



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 2013/2014

Campus Universitario di Savona

# ***Biomeccanica del polso durante le principali attività funzionali: implicazioni cliniche***

Candidato

Dott. Moro Marco

Relatore

Dott. Diego Arceri

# Indice

1. Abstract .....	pag	2
2. Introduzione.....	pag	3
3. Materiali e Metodi .....	pag	4 (*)
4. Risultati.....	pag	4
5. Discussione.....	pag	6
5.1 Biomeccanica delle ossa carpali .....	pag	6
5.2 Biomeccanica ed attività funzionali .....	pag	9
6. Conclusioni ed implicazioni cliniche.....	pag	13
7. Bibliografia.....	pag	15

## 1 ABSTRACT

**Obiettivi:** Lo scopo di questa tesi è quello di analizzare e descrivere la biomeccanica delle ossa carpali durante i tradizionali movimenti di flessione-estensione e deviazioni radio-ulnari. Successivamente indagare e confrontare gli articoli che prendono in considerazione movimenti specifici/attività funzionali del polso e sulla base dei risultati ottenuti, estrapolare eventuali proposte di trattamento manuale per il recupero funzionale di pazienti con problematiche al polso e alla mano.

**Materiali e Metodi:** per fare ciò è stata condotta una ricerca sul database Pubmed cercando in letteratura gli articoli che trattano gli argomenti sopra descritti. Il punto cardine della ricerca per l'inclusione/esclusione degli articoli, è stato la tipologia di campione, che doveva essere rigorosamente esente da eventuali patologie o traumi al polso.

Le parole chiave impiegate sono state: bone carpal, biomechanics, kinematics, healthy subject, injury, in vivo, scaphoid, lunate, triquetrum, hamate, piriform, capitate, trapezoid, trapezium, task. I filtri di ricerca: lingua inglese, full text e humans.

**Risultati:** La revisione mette in luce come ci siano delle differenze artrocinematiche tra le ossa carpali in seguito ai movimenti puri e funzionali, ma che per l'enorme presenza di fattori quali: le variabili anatomiche tra i soggetti, i piccoli campioni utilizzati, la difficoltà con le più moderne tecnologie di studiare la vera dinamicità carpale, le piccolissime ampiezze di movimento, ecc.; è difficile ad oggi dare come punto di riferimento un unico modello biomeccanico.

**Conclusioni:** la revisione ha evidenziato come l'artrocinematica carpale è molto complessa, e ragionare in termini di file o colonne che si muovono all'unisono, non è propriamente corretto. Lo studio dettagliato delle ossa carpali è sicuramente un argomento di maggior pertinenza del chirurgo della mano, ma conoscere questi elementi, è senza ombra di dubbio un background in più per il terapista manuale, nel programmare interventi riabilitativi adeguati con i giusti obiettivi e strategie di trattamento. Sarebbe interessante in futuro, pubblicare studi che mettano a confronto quali tecniche siano più specifiche per il recupero delle disfunzioni di questo distretto, ma, senza l'invasività chirurgica, che come si evince dalle conclusioni di molti articoli può essere una prognosi negativa per il completo recupero del ROM.

## 2. INTRODUZIONE

Il polso e più nel dettaglio il complesso delle ossa carpali, è un distretto poco sviscerato, se non nelle formazioni specialistiche; ma come vedremo, la conoscenza più approfondita delle relazioni intercarpiche, giocano un ruolo fondamentale per comprendere come meglio intervenire e prendere in carica pazienti che hanno subito traumi, interventi chirurgici o quant'altro.

Il polso funzionalmente comprende: l'articolazione radio-ulnare distale, la base prossimale delle 5 ossa metacarpali e le 8 ossa carpali. Quest' ultime sono state descritte in una filiera prossimale (scafoide, lunato, piramidale e pisiforme) ed una distale (trapezio, trapezoide, capitato, uncinato). Possiamo considerare la seconda filiera lo starter di tutti i movimenti, per via delle sue inserzioni tendinee; mentre la prima filiera come un segmento interposto i quali movimenti dipendono da meccanismi di forze delle articolazioni circostanti e dalle strutture legamentose.<sup>1</sup> Le ossa della filiera distale sono strettamente legate l'un l'altra, tanto da considerare i loro movimenti alquanto trascurabili.<sup>1</sup> Tutti i tessuti molli che ne fanno parte sono l'essenza della stabilità carpale e della loro patomeccanica, ma non sono oggetto di revisione in questa tesi.

Lo studio della normale cinematica del carpo deriva dal lontano 19° secolo,<sup>2</sup> nel corso del tempo numerose ricerche, attraverso le più svariate metodologie di acquisizione immagine sono state proposte. La maggior parte degli studi antecedenti al 2000, 2D e 3D, avevano preso come campioni dei cadaveri e impiantato nelle ossa dei markers, poi attraverso una sorta di sistema a burattinaio collegando i tiranti ai tendini, avevano registrato come queste ossa muovevano. Queste strategie di studio e l'uso di tecnologie per acquisizione immagini poco accurate però hanno portato a numerosi artefatti. Negli ultimi anni invece, grazie alle nuove tecnologie come la risonanza magnetica e la TC (tomografia computerizzata), la rilevazione dei dati è più certa e precisa, ma lo svantaggio di queste, era l'obbligo di assumere delle posizioni statiche a vari gradi del rom, e di non poter visionare il movimento nella sua dinamicità.<sup>2-9</sup>

### 3. MATERIALI E METODI

E' stata effettuata una ricerca bibliografica utilizzando il motore di ricerca Pubmed.

Le parole chiave utilizzate sono state: bone carpal, biomechanics, kinematics, healthy subject, injury, in vivo, scaphoid, lunate, triquetrum, hamate, pisiform, capitate, trapezoid, trapezium, task. Per lo scarso materiale inerente l'argomento, gli unici limiti che sono stati impostati sono: la lingua inglese, il full test degli articoli ed il campione umano (humans).

Le stringhe sono state così costruite:

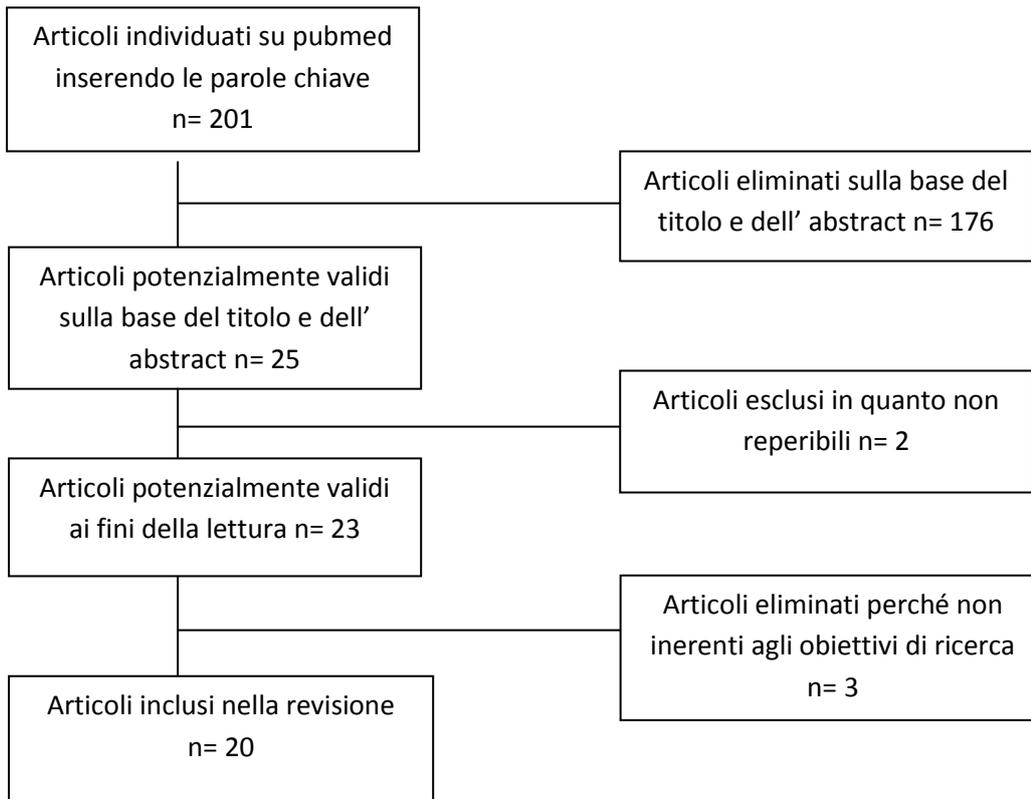
- kinematics bone carpal AND healthy subject
- Biomechanics bone carpal NOT injury
- In vivo scaphoid kinematics
- In vivo pisiform kinematics
- In vivo capitate kinematics
- In vivo hamate kinematics
- In vivo triquetrum kinematics
- In vivo trapezium kinematics
- In vivo lunate kinematics
- Kinematics OR biomechanics AND bone carpal AND task

La prima scrematura è stata effettuata analizzando titolo ed abstract, eliminando articoli che includevano lo studio della biomeccanica in seguito a lesioni o interventi chirurgici.

### 4. RISULTATI

Una seconda e più approfondita valutazione è stata effettuata dopo la lettura completa degli articoli, e a tal proposito sono stati esclusi altri 3 perché non inerenti agli obiettivi della mia tesi ovvero: in uno studio erano inclusi due campioni che avevano subito delle lesioni, negli altri due i dati che emergevano non evidenziavano le relazioni tra il movimento del polso e le ossa del carpo.

## Diagramma di flusso



\* **VEDI TABELLA SINOTTICA IN APPENDICE**

## 5. DISCUSSIONE

Dall' analisi della letteratura emerge che tutti gli articoli selezionati utilizzano metodiche di acquisizione immagini con un accuratezza e ripetibilità ben più avanzata rispetto al passato, favorendo così dei dati 3D più precisi. La maggior parte degli autori ribadisce come lo studio delle ossa carpali sia molto complesso. Molte sono le variabili che possono portare gli studi a risultati e conclusioni differenti in termini di direzione e/o gradi di movimento delle singole ossa, ad esempio: le variabilità anatomiche, i differenti materiali e metodi utilizzati, la più o meno invasività dello strumento di acquisizione immagine e la possibilità di effettuare un certo numero di scatti, i bias di movimento nel compiere un movimento attivo/gesto funzionale e così via. Nonostante ciò, la maggior parte segue un filone comune in termini di contributo percentuale che le varie articolazioni assumono nei vari piani di movimento.

L' intento di questa tesi è appunto quello di analizzare e descrivere questo aspetto, piuttosto che confrontare e discutere di piccoli gradi di differenza. Inoltre, durante l' esposizione dell' elaborato verrà fatto focus sugli aspetti più rilevanti senza entrare troppo nel merito dei moti 3D di ogni singolo osso. Per maggiori dettagli artrocinematici si rimanda alla lettura della tabella sinottica e/o delle tabelle degli articoli.

### 5.1 BIOMECCANICA DELLE OSSA CARPALI

#### FLESSO / ESTENSIONE

La maggior parte degli autori sono concordi nell' affermare che durante la flessione-estensione le ossa prevalentemente flettono e pronano ed estendono e supinano, ma deviano sempre ulnarmente. Alcuni però come Moojen nello studio <sup>6</sup> sostiene che lo scafoide devia radialmente e pronato durante l'estensione. Feipel <sup>10</sup> è l' unico che asserisce che la I filiera flette e devia radialmente durante la flessione. Altri autori come Camus <sup>3</sup> invece, afferma che tutte le ossa della I filiera durante la flessione deviano ulnarmente, la quale viene solo parzialmente bilanciata da una deviazione radiale del trapezio della II filiera. Questo spiega l'inclinazione ulnare del polso in toto; viceversa durante l'estensione l' autore ha evidenziato che lo scafoide e il lunato deviano ulnarmente, mentre il piramidale e tutta la II filiera tranne che il trapezio deviano radialmente. Per quanto riguarda il **pisiforme** vediamo che, anche se è un osso poco studiato, negli articoli inclusi

3,5,10,11 si trova un comune accordo nell'affermare che durante la flessione flette, devia ulnarmente e trasla prossimalmente; viceversa nell'estensione tutti sostengono che estende e trasla distalmente, ma per Moojen<sup>11</sup> devia radialmente come il piramidale, mentre per Camus<sup>3</sup> devia ulnarmente.

Parlando invece del ruolo che hanno le varie articolazioni durante la F/E, dalla letteratura si evince che il maggior contributo viene esplicitato a livello radio-carpico con maggior enfasi per il giunto **radio-scafoideo** sia in flessione, ma soprattutto in estensione tant'è che viene considerato come un osso indipendente rispetto alla forte correlazione che c'è tra lunato e piramidale<sup>2,5,6,9,12</sup>. Dai dati di questi articoli (vedi tabella in appendice), si sottolinea che durante la flessione lo scafoide è l'osso che muove di più e il lunato meno. Questo aspetto è messo in luce prevalentemente negli articoli<sup>2,8</sup>, dai quali emerge come ci siano piccoli movimenti intercarpici durante le RUD (deviazioni radio-ulnari) e ben più ampi durante la F/E (dissociazione scafolunato). In relazione con quanto detto per lo scafoide, l'articolo di Sun<sup>7</sup>, descrive più nello specifico il ruolo della colonna centrale (**radio-lunato-capitato**) durante la F/E, affermando come durante la flessione, la radio-carpica e medio-carpica contribuiscono in egual misura; in estensione invece si ha una predominanza seppur leggera a carico dell'articolazione capitato-lunato. A conferma di ciò, anche l'articolo più recente incluso nella tesi<sup>9</sup>, mostra come il capitato muove prevalentemente rispetto al lunato piuttosto che allo scafoide e al piramidale sia in flessione che in estensione.

In passato si pensava che il fulcro di tutti i movimenti fosse il **capitato** o grande osso come se esso si muovesse attorno ad un unico punto fisso. Grazie anche alla sua particolarità anatomica (ovvero l'assenza di legamenti tra il capitato e il lunato<sup>1</sup>) viene considerato l'osso/complesso articolare più mobile del polso; ma proprio per la non trascurabilità di questo aspetto, può continuamente modificare l'asse di movimento e si è visto appunto che durante la F/E quest'ultimo passava più verso il suo polo prossimale giustificando il maggior contributo radio-carpale durante la F/E e più distale durante le RUD con maggior contributo della medio-carpica<sup>13</sup>.

Parlando sempre di flesso/estensione, molto importante anche per quelle che potrebbero essere poi le implicazioni cliniche, è lo studio di Michael J. 2013<sup>14</sup> il quale mette a confronto se esistono differenze tra i movimenti carpici quando il polso è in carico e quando viene fatta una max flesso-estensione attiva fuori carico. Dai risultati si deduce che durante l'estensione in carico il capitato ruota di più rispetto allo scafoide e al lunato e gli autori speculano su questo, ipotizzando che durante il movimento attivo lo stop sia dovuto al contatto osseo scafoide-lunato con il capitato;

mentre sotto carico l'arresto è dato più dalla tensione dei legamenti volari e dall' impatto dello scafoide con il radio. Quindi, sia lo scafoide che il lunato muovono meno durante l'estensione in carico a discapito del capitato, al contrario si evidenziano valori simili tra la max flessione attiva ed in carico, con valori percentuali di f/e sostanzialmente affini ai precedenti studi.

Un'altra considerazione importante da fare riguarda il movimento dell'articolazione **piramidale-uncinato**: essa a livello anatomico viene descritta come un' articolazione a sella quindi i suoi movimenti dovrebbero essere roll e slide, in realtà sono di swing e glide. Dai risultati e dai dati dei vari articoli, ma prevalentemente dello studio di H. Moritomo 2003 <sup>15</sup>, si evince, come sia soprattutto il piramidale a muoversi in relazione all' uncinato, e durante la f/e il pattern di movimento sarà su un piano sagittale con swing e glide palmare o dorsale. Un' altra caratteristica che avviene nel polso durante la flessione estensione è la riduzione o l' aumento dell'arco formato dalla prima filiera, e questo, come viene spiegato nell' articolo di Camus <sup>3</sup>, dipende proprio dalla significativa differenza di movimento intercarpale a carico della I filiera (vedi tabella).

In ultimo i risultati dello studio di Sonenblum <sup>16</sup> conferma quanto visto in altri studi che il complesso STT (**trapezio – trapezoide – scafoide** ) ha poca mobilità durante i movimenti del polso, ma il concetto di unità rigida con il quale è stata paragonata è un po' una semplificazione. Durante la flessione estensione le ossa trapezio e trapezoide viaggiano insieme più in rapporto allo scafoide, mentre durante le deviazioni sono più in relazione con il capitato. I loro movimenti sono di swing e glide e il loro pattern qualunque sia il movimento, passano per un piano obliquo descritto in estensione radiale e flessione ulnare.

#### DEVIAZIONI RADIO – ULNARI

In primis citando gli articoli che hanno analizzato tutto il complesso carpale <sup>3,5</sup> vediamo come ci sia un comune accordo nell' affermare che durante le deviazioni sia la I che la II filiera deviano radialmente o ulnarmente con un ritmo di flessione-estensione e pronazione-supinazione inverso.

Nello specifico durante la deviazione radiale la I filiera devia radialmente, flette e pronata; e questa pronazione è dovuta all' ampio tilt radiale del piramidale con uno swing e glide in direzione dorso-radiale <sup>15</sup> ed una maggior flessione della colonna radiale; allo stesso tempo la II filiera estende e supina per la maggior estensione del trapezio e trapezoide rispetto a capitato ed uncinato.

Durante la deviazione ulnare invece succede esattamente l'opposto: l'estensione predomina sulla colonna radiale determinando una supinazione della I filiera, mentre la II filiera flette più nella colonna radiale che ulnare generando una pronazione.

Entrando più nel dettaglio e analizzando gli articoli che prendono in considerazione le singole ossa o articolazioni, si notano delle conclusioni discordanti rispetto a quanto precedentemente detto soprattutto per le prono-supinazioni. Lo studio di Neu<sup>13</sup> infatti afferma che il **capitato** invece di flettere durante la deviazione ulnare estende, mentre prona in deviazione radiale invece di supinare. L'articolo di Moojen<sup>6</sup> viceversa mostra che in deviazione ulnare lo **scafoide** prona invece di supinare.

Il **piriforme** durante la deviazione radiale estende, devia radialmente e trasla distalmente, mentre durante la deviazione ulnare estende, devia ulnarmente e trasla prossimalmente<sup>3,5,10,11</sup>.

Parlando di radio-carpica e medio-carpica, dai risultati si evince che durante le deviazioni il maggior contributo è dato dalla medio carpica con maggior enfasi sul giunto capitato lunato. Nello specifico questo compare soprattutto nella dev. ulnare in quanto la differenza in termini % tra radio-carpica e medio-carpica durante la dev. radiale non è molto ampia<sup>9,12</sup>. Durante le RUD l'articolazione scafolunato presenta meno movimenti dissociativi portando l'autore ad affermare che durante la RUD la fila prossimale si muove più come una singola unità con piccoli movimenti, al contrario di quanto avviene in F/E<sup>6</sup>.

Per quanto riguarda il **piramidale** in rapporto all' uncinato, al contrario della F/E segue un pattern obliquo in direzione dorso-radiale per la deviazione radiale e ulno-palmare per la deviazione ulnare<sup>15</sup>.

In ultima analisi la **STT (scafo – trapezio - trapezoide)** muove secondo le regole dette precedentemente per la f/e con movimenti quasi nulli in deviazione radiale e maggiori in deviazione ulnare.

## 5.2 BIOMECCANICA ED ATTIVITA' FUNZIONALI

Gli studi sull' analisi biomeccanica del polso si sono evoluti nel tempo, andando ad indagare come queste strutture si muovono e si mettono in rapporto durante i reali movimenti di tutti i giorni. Infatti nel compiere gesti funzionali raramente si effettuano delle semplici flessione-estensioni o radio ulnari deviazioni; a tal proposito la letteratura ha racchiuso questi gesti sotto il nome di **DART THROWER' S MOTION**, il quale non è altro che una combinazione dei 4 principali piani di movimento. Il pattern funzionale segue una direzione da estensione/deviazione radiale a flessione/deviazione ulnare. Esso viene paragonato a molte attività funzionali come: lanciare o afferrare un oggetto, martellare, avvitare o maneggiare un barattolo e così via. L' asse di

movimento rispetto ai piani anatomici, segue una direzione obliqua e questo definisce una sostanziale differenza nel comportamento delle ossa del carpo sia in termini di quantità e qualità di movimento, sia in termini di contributo.



FIG. 1 Nella figura vengono mostrati i diversi piani di movimento e come nel DTM esso segua una pattern obliquo

Gli articoli mostrano come nel DTM maggior movimento avviene nella medio carpica<sup>1,9,12,17-19</sup>. A tal proposito lo studio Moritomo 2006<sup>18</sup> ha indagato nello specifico come il capitato si comporta rispetto alla prima filiera durante i vari movimenti RUD, DTM, DTM F/E, DTM inverso. Quello che si evince è che la direzione di movimento rispetto a ciò che avviene durante i piani anatomici è sempre simile per il capitato, cioè da radio-dorsale a ulno-palmare; quello che invece sostanzialmente cambia è la quantità di movimento.

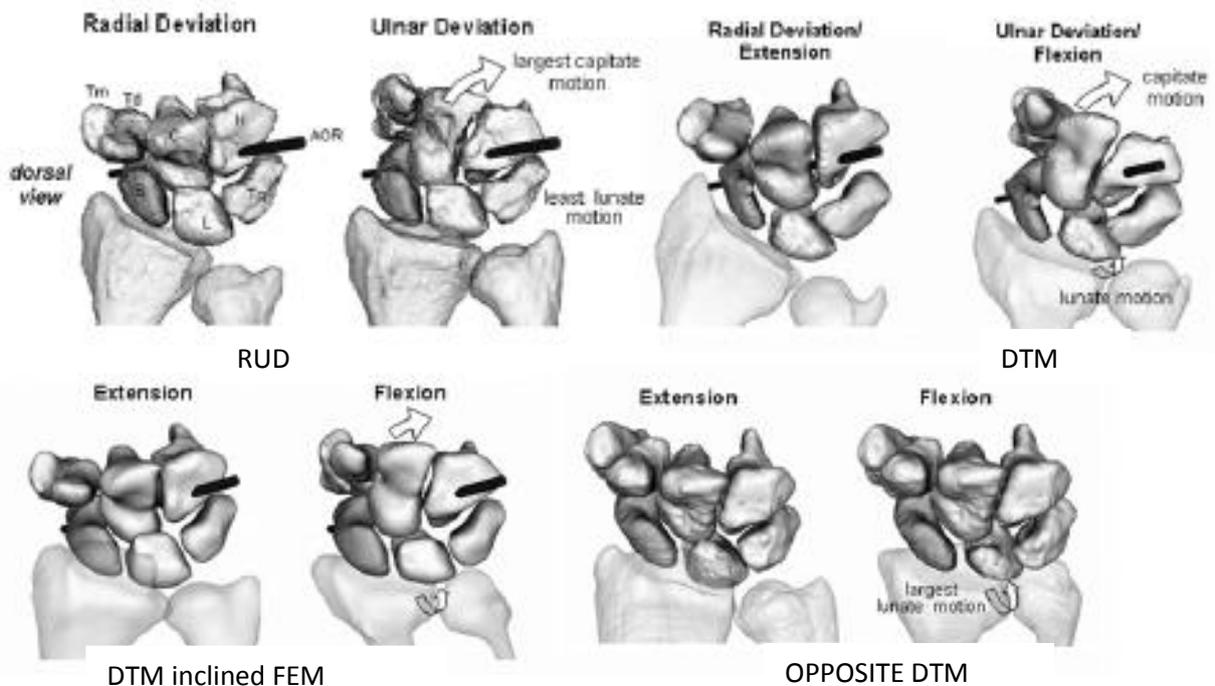
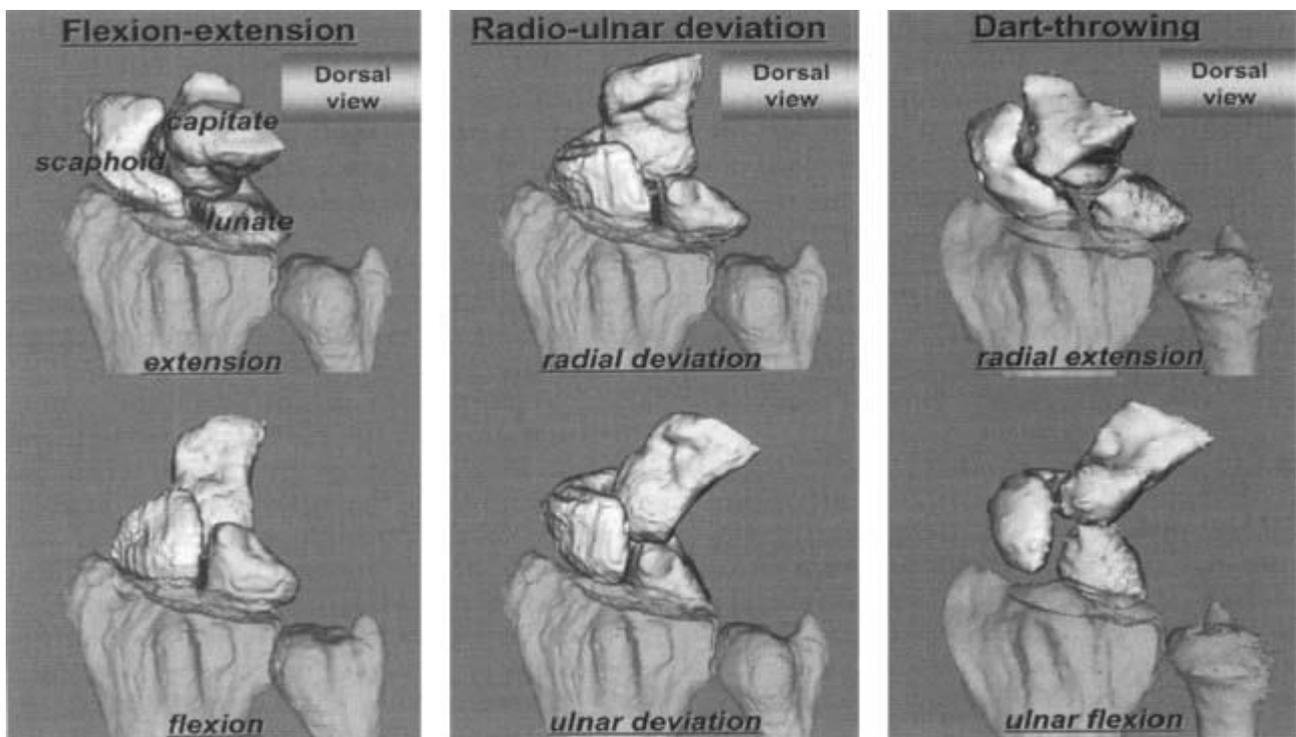


FIG. 2 In questa immagine si può notare come seppur di poco l'asse di movimento cambia nei vari movimenti e come questo comporti dei movimenti diversi; inoltre si nota bene la maggior inclinazione del lunato.

Essa diminuisce in rapporto allo scafoide durante il DTM, in quanto, secondo i risultati anche quest' ultimo mostra rotazioni in flesso estensione più ridotte; mentre il rapporto capitato-lunato-piramidale aumenta. Una netta differenza si nota anche nella maggior inclinazione ulnare del lunato rispetto alle normali F/E e RUD, e questa era poco o quasi per nulla accompagnata da movimenti rotazionali. Nel DTM inverso invece lo scafoide raramente muove.

Più o meno in accordo con Moritomo c'è lo studio di Goto <sup>12</sup>, il quale attribuisce sempre alla medio carpica e prevalentemente nell' articolazione lunato-capitato il maggior contributo. Di contro però, seppur ridotti rispetto alla F/E e RUD per l'autore ci sono significativi movimenti rotazionali dello scafoide (50%) e del lunato (25%). Probabilmente queste differenze sono dipese dai diversi gradi di movimento con il quale è stato studiato il DTM <sup>19</sup>.



**FIG. 3** La figura mostra chiaramente come passando da una F/E a una RUD e DTM ci siano meno movimenti di scafoide e lunato, la maggior dissociazione scafolunato in F/E e DTM, associata con una sostanziale inclinazione e minima rotazione del lunato nel DTM.

Crisco et al. <sup>19</sup> al contrario di tutti gli altri affermano che lo scafoide e il lunato hanno minimi movimenti durante il DTM  $<5^\circ$  con minime traslazioni in estensione radiale e per nulla in flessione ulnare.

Il DTM semplice viene considerato un movimento comunque non molto ampio, mentre nel gesto come il martellare ad esempio le componenti di flesso estensione e prono-supinazione sono più

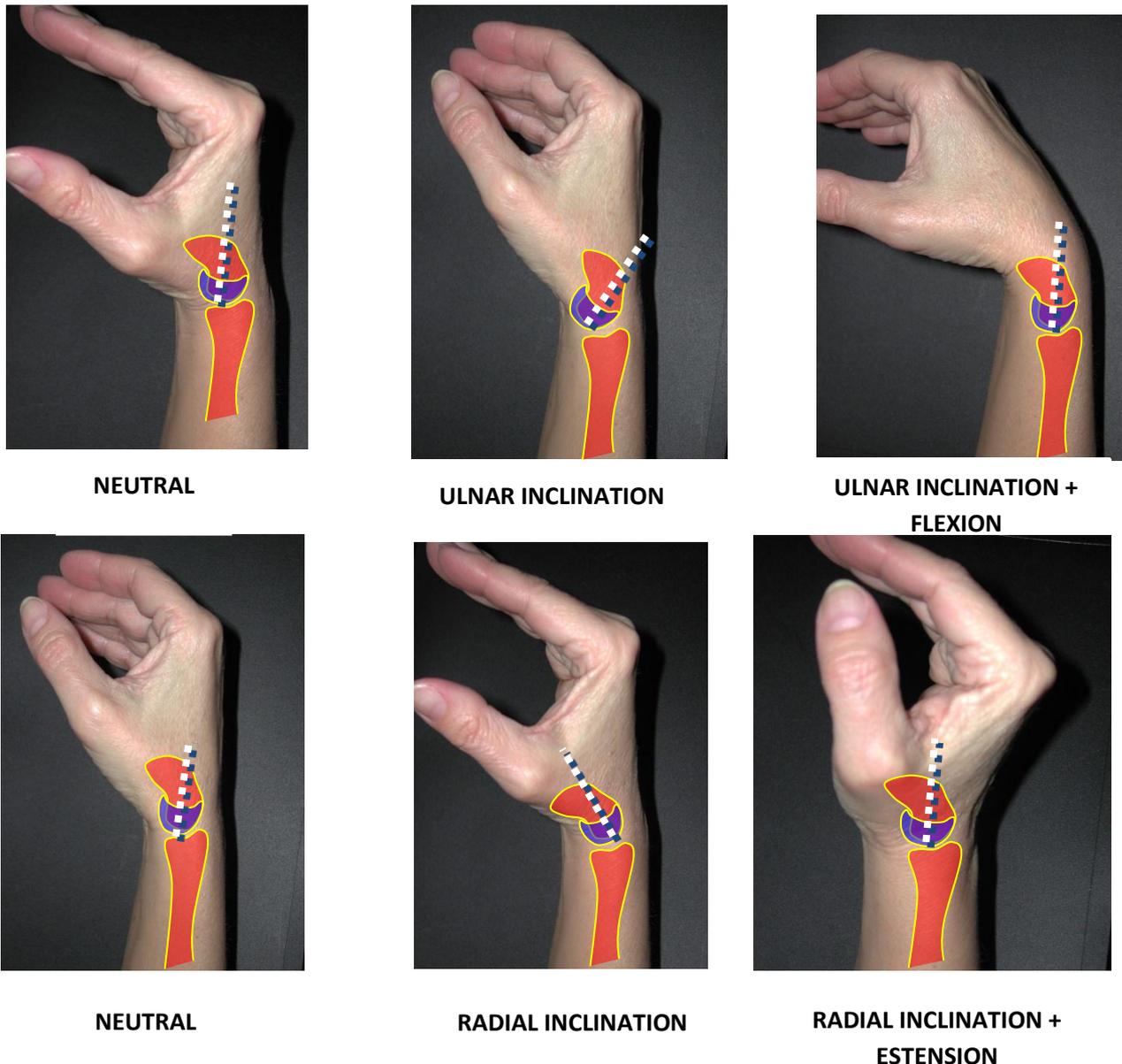
consistenti; a tal proposito è interessante lo studio di Leventhal <sup>17</sup> il quale conferma la differenza tra il semplice DTM e il gesto del martellare (Hammering motion).

Nel DTM la posizione intermedia passa per la posizione anatomica neutra (ovvero l' allineamento dell' asse passante per il terzo metacarpo con l' asse dell' avambraccio), mentre nell' hammering motion esso è più parallelo con una relativa estensione durante tutto il pattern di movimento. Data la maggior ampiezza di movimento di quest' ultimo, il contributo prevale sempre nella medio carpica con minor rotazione di scafoide e lunato rispetto ai movimenti di flessione estensione, ma comunque di più rispetto al DTM.

Quanto appena detto è in accordo anche con lo studio di Fraysse <sup>9</sup> il quale ha provato a riprodurre il movimento su polsi di cadaveri attraverso un modello ingegneristico, con l' intento di ridurre al minimo i bias di movimento che possono avvenire invece nei soggetti vivi; ma allo stesso tempo cercando di ricreare un movimento più reale possibile.

In ultima analisi lo studio di Kamal <sup>20</sup> va ad analizzare il ruolo del giunto piramidale uncinato durante il gesto del martellare, rivendicando che i suoi movimenti sostanzialmente non cambiano rispetto ai piani anatomici, ma dai risultati emerge come questa articolazione sia più vincolata in estensione radiale rispetto alla flessione ulnare e come la deviazione ulnare, che è il movimento più ampio, venga limitata dal vincolo anatomico di queste due ossa funzionando come da stop al movimento. Questa ha un importante implicazione clinica su come interventi chirurgici di scissione piramidale uncinato possano contribuire a garantire un aumento del rom in casi di ridotta mobilità e viceversa.

Per riassumere, si nota come non ci sia un sostanziale accordo tra gli autori sui vari gradi di movimento delle ossa carpali durante i movimenti funzionali, ma tutti concordano nell' affermare che rispetto alle semplici flessione estensioni e radio ulnari deviazioni studiate fino ad ora, la mobilità della prima filiera è statisticamente ridotta, e che il maggior contributo avviene sulla mediocarpica.



**FIG. 4** In queste immagini vengono rappresentate in maniera chiara come scafoide e lunato si presentano nei loro principali assi di movimento (piano sagittale di flessione-estensione) nelle tre posizioni. Viene nuovamente dimostrato il ridotto movimento durante il DTM.

## 6. CONCLUSIONI ED IMPLICAZIONI CLINICHE

Alla luce di quanto emerso si può affermare che esistono pareri discordanti circa l'artrocinemica delle singole ossa durante i movimenti del polso e ad oggi sia difficile dare come punto di riferimento un unico modello biomeccanico; al contrario invece tutti gli articoli sposano il concetto che durante la flessione estensione il movimento è a carico prevalentemente della radio-carpica mentre durante le deviazioni radio-ulnari ed i movimenti funzionali, sulla medio-carpica. Questo

ha una valenza clinica importantissima per il terapeuta manuale, perché sapere quali articolazioni entrano prevalentemente in gioco durante determinati movimenti, è di fondamentale importanza sia per una diagnosi funzionale (correlata alla sede del dolore e all' anamnesi), sia come trattamento. A proposito di quest' ultimo è importante che il terapeuta manuale fissi degli obiettivi da raggiungere come ad esempio il rom e sapere che una lesione, un artrodesi, o quant' altro di un' articolazione piuttosto che un' altra, possa inficiare negativamente nel completo recupero articolare in una direzione piuttosto che un' altra, senza forzare rischiando di far danno.

Per quel che riguarda le strategie invece, le tecniche ad oggi più validate per il recupero del rom sono generalmente con un approccio globale sul complesso carpale cercando di lavorare più sui tessuti molli che altro, ad eccezione delle tecniche manipolative incentrate perlopiù sul capitato; queste visti i risultati degli articoli, la intima connessione delle ossa e una maggior libertà di movimento del grande osso con la prima filiera, è da considerarsi più che corretto.

In ultima analisi vorrei riportare una considerazione personale che ho riscontrato nella mia pratica clinica durante lo studio per questa tesi. Questa riflessione riguarda il recupero degli ultimi gradi di estensione in un soggetto giovane che pratica sport (capoeira) e necessita della max estensione di polso soprattutto in carico. Ho trovato maggior riscontro clinico con tecniche dirette sul capitato ma più che di tipo manipolativo, mobilizzando questo osso durante l' arto atteggiato in carico secondo i concetti espressi dall' articolo di Michael 2013 <sup>14</sup>. Questa è una nota che probabilmente non ha alcun valore scientifico, però potrebbe essere uno spunto di riflessione per fare una casistica qualora capitino situazioni simili in soggetti sani senza lesioni accertate e con questo tipo di problema.

Un ulteriore implicazione clinica a mio avviso degna di nota, che però deve essere oggetto di maggiori ricerche soprattutto in ambito riabilitativo è: che visti i ridotti movimenti della radio-carpica durante gesti funzionali (DTM), soprattutto per scafoide e lunato, si può ipotizzare di iniziare una precoce mobilizzazione in questo pattern direzionale (in accordo e con il consenso del chirurgo) in caso di interventi chirurgici sulle suddette ossa; evitando lunghi periodi di immobilità e tutti gli impairment che ne derivano.

## 7. BIBLIOGRAFIA

1. Kijima Y, Viegas SF. Wrist Anatomy and Biomechanics. *J Hand Surg Am.* 2009;34(8):1555-1563. doi:10.1016/j.jhsa.2009.07.019.
2. Moojen TM, Snel JG, Ritt MJPF, Venema HW, Kauer JMG, Bos KE. In vivo analysis of carpal kinematics and comparative review of the literature. *J Hand Surg Am.* 2003;28(1):81-87. doi:10.1053/jhsu.2003.50009.
3. Camus EJ, Millot F, Lariviere J, Raoult S, Rtaimate M. Kinematics of the wrist using 2D and 3D analysis: Biomechanical and clinical deductions. *Surg Radiol Anat.* 2004;26(5):399-410. doi:10.1007/s00276-004-0260-0.
4. Patterson RM, Williams L, Andersen CR, Koh S, Viegas SF. Carpal Kinematics During Simulated Active and Passive Motion of the Wrist. *J Hand Surg Am.* 2007;32(7):1013-1019. doi:10.1016/j.jhsa.2007.05.004.
5. Moojen TM, Snel JG, Ritt MJPF, et al. Three-dimensional carpal kinematics in vivo. *Clin Biomech.* 2002;17(7):506-514. doi:10.1016/S0268-0033(02)00038-4.
6. Moojen TM, Snel JG, Ritt MJPF, Venema HW, Kauer JMG, Bos KE. Scaphoid kinematics in vivo. *J Hand Surg Am.* 2002;27(6):1003-1010. doi:10.1053/jhsu.2002.36519.
7. Sun JS, Shih TTF, Ko CM, Chang CH, Hang YS, Hou SM. In vivo kinematic study of normal wrist motion: An ultrafast computed tomographic study. *Clin Biomech.* 2000;15(3):212-216. doi:10.1016/S0268-0033(99)00064-9.
8. Wolfe SW, Neu C, Crisco JJ. In vivo scaphoid, lunate, and capitate kinematics in flexion and in extension. *J Hand Surg Am.* 2000;25(5):860-869. doi:10.1053/jhsu.2000.9423.
9. Fraysse F, Costi JJ, Stanley RM, et al. A novel method to replicate the kinematics of the carpus using a six degree-of-freedom robot. *J Biomech.* 2014;47(5):1091-1098. doi:10.1016/j.jbiomech.2013.12.033.
10. Feipel V, Rooze M. Three-dimensional motion patterns of the carpal bones: an in vivo study using three-dimensional computed tomography and clinical applications. *Surg Radiol Anat.* 1999;21(2):125-131.
11. Moojen TM, Snel JG, Ritt MJPF, Venema HW, Kauer JMG, Bos KE. Pisiform kinematics in vivo. *J Hand Surg Am.* 2001;27(6):1003-1010. doi:10.1053/jhsu.2002.36519.
12. Goto A, Moritomo H, Murase T, Oka K. In vivo three-dimensional wrist motion analysis using magnetic resonance imaging and volume based registration. *J Orthop Res.* 2005;23:750-756.
13. Neu CP, Crisco JJ, Wolfe SW. In vivo kinematic behavior of the radio-capitate joint during wrist flexion-extension and radio-ulnar deviation. *J Biomech.* 2001;34(11):1429-1438. doi:10.1016/S0021-9290(01)00117-8.

14. Rainbow MJ, Kamal RN, Leventhal E, et al. In vivo kinematics of the scaphoid, lunate, capitate, and third metacarpal in extreme wrist flexion and extension. *J Hand Surg Am.* 2013;38(2):278-288. doi:10.1016/j.jhsa.2012.10.035.
15. Moritomo H, Goto A, Sato Y, Sugamoto K, Murase T, Yoshikawa H. The triquetrum-hamate joint: An anatomic and in vivo three-dimensional kinematic study. *J Hand Surg Am.* 2003;28(5):797-805. doi:10.1016/S0363-5023(03)00259-4.
16. Sonenblum SE, Crisco JJ, Kang L, Akelman E. In vivo motion of the scaphotrapezio-trapezoidal (STT) joint. *J Biomech.* 2004;37(5):645-652. doi:10.1016/j.jbiomech.2003.09.033.
17. Leventhal EL, Moore DC, Akelman E, Wolfe SW, Crisco JJ. Carpal and Forearm Kinematics During a Simulated Hammering Task. *J Hand Surg Am.* 2010;35(7):1097-1104. doi:10.1016/j.jhsa.2010.04.021.
18. Moritomo H. In Vivo Three-Dimensional Kinematics of the Midcarpal Joint of the Wrist. *J Bone Jt Surg.* 2006;88(3):611-621. doi:10.2106/JBJS.D.02885.
19. Crisco JJ, Coburn JC, Moore DC, Akelman E, Weiss A-PC, Wolfe SW. In vivo radiocarpal kinematics and the dart thrower's motion. *J Bone Joint Surg Am.* 2005;87(12):2729-2740. doi:10.2106/JBJS.D.03058.
20. Kamal RN, Rainbow MJ, Akelman E, Crisco JJ. In Vivo Triquetrum - Hamate Kinematics Through a Simulated Hammering Task Wrist Motion. 2012;85:1-7.