo scivola ogni volta verso l'articolazione in movimento, se quest'ultimo tende ad allungare il letto neurale, e lontano dall'articolazione in movimento, se quest'ultimo tende ad accorciare il letto del nervo stesso.

Un elemento meno prevedibile è l'effetto che ha il preposizionamento delle articolazioni vicine sulla quantità di escursione del nervo, durante il movimento articolare.

Julius et al.⁴ dimostrano che se la spalla è preposizionata in protrazione, durante la lateroflessione cervicale controlaterale c'è una riduzione del 60% del movimento del nervo mediano, rispetto a quando la spalla è in neutra (spalla neutra: 2.3 mm nel braccio, 1.5 mm nell'avambraccio. Spalla protratta: 0.9 mm al braccio, 0.6 mm all'avambraccio).

Gilbert et al.²⁶ dimostrano che l'SLR senza preposizionamento in dorsiflessione di caviglia produce un maggior scivolamento distale delle radici di L5 e S1 rispetto all'SLR con preposizionamento in dorsiflessione.

Invece Silva et al.² osservano che effettuare l'estensione di polso dopo aver pretensionato la spalla in abduzione, aumenta lo scivolamento del nervo mediano (a 30° di abduzione= da 1.9 mm a 3.0 mm di escursione, a 45° di abduzione= 4.7 mm; a 90° di abduzione= 4.2 mm)

Anche Dilley et al.³ affermano che c'è un aumento del movimento del nervo ulnare durante l'estensione del polso a 40°, con preposizionamento a gomito flesso e spalla abdotta a 90°, rispetto a gomito esteso e spalla abdotta a 40° (rispettivamenteavambraccio distale 4.0 mm,avambraccio prossimale 2.3 mm eavambraccio distale = 3.0 mm ,avambraccio prossimale 1.6 mm).

Lo stesso autore però con uno studio del 2003 aveva dimostrato invece che un preposizionamento in abduzione di spalla a 90° riduce del 20% lo scivolamento del nervo mediano durante l'estensione di polso, rispetto ad un preposizionamento in abduzione a 45°. In contrapposizione effettuando l'estensione di gomito, preposizionando il polso a 45° di estensione, si registra un'escursione del mediano maggiore del 40%.⁹

Ridelalgh et al.¹² riaffermano l'effetto positivo del preposizionamento, infatti nel loro studio l'escursione longitudinale media del nervo sciatico durante SLR è di 9.92 mm preposizionando l'anca a 30° di flessione e di 12.4 mm preposizionandola a 60° di flessione.

Conclusioni definitive, sull'effetto che il pretensionamento del nervo abbia sul movimento dello stesso, non possono essere tratte poiché l'ammontare dello slack e della tensione nel sistema nervoso e la zona di misurazione giocano un ruolo importante nella quantità di escursione registrata.

I limiti degli studi inclusi, sia in vivo sia su cadavere, riguardano soprattutto l'eterogeneità relativamente ai movimenti articolari testati, le loro combinazioni, il ROM sfruttato, i preposizionamenti delle articolazioni adiacenti, le tecnologie utilizzate per la registrazione dei dati, il sito di rilevazione dell'escursione sul nervo e i metodi di quantificazione, perciò un confronto diretto dei risultati ottenuti negli studi non è possibile.

In alcuni studi vi sono limitazioni metodologiche per esempio l'assenza di valutazioni condotte in cieco e uno scarso numero di soggetti utilizzati. 17 studi prevedono un campione inferiore o uguale ai 16 soggetti, vivi o post mortem.

Queste limitazioni metodologiche possono compromettere la validità, la precisione e la generalizzabilità dei risultati ottenuti perciò queste devono essere tenute in considerazione per i futuri studi.

Ulteriori limiti emergono dagli studi su cadavere, infatti post mortem sono assenti le proprietà meccaniche e i processi fisiologici presenti nei soggetti viventi, come il flusso sanguigno e linfatico, il trasporto assonale, il movimento attivo. In più cadaveri utilizzati sono appartenenti a persone anziane e non è da escludere che un cambiamento neurale correlato all'età possa inficiare la meccanica del nervo. Infine in alcuni studi il nervo o l'arto sono stati sezionati, interrompendo la continuità del sistema nervoso. Per tutti questi motivi, gli studi su cadavere non ci permettono di trarre conclusioni generalizzabili alla neurodinamica in vivo e soprattutto di soggetti giovani.

Studi futuri saranno utili per determinare quali effetti fisiologici e terapeutici possono essere prodotti sfruttando differenti comportamenti meccanici nervosi e, nell'ambito della prevenzione, quanta diminuzione di scivolamento del nervo può predisporlo alla patologia.

CONCLUSIONI

Dal 1975 ad oggi vi è stato un importante e crescente interesse della letteratura scientifica relativamente allo studio del movimento del sistema nervoso periferico e alle sue applicazioni in ambito terapeutico.

Particolare attenzione è stata rivolta soprattutto allo studio del nervo mediano e, in misura molto minore, al nervo sciatico.

Dall'analisi degli studi presenti in letteratura negli ultimi 40 anni, si può concludere che il nervo sia dotato di movimento proprio, come tutte le strutture del corpo umano, e che la quantità di scivolamento indotta sul nervo aumenti, fino ad un limite fisiologico, all'aumentare del range di movimento articolare utilizzato, all'aumentare della vicinanza dell'articolazione in movimento e all'aumentare della variazione indotta nella lunghezza del letto del nervo.

Lo sliding è una proprietà adattiva sempre presente nel nervo sano, ma in condizioni patologiche (tunnel carpale, tunnel cubitale, radicolopatie...) la compressione prodotta dai tessuti circostanti e / o dall'edema causa una diminuzione dello scivolamento longitudinale e trasversale del nervo con associate alterazioni fisiologiche se la condizione persiste nel tempo o lo stress è elevato.

Le regole biomeccaniche dimostrate dagli studi e precedentemente esposte sembrano essere universali per ogni nervo del corpo umano e queste conoscenze ci assistono nella scelta e nella progressione delle tecniche di trattamento neurodinamico, ma, nonostante diversi movimenti articolari possano produrre differenze di escursione nervosa statisticamente significative, non si può desumere direttamente se un tipo di mobilizzazione possa essere più efficace di un'altra a livello terapeutico. Ulteriori ricerche sono necessarie per orientare il fisioterapista nella scelta dei parametri più efficaci al raggiungimento dello scopo nel trattamento neurodinamico.

Non si possono invece trarre conclusioni riguardo al range standard di movimento di ogni singolo nervo, a causa della eterogeneità degli studi. Saranno necessarie ulteriori ricerche, con un campione di soggetti più numeroso, per ottenere questa informazione.

Anche il pretensionamento del nervo e il movimento di più articolazioni simultaneamente danno risultati di escursione nervosa molto variabili, perciò non ci permettono di trarre considerazioni conclusive e generalizzabili. Ulteriori studi sono necessari per chiarire

questi aspetti in modo da poterli sfruttare opportunamente come parametri durante il trattamento del nervo.

BIBLIOGRAFIA

1. M. Carroll, J. Yau, K. Rome, W. Hing. Measurement of tibial nerve excursion during ankle joint dorsiflexion in a weight-bearing position with ultrasound imaging. *Journal of Foot and Ankle Research* 2012, 5:5.
2. A. Silva, A. Manso, R. Andrade, V. Domingues, M. Piedade Brandão , A. G. Silva. Quantitative in vivo longitudinal nerve excursion and strain in response to joint movement: A systematic literature review. *Clinical Biomechanics* 29 (2014) 839–847.
3. A. Dilley , C. Summerhayes, B. Lynn. An in vivo investigation of ulnar nerve sliding during upper limb movements. *Clinical Biomechanics* 22 (2007) 774–779.
4. A. Julius, R. Lees, A. Dilley, B. Lynn. Shoulder posture and median nerve sliding. *BMC Musculoskeletal Disorders* 2004, 5:23.
5. K. S. Topp, B. S. Boyd. Peripheral nerve: from the microscopic functional unit of the axon to the biomechanically loaded macroscopic structure. *J Hand Ther.* 2012;25:142–52.
6. D. L. Mclellan, M. Swash. Longitudinal sliding of the median nerve during movements of the upper limb. *Journal of Neurology, Neurosurgery, and Psychiatry*, 1976, 39, 566-570.
7. K. S. Topp, B. S. Boyd. Structure and biomechanics of peripheral nerves: nerve responses to physical stresses and implications for physical therapist practice. *Phys Ther.* 2006;86:92–109.
8. C. B. Novak, H. Mehdian, H. P. von Schroeder. Laxity of the Ulnar Nerve During Elbow Flexion and Extension. *J Hand Surg* 2012;37A:1163–1167.
9. A. Dilley , B. Lynn, J. Greening, N. DeLeon. Quantitative in vivo studies of median nerve sliding in response to wrist, elbow, shoulder and neck movements. *Clinical Biomechanics* 18 (2003) 899–907.
10. S. Meng, L. F. Reissig, R. Beikircher, C. J. Tzou, W. Grisold, W. J. Wening. Longitudinal gliding of the median nerve in the carpal tunnel: ultrasound cadaveric evaluation of conventional and novel concepts of nerve mobilization. *Archives of physical medicine and rehabilitation* 2015;96:2207-13.
11. R. F. Ellis, W. A. Hing, P. J. Mcnair. Comparison of longitudinal sciatic nerve movement with different mobilization exercises: an in vivo study utilizing ultrasound imaging. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy* august 2012; 42(8).
12. C. Ridehalgh , A. Moore , A. Hough. Normative sciatic nerve excursion during a modified straight leg raise test. *Manual Therapy* 19 (2014) 59-64.

13. M.W. Coppieters, L. S. Andersen, R. Johansen, P. K. Giskegjerde, M. Hoivik, S. Vestre, R. J. Nee. Excursion of the sciatic nerve during nerve mobilization exercises: an in vivo cross-sectional study using dynamic ultrasound imaging. *Journal of orthopaedic & sports physical therapy*, october 2015; 45 (10).
14. M. W. Coppieters , A.D. Hough, A. Dilley. 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;39(3):164-171.
15. K. K. Gilbert, M. P. Smith, S. Sobczak, C. R. James, P. S. Sizer, J.M. Brismé'e. Effects of lower limb neurodynamic mobilization on intraneural fluid dispersion of the fourth lumbar nerve root: an unembalmed cadaveric investigation. *Journal of Manual and Manipulative Therapy* 2015.
16. K. K. Gilbert, C. R. James, G. Apte, C. Brown, P. S. Sizer, J. M. Brismé'e, M. P. Smith. Effects of simulated neural mobilization on fluid movement in cadaveric peripheral nerve sections: implications for the treatment of neuropathic pain and dysfunction. *Journal of Manual and Manipulative Therapy* 2014.
17. Y. Wang, C. Zhao, S. M. Passe, A. Filius, A. R. Thoreson, K. An, P. C. Amadio. Transverse ultrasound assessment of median nerve deformation and displacement in the Human carpal Tunnel during wrist movements. *Ultrasound Med Biol.* 2014 January ; 40(1).
18. P. Brochwicz, H. von Piekartz, C. Zalpour. Sonography assessment of the median nerve during cervical lateral glide and lateral flexion. Is there a difference in neurodynamics of asymptomatic people? *Manual Therapy* 18 (2013) 216-219.
19. R. J.Nee , C. Yang , C. Liang , G.Tseng , M. W.Coppieters. Impact of order of movement on nerve strain and longitudinal excursion: a biomechanical study with implications for neurodynamic test sequencing. *Manual Therapy*15(2010)376-381.
20. U. C. Ugbolue, W. Hsu, R. J. Goitz, Z. Li. Tendon and nerve displacement at the wrist during finger movements. *Clinical Biomechanics* 20 (2005) 50–56.
21. Y. Kawahara, T. Yamaguchi, Y. Honda, Y. Tomita, M. Uetani. The Ulnar nerve at elbow extension and Flexion: Assessment of Position and Signal Intensity on MR Images. *Radiology* 2016; 000:1–10.
22. T. W. Wright, F. Glowczewskie, D. Cowin, Gainesville, D. L. Wheeler, F. Collins. Ulnar nerve excursion and strain at the elbow and wrist associated with upper extremity motion. *J Hand Surg* 2001;26A:655–662.

23. G. L. Shum, A. S. Attenborough, J. F. Marsden, A. D. Hough. Tibial nerve excursion during lumbar spine and hip flexion measured with diagnostic ultrasound. *Ultrasound in Med. & Biol.*, Vol. 39, No. 5, pp. 784–790, 2013.
24. P. A. J. de Leeuw , P. Golano´ , I. N. Sierevelt , C. N. van Dijk. The course of the superficial peroneal nerve in relation to the ankle position: anatomical study with ankle arthroscopic implications. *Knee Surg Sports Traumatol Arthrosc* (2010) 18:612–617.
25. C. M. Lohman ,K. K. Gilbert , S. Sobczak et al. 2015 Young investigator award winner: cervical nerve root displacement and strain during upper limb neural tension testing. Part 1: a minimally invasive assessment in unembalmed cadavers. *SPINE*; 40 (11) , 793 – 800.
26. K. K. Gilbert, J.M. Brismé´e, D. L. Collins, C. R. James, R. V. Shah, S. F. Sawyer, P. S. Sizer. 2006 Young Investigator Award Winner: lumbosacral nerve root displacement and strain. Part 2. a comparison of 2 straight leg raise conditions in unembalmed cadavers. *Spine*; 32 (14), 1521–1525.